CANDIDATO **FABIO ZOLLO**

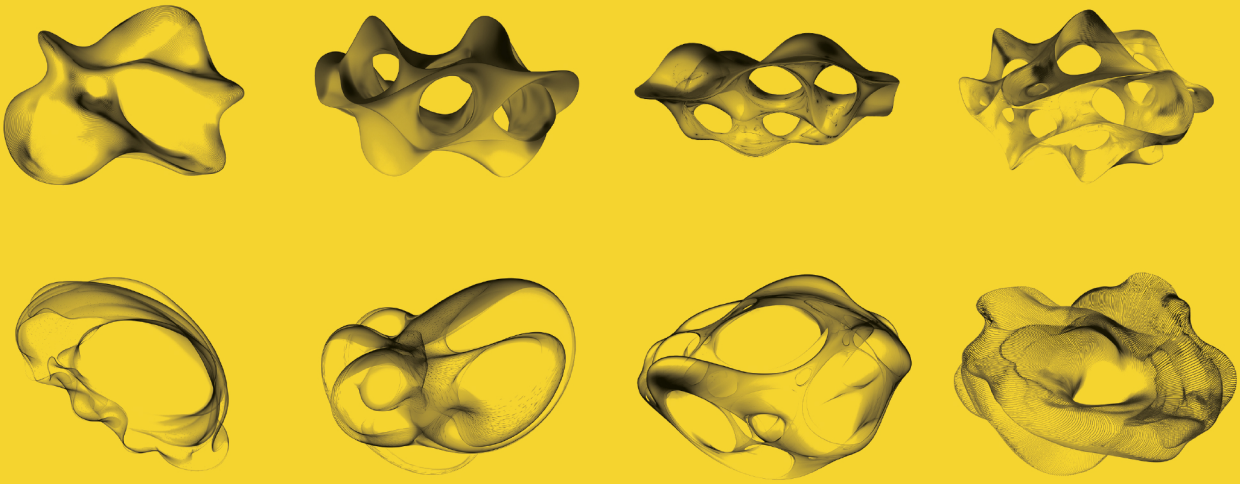
TUTOR **PROF. MAURIZIO UNALI**
COTUTOR **PROF. GIOVANNI CAFFIO**

XVIII CICLO
DATA **28/07/2026**

TESI DI DOTTORATO

Architetture per il Museo Virtuale

Teoria, Rilievo, Metaprogetto, IA Generativa



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI "G.D'ANNUNZIO" CHIETI PESCARA
DOTTORATO **CULTURE DEL PROGETTO: CREATIVITÀ, PATRIMONIO, AMBIENTE**

Non una fuga mundi, ma una creatio mundi.

Tomás Maldonado

Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti - Pescara

University of Study "G. d'Annunzio" Chieti - Pescara

Scuola Superiore G. d'Annunzio

Dottorato di Ricerca in Culture del Progetto Creatività, Patrimonio, Ambiente

PhD Course in Design Cultures Creativity, Heritage, Environment

Coordinatore

Coordinator

Prof. Maurizio Unali

Collegio dei Docenti

Teaching staff

Proff.

Massimo Angrilli

Federico Bilò

Sebastiano Carbonara

Stefano D'Avino

Giuseppe Di Bucchianico

Filomena Adele Fiadino

Raffaele Giannantonio

Antonio Marano

Daniela Ladiana

Lorenzo Pignatti

Donatella Radogna

Lucia Serafini

Claudio Varagnoli

CANDIDATO **FABIO ZOLLO**

TUTOR **PROF. MAURIZIO UNALI**
COTUTOR **PROF. GIOVANNI CAFFIO**

XVIII CICLO
DATA **28/07/2026**

TESI DI DOTTORATO

Architetture per il Museo Virtuale

Teoria, Rilievo, Metaprogetto, IA Generativa

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI "G.D'ANNUNZIO" CHIETI PESCARA
DOTTORATO **CULTURE DEL PROGETTO: CREATIVITÀ, PATRIMONIO, AMBIENTE**

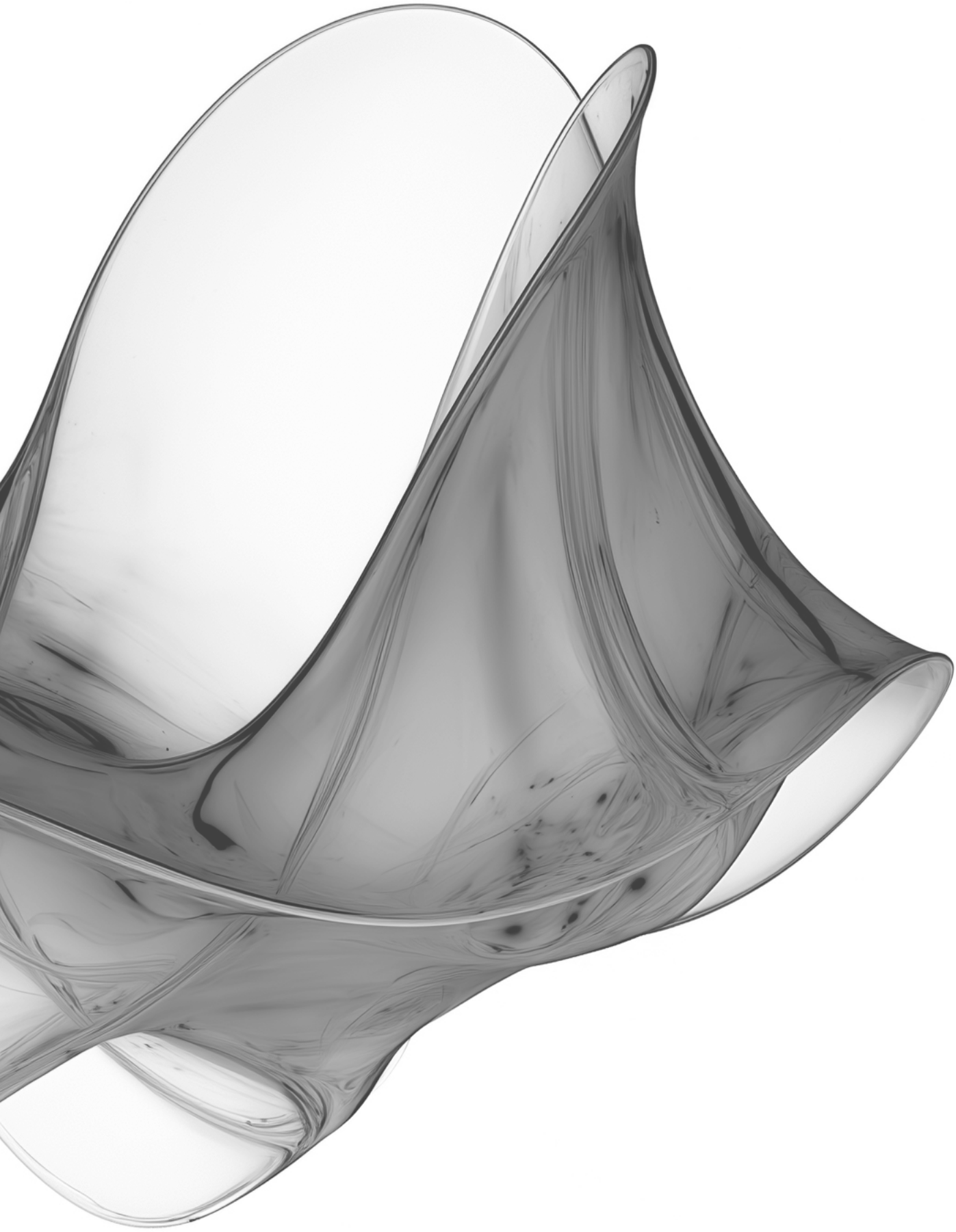


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

ABSTRACT

La diffusione delle tecnologie immersive di rappresentazione, l'emergere dell'idea 'Metaverso' come paradigma culturale e l'accelerazione dell'Intelligenza Artificiale generativa hanno ampliato notevolmente i confini della disciplina architettonica. Alle città cosiddette reali si sono affiancate quelle virtuali, abitabili attraverso le tecnoculture digitali: nuove forme dell'abitare che non si radicano nello spazio fisico ma nella rappresentazione. È l"abitare virtuale', oggetto della presente ricerca, che studia in particolare il contributo delle applicazioni di IA generativa alla costruzione dell'idea di Museo Virtuale.

Tali innovazioni pongono al ricercatore domande radicali e ineludibili: come si progetta un ambiente che non è pensato per essere realizzato nello spazio fisico? Come si abita un luogo senza materia, senza gravità, senza vincoli costruttivi? Come si governa un processo progettuale in cui l'agente generativo non è più solo il progettista umano? E ancora: come si può immaginare un metodo progettuale quando gli strumenti partecipano attivamente alla produzione della forma? Nel triennio in cui la ricerca si è svolta (2023-2025), queste domande sono divenute operative: l'affermazione dei sistemi generativi ha trasformato condizioni prima teoriche in questioni concrete della pratica progettuale.

È da queste considerazioni che prende avvio la presente ricerca, che risponde mettendo a punto una metodologia metaprogettuale capace di integrare teoria, rilievo e sperimentazione con strumenti di IA generativa, mantenendo al centro la responsabilità autoriale del progettista, inteso come regista di un fenomeno complesso. L'IA generativa non è, quindi, un punto di arrivo, né un semplice strumento operativo: è piuttosto un agente co-progettuale che, dialogando con la cultura architettonica storica, è capace di attualizzare paradigmi fondativi dell'architettura digitale.

La Prima Parte — 2026 Stato dell'Arte — punta alla costruzione di una conoscenza complessiva della genealogia dell"abitare virtuale': lo studio di ciò che si è pensato, immaginato e progettato in settantacinque anni di cultura digitale, dal Test di Turing (1950) all'avvento dei modelli generativi di ultima generazione (2025). Il contributo storiografico è duplice. Da un lato, una periodizzazione argomentata in sei fasi di trasformazione, che assume l'IA generativa come elemento periodizzante, individuando nel quinquennio 2021-2025 — dalla stagione del metaverso ai sistemi generativi — la fase più densa dell'intero arco. Dall'altro, un Rilievo strutturato attorno alla catalogazione di 112 opere emblematiche (Appendice A1), distribuite in tre macro-categorie: Tecnoculture; Riferimenti Concettuali e Visivi; Abitare Virtuale. Questa catalogazione non è fine a se stessa: costituisce il substrato conoscitivo per estrarre *pattern* progettuali ricorrenti e storicizzare il presente, e si materializza nella mappa concettuale interattiva sull"abitare virtuale', visualizzazione tridimensionale e navigabile delle 112 schede, realizzata con strumenti di visualizzazione dati assistiti da IA.

La Seconda Parte — Metaprogetto di un Museo Virtuale — definisce un *framework* metodologico articolato in tre componenti operative complementari, corrispondenti a tre livelli di controllo crescente. La prima componente definisce *workflow* integrati *text-to-image-to-video-to-3D*, in una *pipeline* capace di passare da descrizioni testuali concettuali a modelli 3D. La seconda componente sviluppa l'addestramento LoRA di Stable Diffusion su un *corpus* curatoriale di 128 immagini ispirate al linguaggio morfologico dell'*Embryological House* di Greg Lynn: ne discende un principio che trascende la tecnica impiegata, la costruzione del *dataset* è un atto progettuale primario. La terza componente sperimenta il paradigma ChatGPT-GHPython-Grasshopper, in cui il modello linguistico

opera da traduttore fra descrizione conversazionale e codice parametrico eseguibile.
Le componenti eterogenee prodotte dai tre approcci convergono nella composizione del [vIrtuAl museum] — grafia intenzionale che suggerisce la compresenza del virtuale e dell'artificiale —, elaborata in Rhinoceros e trasferita in Twinmotion 2025 con conversione *Nanite*, resta aperta verso Unreal Engine 5, ambiente destinato ad accogliere le componenti di interattività e *gamification*.
La riflessione critica sviluppa tre angolature complementari. Sul piano etico, il principio della 'delega consapevole' — né autorialità piena né abdicazione: il progettista conserva il giudizio, il sistema esercita la generazione. Sul piano tecnico, la distinzione fra limiti contingenti, superabili dall'evoluzione degli strumenti, e limiti strutturali dei sistemi generativi. Sul piano prospettico, l'analisi dei sistemi di *spatial intelligence* e della generazione 3D nativa, che riapre, su basi tecnologiche nuove, la stessa idea di metaverso da cui la ricerca aveva preso avvio.
I risultati si articolano in tre obiettivi di natura diversa: osservativo-descrittivo, nella ricostruzione critica dell'evoluzione dell"abitare virtuale'; conoscitivo-scientifico, nella definizione di una metodologia di metaprogetto verificabile, replicabile su hardware accessibile e fondata sulla delega consapevole; operativo-validativo, nell'elaborazione dei principi compositivi verificati dal metaprogetto [vIrtuAl museum]. Un contributo che aspira a trovare nel museo virtuale non un caso isolato, ma un modello capace di suggerire idee e operazioni per l'architettura digitale contemporanea.

Parole chiave: abitare virtuale; museo virtuale; metaprogetto; intelligenza artificiale generativa; *fine-tuning LoRA*; design parametrico; rappresentazione.

SOMMARIO

15 INTRODUZIONE

PRIMA PARTE - 2026 STATO DELL'ARTE

31 1 | RAPPRESENTARE E RILEVARE L''ABITARE VIRTUALE', DAL GAMING AI VIRTUAL WORLD, DAL VIRTUAL MUSEUM AL METAVERSO FINO ALL'IA GENERATIVA.

37 1.1 RICERCA DEGLI AMBITI STORICI, DEI PROTAGONISTI E DELLE OPERE

40 1.1.1 1950-1970: LE ORIGINI

46 1.1.2 1971-1990: PERSONAL COMPUTING E CYBERSPACE

54 1.1.3 1991-2000: L'ARCHITETTURA DIGITALE

63 1.1.4 2001-2010: MONDI PERSISTENTI E SOCIAL GAMING

69 1.1.5 2011-2020: VR CONSUMER E BLOCKCHAIN

73 1.1.6 2021-2025: METAVERSO E IA GENERATIVA

85 1.2 TECNOLOGIE, ESPERIENZA E RAPPRESENTAZIONE DELL"ABITARE VIRTUALE'

87 1.2.1 EXTENDED REALITY: VR, AR, MR

93 1.2.2 INTERATTIVITÀ E IMMERSIVITÀ

99 1.2.3 ELEMENTI COMPONENTI E CATEGORIE INTERPRETATIVE

106 1.2.4 MODELLAZIONE 3D: TRADIZIONALE, COMPUTAZIONALE, WORKFLOW IBRIDI

117 1.3 INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA: ORIGINI, DEFINIZIONE E APPLICAZIONI

119 1.3.1 EVOLUZIONE STORICA E PRINCIPI TECNICI DELL'IA GENERATIVA

126 1.3.2 IA: GENERATORI DI IMMAGINI (TEXT-TO-IMAGE, IMAGE-TO-IMAGE)

130 1.3.3 IA: GENERATORI DI VIDEO (TEXT-TO-VIDEO, IMAGE-TO-VIDEO)

134 1.3.4 IA: GENERATORI DI MODELLI 3D (TEXT-TO-3D, IMAGE-TO-3D)

139 1.3.5 IA: CHATBOT (CHATGPT, CLAUDE, GEMINI)

147 2 | MAPPA CONCETTUALE SULL''ABITARE VIRTUALE'

SECONDA PARTE - METAPROGETTO DI UN MUSEO VIRTUALE

163 **3 | METODOLOGIA DI SPERIMENTAZIONE**

165 3.1 INTEGRAZIONE TRA STRUMENTI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA

167 3.1.1 WORKFLOW TEXT-IMAGE-VIDEO-3D: CINQUE FASI SEQUENZIALI

168 3.1.1.1 FASE 1: PROMPT ENGINEERING CONVERSAZIONALE MEDIANTE LLM

169 3.1.1.2 FASE 2: GENERAZIONE DELLE IMMAGINI MEDIANTE MIDJOURNEY

171 3.1.1.3 FASE 3: ANIMAZIONE MEDIANTE MIDJOURNEY ANIMATE

172 3.1.1.4 FASE 4: RICOSTRUZIONE 3D MEDIANTE MESHY AI E VALIDAZIONE DELLE GEOMETRIE

177 3.1.1.5 FASE 5: RICOSTRUZIONE VOLUMETRICA MEDIANTE NEURAL RADIANCE FIELDS IN LUMA AI

200 3.1.2 ADDESTRAMENTO DI UN MODELLO DI GENERAZIONE IMMAGINI

202 3.1.2.1 FONDAMENTI TECNICI: STABLE DIFFUSION E LA TECNICA LORA

205 3.1.2.2 COSTRUZIONE DEL CORPUS E PREPARAZIONE DEL DATASET

210 3.1.2.3 INFRASTRUTTURA TECNOLOGICA ED ESECUZIONE DEL TRAINING

219 3.1.2.4 VALUTAZIONE DEGLI OUTPUT E TEST GENERATIVI

221 3.1.2.5 IMPLICAZIONI METODOLOGICHE

234 3.1.3 IA E DESIGN PARAMETRICO: GENERAZIONE DI GEOMETRIE 3D DA CODICE

238 3.1.3.1 STRATEGIA 1: GENERAZIONE DI PUNTI

244 3.1.3.2 STRATEGIA 2: CAOS CONTROLLATO

250 3.1.3.3 STRATEGIA 3: CURVE ELICOIDALI

267 3.2 SFIDE E OPPORTUNITÀ DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA

269 3.2.1 ASPETTI ETICI E IMPLICAZIONI DELL'IA NEI CONTESTI CULTURALI

282 3.2.2 LIMITI TECNOLOGICI

296 3.2.3 PROSPETTIVE DI SVILUPPO

309 **4 | REALIZZAZIONE DEL METAPROGETTO DI UN MUSEO VIRTUALE [vIrtuAl museum]**
310 4.1 SELEZIONE E PREPARAZIONE DELLE GEOMETRIE
310 4.1.1 GEOMETRIE QUAD DA MESHY AI: CRITERI DI VALUTAZIONE
311 4.1.2 SELEZIONE DELLE STRUTTURE PARAMETRICHE
312 4.2 COMPOSIZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA SCENA
313 4.2.1 STRUTTURA COMPOSITIVA A TRE FASCE
314 4.2.2 ASSEMBLAGGIO, SCALA E VERIFICA TOPOLOGICA
315 4.3 ESPORTAZIONE DELLA SCENA
315 4.3.1 IL DOPPIO FLUSSO DI ESPORTAZIONE: DATASMITH E FBX
316 4.3.2 IMPORTAZIONE IN TWINMOTION 2025 E RIELABORAZIONE NANITE
317 4.3.3 MATERIALI, MAPPATURE UV E ILLUMINAZIONE
318 4.4 PROSPETTIVE DI SVILUPPO: VERSO UNREAL ENGINE 5

345 **CONCLUSIONI**
356 **BIBLIOGRAFIA**
374 **SITOGRAFIA**

382 **APPENDICI**
385 A1 CATALOGAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELL"ABITARE VIRTUALE': EXEMPLA
510 A2 ITERAZIONI E CODICE PYTHON PER LA MAPPA CONCETTUALE ESPLORABILE SULL"ABITARE VIRTUALE'
526 B PROMPTS PER LA COSTRUZIONE DEL CORPUS DI ADDESTRAMENTO E PER I TEST GENERATIVI
540 C CODICI GHPYTHON PER LA GENERAZIONE DI GEOMETRIE PARAMETRICHE MEDIANTE IA





INTRODUZIONE

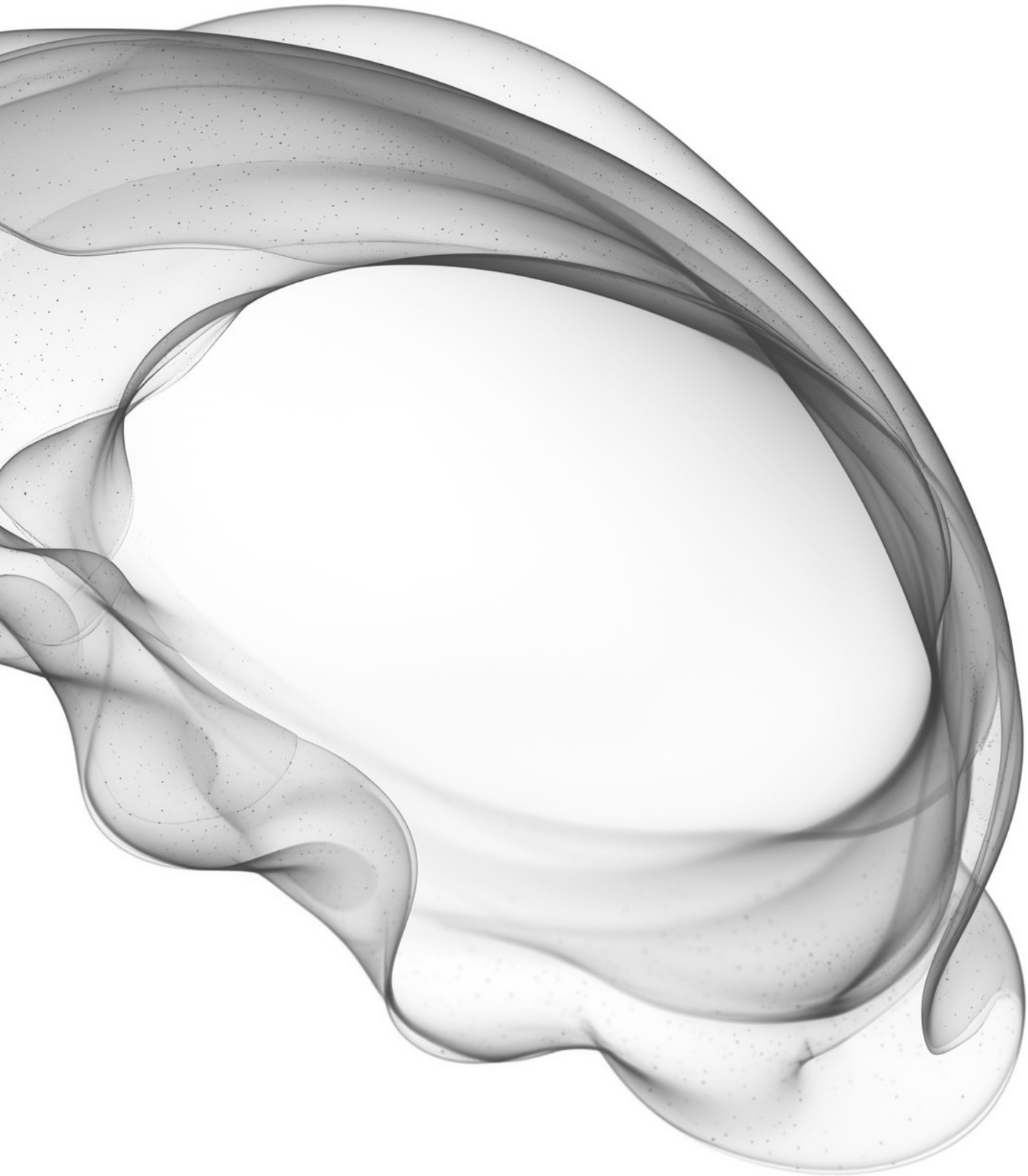


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

INTRODUZIONE

ARCHITETTURE PER IL MUSEO VIRTUALE

La diffusione delle tecnologie immersive di rappresentazione, l'emergere dell'idea 'Metaverso' come paradigma culturale e e l'accelerazione dell'Intelligenza Artificiale generativa hanno ampliato notevolmente i confini della disciplina architettonica.

Tali innovazioni pongono al ricercatore nuove domande radicali e ineludibili: come si progetta un ambiente che non è pensato per essere realizzato nello spazio fisico? Come si abita un luogo senza materia, senza gravità, senza vincoli costruttivi? Ma soprattutto, alla luce delle innovazioni tecnologiche e progettuali odierne, come si governa un processo progettuale in cui l'agente generativo non è più solo il progettista umano? E ancora: come si può immaginare un metodo progettuale quando gli strumenti partecipano attivamente alla produzione della forma, diventando conformativi?

Queste prime considerazioni testimoniano la profonda rivoluzione tecnoculturale che ha investito i fondamenti stessi del progetto di architettura, ridefinendo il concetto di spazio architettonico e delle sue forme abitabili nello spazio virtuale.

Alle città cosiddette reali, con la loro stratificazione millenaria di materia, memoria e relazioni, si sono affiancate quelle virtuali, abitabili attraverso le tecnoculture digitali.

Dobbiamo però ricordare che l'idea di abitare spazi virtuali non nasce con il digitale. Da Piranesi a Boullée, da Ledoux a Sant'Elia, dagli Archigram alle utopie dei laboratori radicali degli anni Settanta (per citare solo alcuni esempi), la storia dell'architettura è attraversata da una tradizione vastissima di spazi immaginati: rappresentazioni, manifesti, *paper architecture*, luoghi concepiti al di fuori di ogni vincolo

costruttivo, capaci di prefigurare mondi alternativi[1].

La virtualità si configura, quindi, come una sorta di carattere fondativo del progetto di architettura, indipendentemente dai tempi e dalle tecnologie di visualizzazione proprie del periodo storico. Ma, fin dagli esordi dell'informatica e, soprattutto, dalla cosiddetta 'architettura digitale' della fine del secolo scorso ad oggi, abbiamo assistito a una caleidoscopica opportunità creativa che ha investito ogni settore della rappresentazione architettonica (e non solo).

Da Alan Turing e dallo *Sword of Damocles* di Ivan Sutherland[2], fino ai Modelli Linguistici di Grandi Dimensioni (LLM) e ai visori di ultima generazione, lo spazio immaginato ha acquisito ulteriori proprietà: la navigabilità — la possibilità, cioè, di esplorare lo spazio in prima persona, in tempo reale, come ambiente in cui si entra piuttosto che come immagine da contemplare — e la generatività algoritmica, ovvero la partecipazione attiva di un agente non umano alla produzione della forma.

Ma non è la smaterializzazione dello spazio la sola novità: è il fatto che quello spazio oggi risponde, si trasforma e si abita.

In questo contesto, qui solo accennato, l'idea di 'Museo Virtuale' rappresenta una delle forme emblematiche di spazio architettonico polisemico emergente: non la digitalizzazione di un'istituzione preesistente, ma la concezione di un ambiente culturale nativamente digitale, interattivo, generato algoritmicamente, capace di accogliere opere, esperienze e visitatori senza le costrizioni del mondo fisico.

La disciplina architettonica, tuttavia, nonostante le molteplici ricerche innescate, non sembra aver ancora

---

1 Per una panoramica sistematica della tradizione di *paper architecture* e degli spazi visionari nella storia dell'architettura, dal sublime piranesiano alle utopie radicali del Novecento, cfr. Appendice A1, Lotto B (*Riferimenti Concettuali e Visivi*, schede 35-72).

2 Sul Test di Turing (1950) cfr. Cap. 1.1.1 e Appendice A1, Scheda 1; per un approfondimento sullo *Sword of Damocles* di Ivan Sutherland (1968) cfr. Cap. 1.1.1 e Appendice A1, Scheda 8.

delineato un quadro metodologico sistematico per governare consapevolmente i rivoluzionari processi progettuali innescati dalle recenti innovazioni tecnoculturali.
Come è noto, le sperimentazioni storiche esistono e sono di grande interesse — da Greg Lynn agli Asymptote, da Refik Anadol allo studio Coop Himmelb(l)au con il progetto Deep Himmelblau, fino agli spazi nel metaverso progettati da Zaha Hadid Architects (solo per citare alcuni autori)[3] —, ma rimangono spesso episodiche, slegate da un sistema teorico ed operativo capace di rendere i risultati replicabili e verificabili.
È da queste considerazioni che prende avvio la presente ricerca.

TEMATICA E POSIZIONAMENTO DELLA RICERCA

In continuità con gli studi sui rapporti tra Architettura e Tecnocultura digitale, questa ricerca si propone di sviluppare un metaprogetto[4] sull'idea di 'Museo Virtuale'. Ricordiamo che il termine *Metaprogetto* — le cui origini derivano dal neologismo *metadesign* coniato da Andries Van Onck negli anni Sessanta — è qui inteso nella tradizione teorica che, dal quadro sistemico delineato da Tomás Maldonado agli sviluppi di Ezio Manzini, lo riconduce alla progettazione del processo progettuale stesso: non la concezione di un singolo artefatto, ma la definizione di scenari, requisiti e parametri — teorici, metodologici e operativi — che strutturano il passaggio dalla fase analitica alla formalizzazione del *concept*, governando in questo caso la concezione, lo sviluppo e la

3 Per ampliare il panorama degli autori, cfr. Appendice A1, Lotto C (*Abitare Virtuale*, schede 73-112), in particolare Scheda 75 (G. Lynn, *Embryological House*, 1997-2002), Scheda 84 (Asymptote, *Virtual Guggenheim Museum*, 1999), Scheda 63 (R. Anadol, *WDCH Dreams*, 2018), Scheda 100 (Coop Himmelb(l)au, *Deep Himmelblau*), Schede 98 e 104 (Zaha Hadid Architects, *Liberland Metaverse* e *NFTism Virtual Gallery*, 2021).

4 Per i riferimenti fondativi del concetto, si vedano: A. Van Onck, *Metadesign*, in «Edilizia Moderna», n. 85, 1965, pp. 57-65; T. Maldonado, *La speranza progettuale. Ambiente e società*, Einaudi, Torino 1970; E. Manzini, *Artefatti. Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*, Domus Academy, Milano 1990.

valutazione di spazialità architettoniche virtuali mediante strumenti computazionali avanzati.

Tale approccio della ricerca si inserisce nel più ampio filone di indagine sulle forme di 'Abitare Virtuale'[5], dove tecnologie come la Realtà Virtuale (VR), la Realtà Aumentata (AR), la Mixed Reality (MR) e le piattaforme collaborative online, stanno ridefinendo i concetti fondamentali di spazio, presenza e interazione.

Inoltre, la ricerca non intende celebrare acriticamente le possibilità tecnologiche, ma tratteggiare una posizione teorica critica che mantenga la centralità delle scelte interpretative e della responsabilità progettuale umana di fronte al pericolo dell'automazione algoritmica e dell'omologazione estetica. L'IA generativa non è, quindi, un punto di arrivo, né un semplice strumento operativo: è piuttosto un interessante agente co-progettuale che, dialogando con la cultura architettonica storica, è capace di attualizzare paradigmi fondativi dell'architettura digitale. Queste ipotesi, in cui l'intelligenza artificiale generativa non sostituisce ma prolunga e trasforma il ragionamento critico dell'architetto, costituiscono il filo conduttore dell'intera ricerca svolta.

PREMESSA METODOLOGICA

STRUTTURA: IPOTESI, METODO E RISULTATI

La metodologia adottata nella strutturazione della ricerca svolta è stata scandita da due fasi evolutive, evidenti nell'articolazione dell'indice, che si muovono dalla conoscenza generale del fenomeno osservato al progetto di un caso studio sperimentale.

---

5 L'espressione si riferisce alle varie ricerche coordinate da M. Unali. Cfr. M. Unali, *Abitare virtuale significa rappresentare*, Kappa, Roma 2008. Per approfondire cfr. G. Caffio, M. Unali, *Verso una storia dell'Abitare Virtuale. Dal Cyberspace a Second Life fino al Metaverso di Facebook e oltre*, in C. Battini, E. Bistagnino (a cura di), *Dialoghi visioni e visualità*, FrancoAngeli, Milano 2022, pp. 205-219.

La prima parte — *2026 Stato dell'Arte / Rappresentare e Rilevare l'Abitare Virtuale, dal Gaming ai Virtual World, dal Virtual Museum al Metaverso fino all'IA generativa / Mappa Concettuale sull'Abitare Virtuale* — punta alla costruzione di una conoscenza complessiva della genealogia dell'abitare virtuale, considerando anche le recenti evoluzioni dell'IA generativa, alimentando gli approfondimenti teorici e i riferimenti concettuali e visivi nel contesto della storia della rappresentazione.

La seconda parte della ricerca — *Metaprogetto di un museo virtuale / Metodologia di Sperimentazione / Realizzazione del Metaprogetto di un Museo Virtuale* — cerca di definire un *framework* metodologico finalizzato al metaprogetto di ambienti virtuali con IA generativa e, in particolare, elaborando il caso studio denominato [vIrtuAl museum], sintesi validativa delle conoscenze acquisite, dei risultati progettuali ottenuti ed espressione di futuri sviluppi condivisi.

Emerge così un metodo di studio che si muove in una sorta di 'sistema binario', fra il rilevare e il progettare.

La comprensione dei due momenti, distinti ma profondamente interdipendenti, permette di argomentare la ricerca partendo da ipotesi generali per arrivare al particolare attraverso sperimentazioni concrete, che vengono poi utilizzate per definire una metodologia di indagine verificabile e replicabile.

La scelta di strutturare la ricerca secondo questo 'sistema binario' risponde anche a una precisa esigenza epistemologica: evitare sia la deriva puramente speculativa, una teoria sull'abitare virtuale slegata dalla pratica, sia la deriva puramente tecnica, un repertorio di strumenti privo di fondamento critico.

Rilevare e Progettare sono due sfere elaborative che si sostengono reciprocamente, costituendo il substrato conoscitivo necessario per la fase successiva.

ARTICOLAZIONE DELLA RICERCA

PRIMA PARTE — 2026 STATO DELL'ARTE

Il primo momento riguarda la costruzione dell'ipotesi oggetto di studio attraverso l'osservazione delle storie e delle teorie che hanno contribuito a formare l'immaginario dell'abitare virtuale. Lo studio di ciò che si è pensato, immaginato e progettato in settantacinque anni di cultura digitale, dal Test di Turing (1950) all'avvento dei modelli generativi di ultima generazione (2025).

L'attenzione è rivolta alla ricostruzione critica dell'evoluzione dell'abitare virtuale attraverso molteplici registri disciplinari: tecnico-informatico (ARPANET, World Wide Web, motori grafici *real-time*), architettonico (dalle sperimentazioni sulla forma animata di Lynn alle architetture parametriche di Zaha Hadid), artistico (dalle installazioni immersive di Anadol alla Net Art), letterario e cinematografico (da Gibson a Kubrick)[6], ecc.

Questa pluralità di fonti non è dispersione enciclopedica, ma risponde a una precisa scelta metodologica: l'abitare virtuale non è solo un fenomeno tecnologico, ma anche culturale, e per comprenderlo occorre attraversare i territori disciplinari che ne hanno costruito l'immaginario[7].

Il Rilievo viene inteso non nel senso tradizionale del rilevamento metrico di un manufatto fisico, ma come ricognizione sistematica e critica del campo disciplinare.

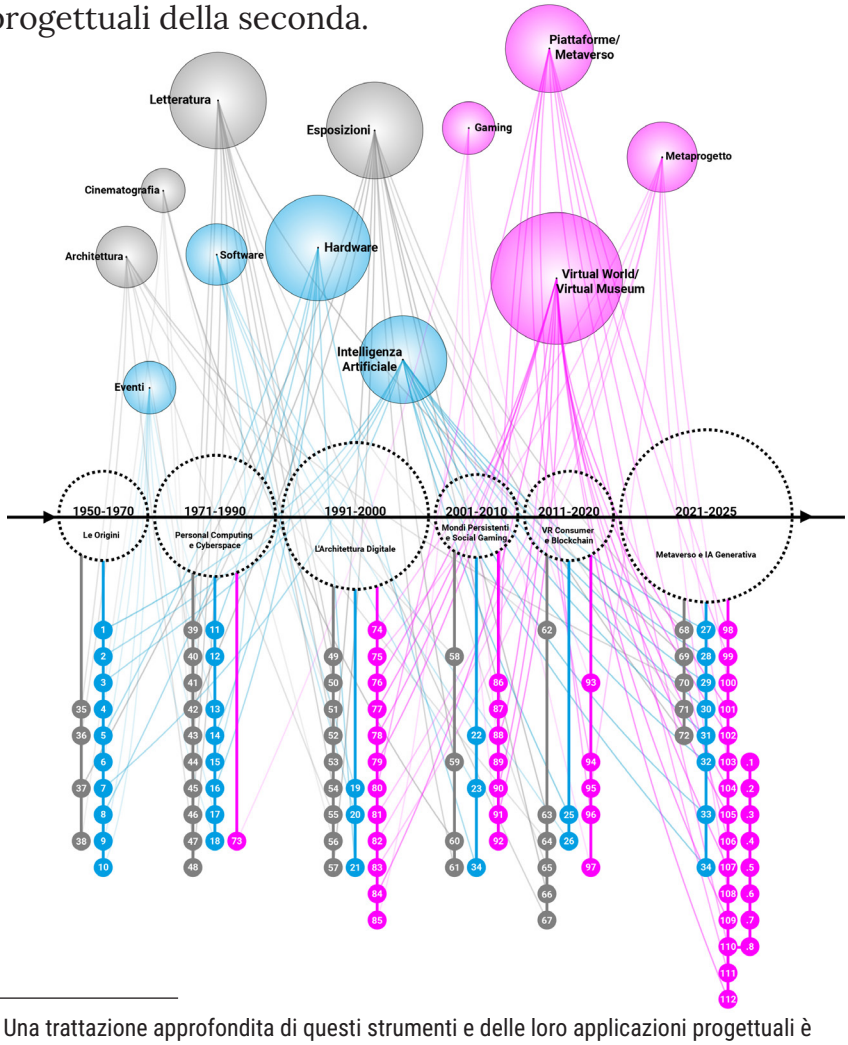
Il Rilievo si struttura attorno alla catalogazione di 112 opere emblematiche distribuite in tre macro-categorie — *Tecnoculture*: *Hardware/Software/IA*; *Riferimenti Concettuali e Visivi*; e *Abitare Virtuale* — organizzate

---

6 Per i riferimenti letterari e cinematografici evocati, cfr. Appendice A1, Lotto B, in particolare Scheda 46 (W. Gibson, *Neuromancer*, 1984) e Scheda 38 (S. Kubrick, *2001: A Space Odyssey*, 1968).

7 Per un inquadramento dell'architettura come luogo di produzione di immagini — che si nutre a sua volta di altre immagini — nei suoi rapporti con arte, fotografia, cinema e media, secondo l'approccio transdisciplinare della cultura visuale, cfr. F. Quici, *Architettura e cultura visuale*, Libria, Melfi 2024.

secondo una progressione cronologica che copre un arco di settantacinque anni. Questa catalogazione non è fine a se stessa: costituisce il substrato conoscitivo necessario per estrarre *pattern* progettuali ricorrenti, identificare i principi compositivi che caratterizzano lo spazio virtuale e storicizzare il presente. Dalle prime sperimentazioni con i visori stereoscopici alle piattaforme del metaverso contemporanee fino agli strumenti di IA generativa (Midjourney, ChatGPT, Meshy AI)[8], emerge una traiettoria evolutiva che permette di comprendere come le tecnologie del virtuale non siano discontinue rotture, ma sedimentazioni progressive di immaginari, linguaggi e possibilità. La mappa concettuale sull'abitare virtuale (cfr. Figg. 1-6), che sintetizza i risultati della prima parte, funge da strumento di orientamento per le sperimentazioni progettuali della seconda.



Estratto della mappa concettuale sull"abitare virtuale'. Cfr. Fig. 01, Cap. 2.

8 Una trattazione approfondita di questi strumenti e delle loro applicazioni progettuali è contenuta nei Cap. 1.3 e 3.1 della presente ricerca.

SECONDA PARTE – METAPROGETTO DI UN MUSEO VIRTUALE

Il passaggio dal Rilievo al Metaprogetto consente l'assunzione di una critica operante, capace di connettere teoria e pratica come possibilità per innestare dialetticamente la ricerca in un contesto più vasto.

Il secondo momento si concentra sulla costruzione del *framework* metodologico, articolato in tre componenti operative complementari, e sulla sua validazione empirica attraverso il caso di studio del [vIrtuAl museum].

La prima componente definisce *workflow* integrati *text-to-image-to-video-to-3D* che combinano strumenti di IA generativa (ChatGPT e Claude per il *prompt engineering*, Midjourney per la generazione di immagini architettoniche, Meshy AI per la ricostruzione geometrica tridimensionale) in una *pipeline* capace di passare da descrizioni testuali concettuali a modelli 3D.

Un esempio emblematico di questa metodologia è la rielaborazione dell'*Embryological House* di Greg Lynn attraverso gli strumenti generativi contemporanei: il paradigma parametrico degli anni Novanta, la variazione controllata come sistema generativo, viene attualizzato attraverso il dialogo con l'IA, producendo architetture che condividono la stessa logica generativa ma abitano un contesto tecnologico e culturale profondamente mutato.

La seconda componente sviluppa metodologie per l'addestramento di modelli personalizzati di generazione di immagini basati su Stable Diffusion, adattati al linguaggio architettonico specifico del progetto, garantendo coerenza stilistica e controllo morfologico degli *output*.

La terza componente sperimenta strategie operative per la generazione di geometrie 3D attraverso *workflow* ChatGPT, GHPython, Grasshopper, esplorando sistemi dinamici, aggregazioni volumetriche controllate e superfici parametriche da curve e sezioni.

Ciascuna strategia documenta il processo iterativo di co-progettazione uomo-IA, esponendo i parametri manipolabili e verificandone l'applicabilità.
Le tre strategie adottate — *text-to-image-to-video-to-3D*; Addestramento LoRA; Modelli parametrici GHPython — sono state oggetto di test e validazione all'interno di un ambiente virtuale.



Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA, prima e seconda tavola su fondo bianco (immagini 1-132); generate con Midjourney V7 in modalità Raw (aspect ratio 1:1) che costituiscono il dataset curatoriale per il fine-tuning del modello Stable Diffusion v1.5. cfr. Figg. 07 - 08. Cap. 3.1.1.

IL [vIrtuAl museum] COME PARADIGMA

Oltre a quanto già detto sull'idea di Museo Virtuale come caso paradigmatico di questa ricerca — già definito come una delle forme contemporanee emblematiche di spazio architettonico polisemico, ambiente culturale nativamente digitale, interattivo, capace di accogliere opere, esperienze e visitatori senza le costrizioni del mondo fisico —, si evidenzia che il tema consente di mettere a fuoco e sperimentare una metodologia applicabile a contesti più ampi: *Virtual Worlds*, *Applied Games*, spazi pubblici nel metaverso, ecc.

Il metaprogetto [vIrtuAl museum] — grafia intenzionale che suggerisce la compresenza del virtuale e dell'artificiale — non è un museo fisico digitalizzato, ma un ambiente concepito esclusivamente per l'esistenza digitale, libero dai vincoli costruttivi e gravitazionali che condizionano l'architettura nel mondo reale.

Ad esempio, saltando alcuni passaggi, possiamo ricordare che alcuni progetti pionieristici come il *Guggenheim Virtuale* di Asymptote (1999)[9], le installazioni immersive di Refik Anadol e la recente *Kid A Mnesia Exhibition* dei Radiohead[10], dimostrano come l'architettura digitale abbia generato interessanti esperienze culturali pluridisciplinari in grado di ampliare gli spazi d'azione dell'abitare.

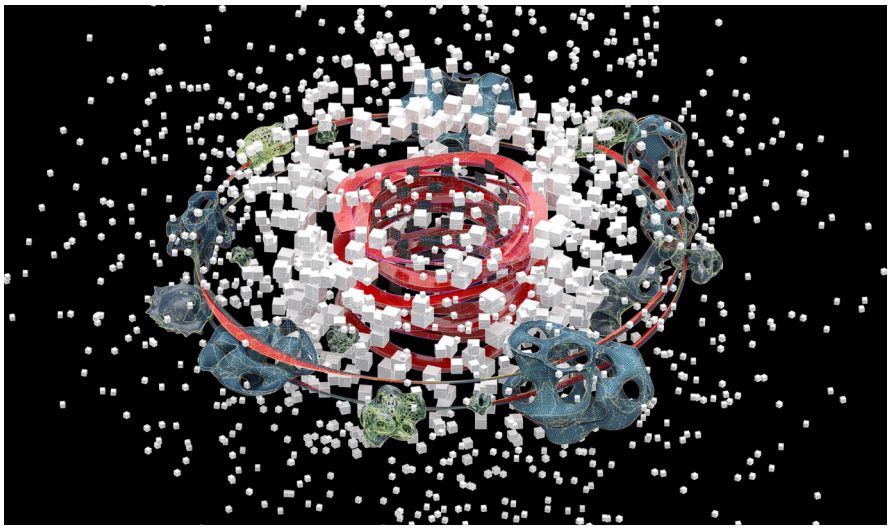
L'originalità del caso di studio non risiede tuttavia nell'oggetto in sé, ma nella prospettiva metodologica con cui viene affrontato: non la realizzazione di un prototipo fine a se stesso, ma la costruzione, attraverso il metaprogetto [vIrtuAl museum], di un sistema verificabile di strumenti, principi compositivi e criteri di valutazione per l'architettura virtuale generata con l'ausilio dell'intelligenza artificiale.

---

9 Per il *Guggenheim Virtuale* di Asymptote (Hani Rashid e Lise Anne Couture, 1999) cfr. H. Rashid, L. A. Couture, *Asymptote: Flux*, Phaidon Press, London 2002. Il progetto, museo che esiste solo nel *cyberspace* con gallerie fluttuanti svincolate da gravità e materialità, è discusso nel Cap. 1.1.3 della presente ricerca. Per una visione approfondita cfr. Appendice A1, Scheda 75.

10 Sul *Kid A Mnesia Exhibition* cfr. la documentazione prodotta da Radiohead e Epic Games (2021). Per una visione approfondita cfr. Appendice A1, Scheda 101.

In questo contesto di studio, questa forma dell'abitare virtuale si pone nella scena contemporanea come caso paradigmatico per lo sviluppo di una metodologia metaprogettuale che integri teoria, rilievo storico-critico e sperimentazione con strumenti di Intelligenza Artificiale generativa. La ricerca si propone così di indagare il potenziale simbolico e operativo dell'IA generativa come agente co-progettuale, capace di attualizzare paradigmi fondativi dell'architettura digitale nel contesto degli spazi virtuali immersivi e interattivi.



[vIrtuAl museum] — Vista isometrica della sintesi metaprogettuale. Cfr. Fig. 40, Cap. 4.

RISULTATI ATTESI: OLTRE IL [vIrtuAl museum]

Il lavoro analitico e sperimentale descritto non deve essere inteso come una serie di esercizi astratti, bensì come un'indagine che non mira solo alla realizzazione di un prototipo, ma offre anche un criterio operativo, una metodologia di sperimentazione verificabile e replicabile.
Una metodologia, quindi, che si configura come un sistema dinamico applicabile alle diverse scale del progetto virtuale. In questo processo creativo è possibile individuare una delle 'originalità' della ricerca svolta, caratterizzata dalla definizione di un quadro metodologico scientifico e critico che coinvolge discipline diverse — storia e teoria dell'architettura, informatica, arte digitale, filosofia della tecnologia, ecc. — costruendo un'operatività dimostrata dall'apparato grafico e sperimentale a supporto.

I risultati si riferiscono al [vIrtuAl museum], al metodo e a possibili sviluppi futuri, articolandosi in tre obiettivi di natura diversa: osservativo-descrittivo nella ricostruzione critica dell'evoluzione dell'abitare virtuale; conoscitivo-scientifico nella definizione di una metodologia di metaprogetto; operativo-validativo nella elaborazione di principi compositivi per l'architettura virtuale che possano contenere logiche utili alla trasformazione degli spazi digitali.

La ricerca intende inoltre contribuire al dibattito disciplinare sul ruolo dell'IA nella pratica architettonica, fornendo linee guida operative per architetti e *designer* che intendono integrare l'IA generativa nei processi progettuali, definendo il ruolo delle istituzioni culturali nella *governance* degli spazi virtuali e promuovendo un uso critico ed etico degli strumenti algoritmici.

Un contributo che aspira a trovare nel museo virtuale non un caso isolato ma un modello capace di suggerire idee e operazioni per l'architettura digitale contemporanea.

NOTE SUGLI ELABORATI

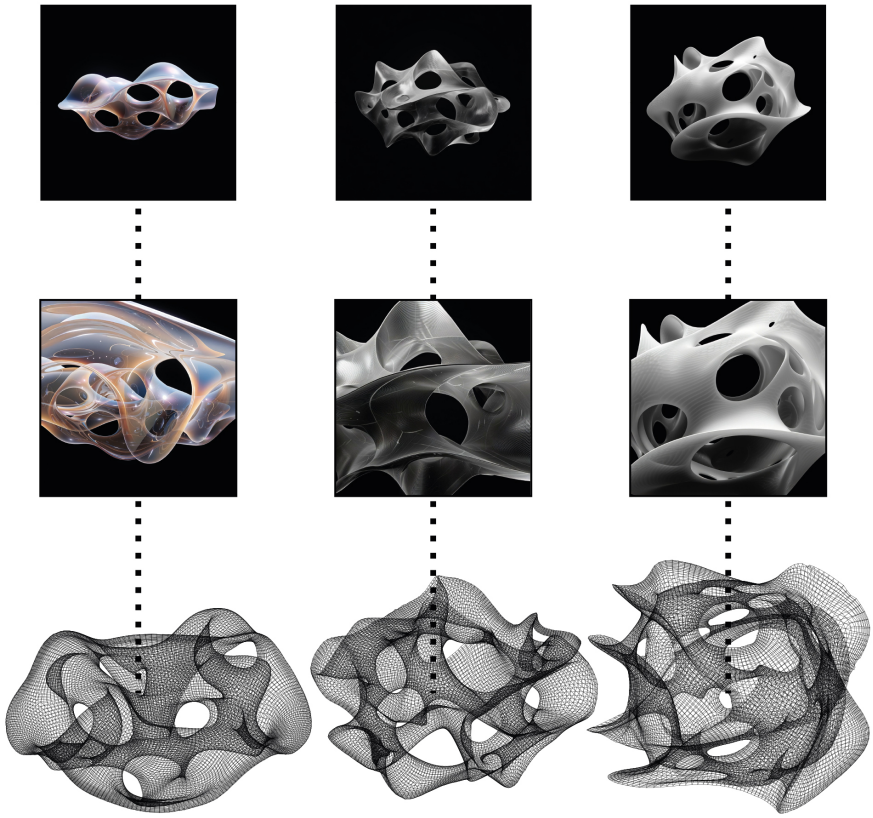
Le rappresentazioni digitali e l'apparato grafico e documentale del presente studio, salvo diversa indicazione, sono dell'autore.

Per ogni parte vengono scelti strumenti, scale di rappresentazione e mezzi espressivi ritenuti efficaci in funzione dei fini per cui sono stati ideati.

Per il Rilievo storico-critico, la ricerca si avvale di 112 schede monografiche — organizzate nelle tre macro-categorie: Tecnoculture; Riferimenti Concettuali e Visivi; Abitare Virtuale — che documentano sistematicamente opere, autori, tecnologie e ambienti virtuali dal 1950 al 2025. Le schede integrano testi critici, immagini e riferimenti bibliografici, costituendo un repertorio interrogabile per la costruzione del *framework* metodologico.

La mappa concettuale elaborata sull'abitare virtuale sintetizza visivamente le relazioni tra le opere catalogate, organizzandole secondo categorie interpretative trasversali. Per le sperimentazioni del Metaprogetto, la documentazione include: dialoghi conversazionali uomo-IA che illustrano il processo iterativo di co-progettazione; immagini generate attraverso *workflow text-to-image* (Midjourney), annotate con i *prompt* utilizzati e le variazioni prodotte; codice Grasshopper generato attraverso l'integrazione con ChatGPT e Claude, con documentazione dei parametri manipolabili; modelli 3D ottenuti attraverso *pipeline text-to-3D* (Meshy AI), verificati per l'utilizzo in motori *real-time* (Unreal Engine).

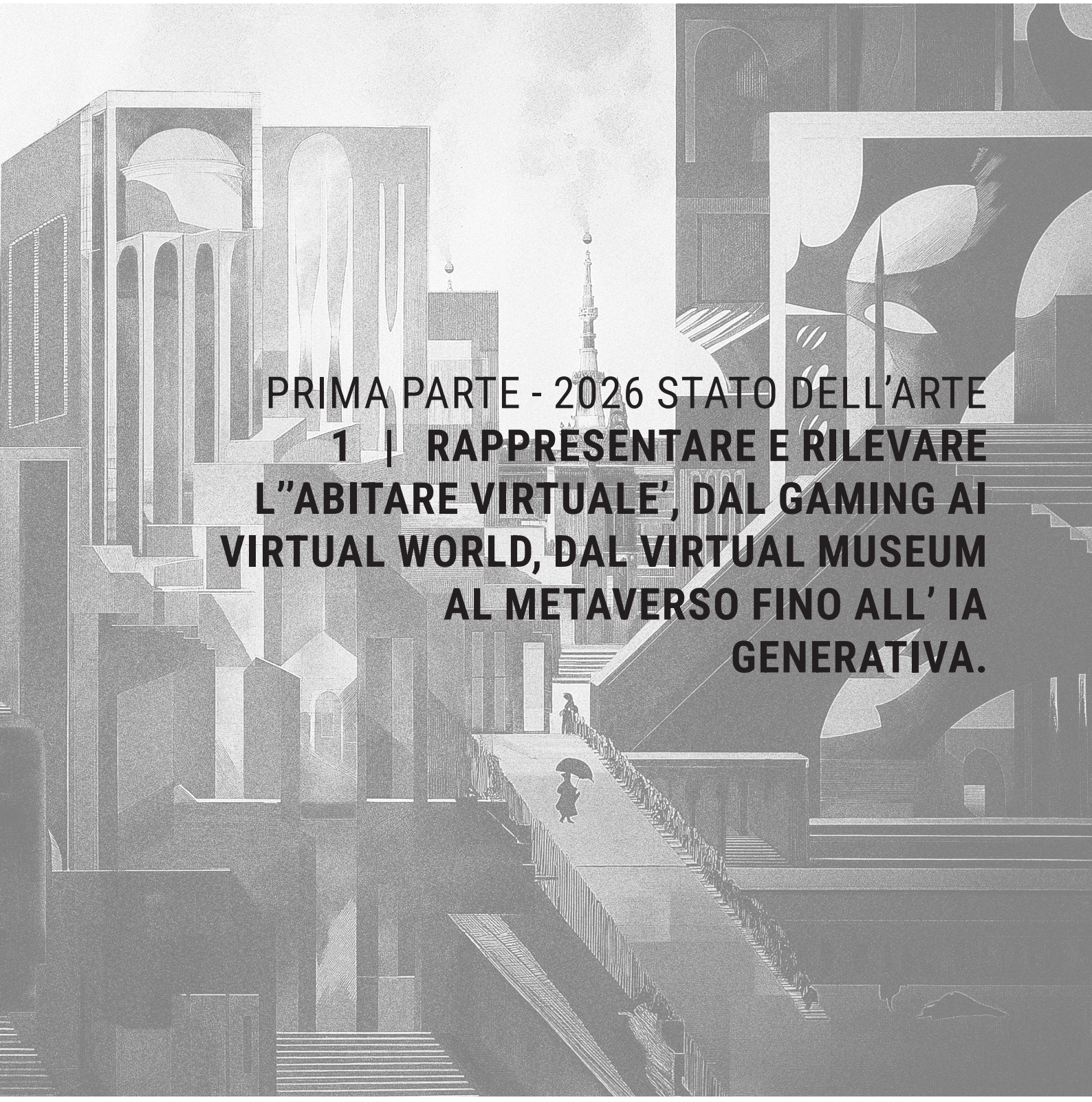
Per il [vIrtuAl museum], il prototipo finale documenta l'applicazione integrata delle tre componenti metodologiche, secondo il paradigma della *research through design*[11].



Estratto della Tavola dei Morfemi III; Documentazione comparata di due pipeline complete del workflow text-image-video-3D. Cfr. Fig. 11, Cap. 3.1.1.

11 Il paradigma della *research through design*, elaborato da Christopher Frayling nel saggio *Research in Art and Design* (1993) e successivamente sviluppato da Johan Redström, Kees Dorst e altri nell'ambito dei *design studies*, identifica una modalità di produzione della conoscenza in cui il processo progettuale stesso costituisce il metodo di ricerca: il prototipo, il modello o l'artefatto non illustrano una tesi formulata altrove, ma sono il mezzo attraverso cui la tesi viene costruita, verificata e comunicata.





PRIMA PARTE - 2026 STATO DELL’ARTE

1 | RAPPRESENTARE E RILEVARE L’’ABITARE VIRTUALE’, DAL GAMING AI VIRTUAL WORLD, DAL VIRTUAL MUSEUM AL METAVERSO FINO ALL’ IA GENERATIVA.

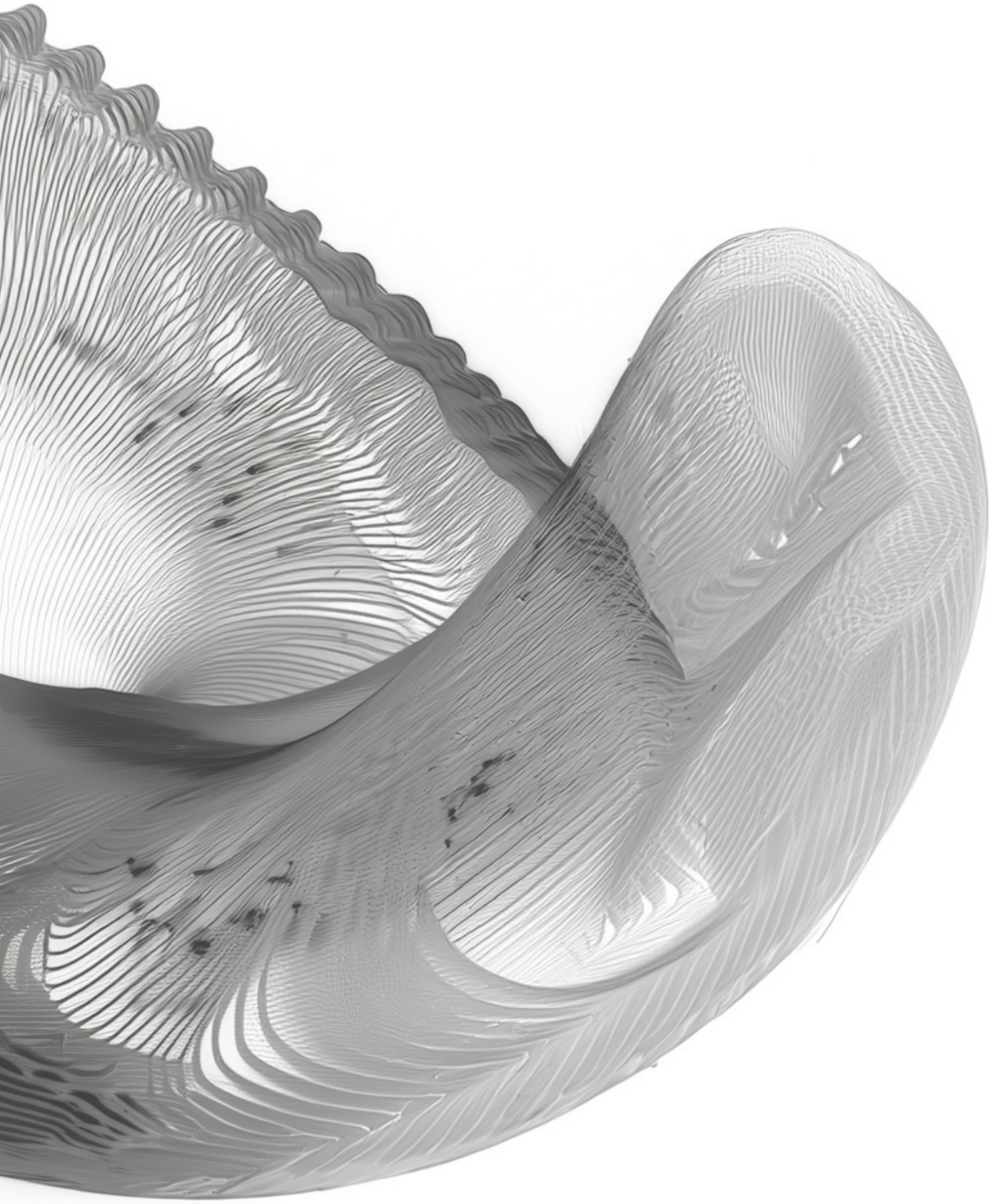


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

1 RAPPRESENTARE E RILEVARE L'"ABITARE VIRTUALE'

Il primo capitolo della ricerca si propone di ricostruire criticamente l'evoluzione dello spazio virtuale attraverso l'identificazione e l'analisi sistematica di opere, tecnologie e paradigmi progettuali che hanno definito l'"abitare virtuale' negli ultimi settantacinque anni.

Questa operazione storiografica non è un semplice esercizio di conoscenza: costituisce il fondamento epistemologico del metaprogetto. Non è possibile sviluppare un sistema metodologico rigoroso per la progettazione di spazi virtuali senza comprendere la genealogia delle forme, delle tecniche e dei concetti che hanno progressivamente strutturato questo dominio.

La ricostruzione storica diventa quindi uno strumento teorico essenziale per distinguere ciò che è effettivamente nuovo nelle attuali possibilità dell'IA generativa da ciò che rappresenta invece una continuità evolutiva rispetto a paradigmi già consolidati.

Il titolo del capitolo — *Rappresentare e rilevare l'"abitare virtuale'* — segnala una duplice operazione concettuale che attraversa tutta la ricerca. Da un lato, si tratta di *rappresentare*: ovvero di comprendere come gli spazi virtuali vengano concepiti, visualizzati e comunicati attraverso specifici sistemi di modellazione tridimensionale, *rendering* e interfacce immersive.

Dall'altro, si tratta di *rilevare*: termine che in architettura indica tradizionalmente l'operazione di misurazione e documentazione dell'esistente fisico, ma che qui assume un significato ampliato, riferendosi alla catalogazione sistematica di un patrimonio digitale già esistente, disperso e frammentario, che necessita di essere ordinato, classificato

e interpretato[1]. Questa inversione metodologica — dal progettare al rilevare — è concettualmente significativa: prima di proporre nuovi modelli progettuali, è necessario comprendere cosa già esiste, quali soluzioni sono state sperimentate, quali successi e fallimenti hanno segnato la storia dell"abitare virtuale'.

Il rilevamento si configura pertanto come una forma di 'archeologia digitale' che scava negli strati sedimentati delle tecnoculture recenti per estrarne categorie interpretative utilizzabili nel metaprogetto. Non si tratta, in altri termini, di catalogare ciò che è già stato fatto, ma di interrogarlo criticamente per ricavarne strumenti di lettura e di progetto.

Lo spazio virtuale, del resto, non può essere compreso soltanto attraverso le sue manifestazioni superficiali — i 'prodotti' visibili: videogiochi, piattaforme del metaverso, musei virtuali — ma richiede un'indagine che penetri nelle sue logiche costitutive profonde: le tecnologie che lo rendono possibile, i linguaggi che lo codificano, le grammatiche compositive che lo organizzano, le modalità di interazione che lo rendono 'abitabile'.

Il capitolo si articola in tre sezioni che procedono dal piano diacronico a quello concettuale-tecnico, fino all'approfondimento delle tecnologie che hanno trasformato in modo più radicale l'orizzonte della ricerca.

La sezione 1.1 — *Ricerca degli ambiti storici, dei protagonisti e delle opere* — definisce il perimetro cronologico e tematico dell'indagine, ricostruendo in sei fasi temporali — dalle origini dell'intelligenza artificiale e delle prime sperimentazioni immersive degli anni Cinquanta-Sessanta fino alla convergenza fra metaverso e IA generativa del quinquennio 2021-2025 — la genealogia critica dell"abitare virtuale'.

L'obiettivo è costruire una mappa temporale che permetta

1 Sul concetto di *rilievo* come strumento conoscitivo in architettura cfr. M. Docci, D. Maestri, *Scienza del disegno*, UTET, Torino 2000.

di contestualizzare le sperimentazioni successive e di tracciare le linee di continuità e di rottura che attraversano il campo, identificando i protagonisti — architetti, artisti, sviluppatori, teorici — che hanno contribuito a definirlo.
La periodizzazione è accompagnata e sostenuta dal catalogo di 112 schede presentato in Appendice A1, che documenta sistematicamente opere, tecnologie e riferimenti concettuali organizzati nelle tre macro-categorie: *Tecnoculture*; *Riferimenti Concettuali e Visivi*; *Abitare Virtuale*.
La sezione 1.2 — *Tecnologie, esperienza e rappresentazione dell'"abitare virtuale'* — costruisce l'apparato concettuale e tecnico attraverso cui lo spazio virtuale diventa esperibile, qualificabile e progettabile. Quattro sono i territori che la compongono: le tecnologie *Extended Reality* (VR, AR, MR) che costituiscono l'infrastruttura sensoriale attraverso cui lo spazio virtuale si dà all'esperienza; i principi dell'interattività e dell'immersività, qualità distintive della fruizione digitale rispetto a quella passiva dei media tradizionali; gli elementi componenti e le categorie interpretative che permettono di analizzare e progettare consapevolmente gli ambienti digitali; le metodologie di modellazione tridimensionale — dalla tradizione poligonale e NURBS ai *workflow* computazionali parametrici e algoritmici — che traducono i principi progettuali in forma realizzata.
La sezione 1.3 — *Intelligenza artificiale generativa: origini, definizione e applicazioni* — approfondisce le architetture di *deep learning* che hanno rivoluzionato la generazione di contenuti digitali negli ultimi anni[2]. La sezione si articola in cinque sottosezioni dedicate rispettivamente all'evoluzione storica e ai principi tecnici (1.3.1), ai generatori di immagini *text-to-image* e *image-to-image* (1.3.2), ai generatori di video *text-to-video* e *image-to-video* (1.3.3), ai generatori di modelli 3D *text-to-3D* e *image-to-3D* (1.3.4), e ai *chatbot*

2 Per le architetture di *deep learning* alla base dell'IA generativa cfr. I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville, *Deep Learning*, MIT Press, Cambridge 2016.

conversazionali basati su LLM (1.3.5), documentando per ciascuna categoria le principali piattaforme, le loro capacità tecniche e le implicazioni per la progettazione architettonica virtuale.

Questa sezione conclusiva del capitolo prepara direttamente il terreno alla sperimentazione documentata nel Capitolo 3, dove gli strumenti qui analizzati vengono attivati operativamente nel metaprogetto del [vIrtuAl museum].

La Prima Parte della ricerca si chiude con il Capitolo 2 — *Mappa concettuale sull'abitare virtuale*' — che restituisce in forma visiva la trama relazionale ricostruita attraverso le tre sezioni precedenti e il catalogo in Appendice. La Mappa non è un elaborato illustrativo aggiunto a valle della ricerca, ma uno strumento epistemologico autonomo: elaborata in due versioni complementari — una bidimensionale, che privilegia la lettura delle relazioni tematiche trasversali fra le 112 voci del catalogo; una tridimensionale interattiva, costruita attraverso un *workflow* iterativo con *Gemini* e *Google Colab*, che risolve il problema dell'addensamento nel quinquennio 2021-2025 e rende navigabile il campo documentato — la Mappa funge al contempo da sintesi della Prima Parte e da cerniera verso la Seconda, anticipando nel proprio processo costruttivo quel *workflow* di co-progettazione uomo-IA che il Capitolo 3 documenta sistematicamente.

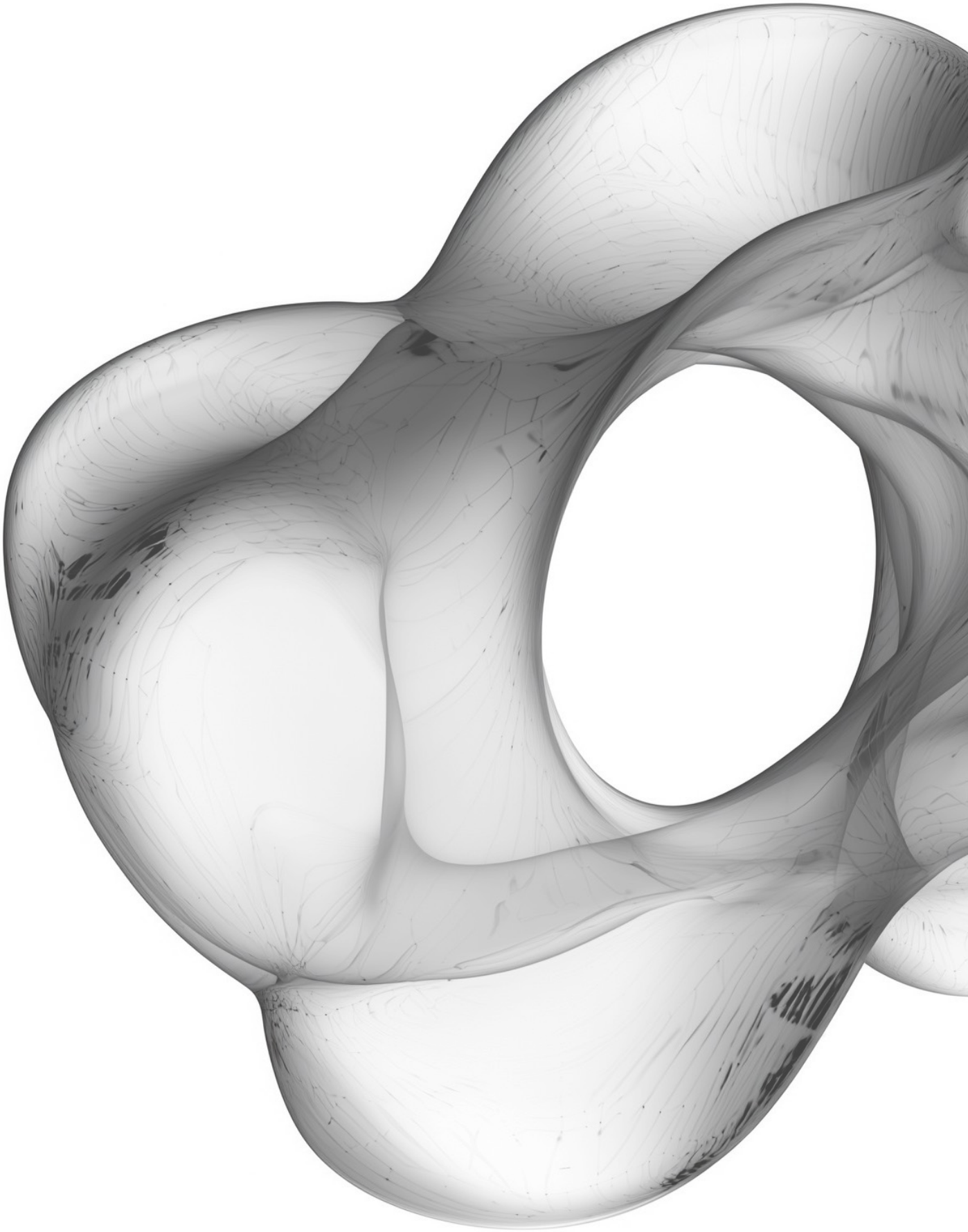


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

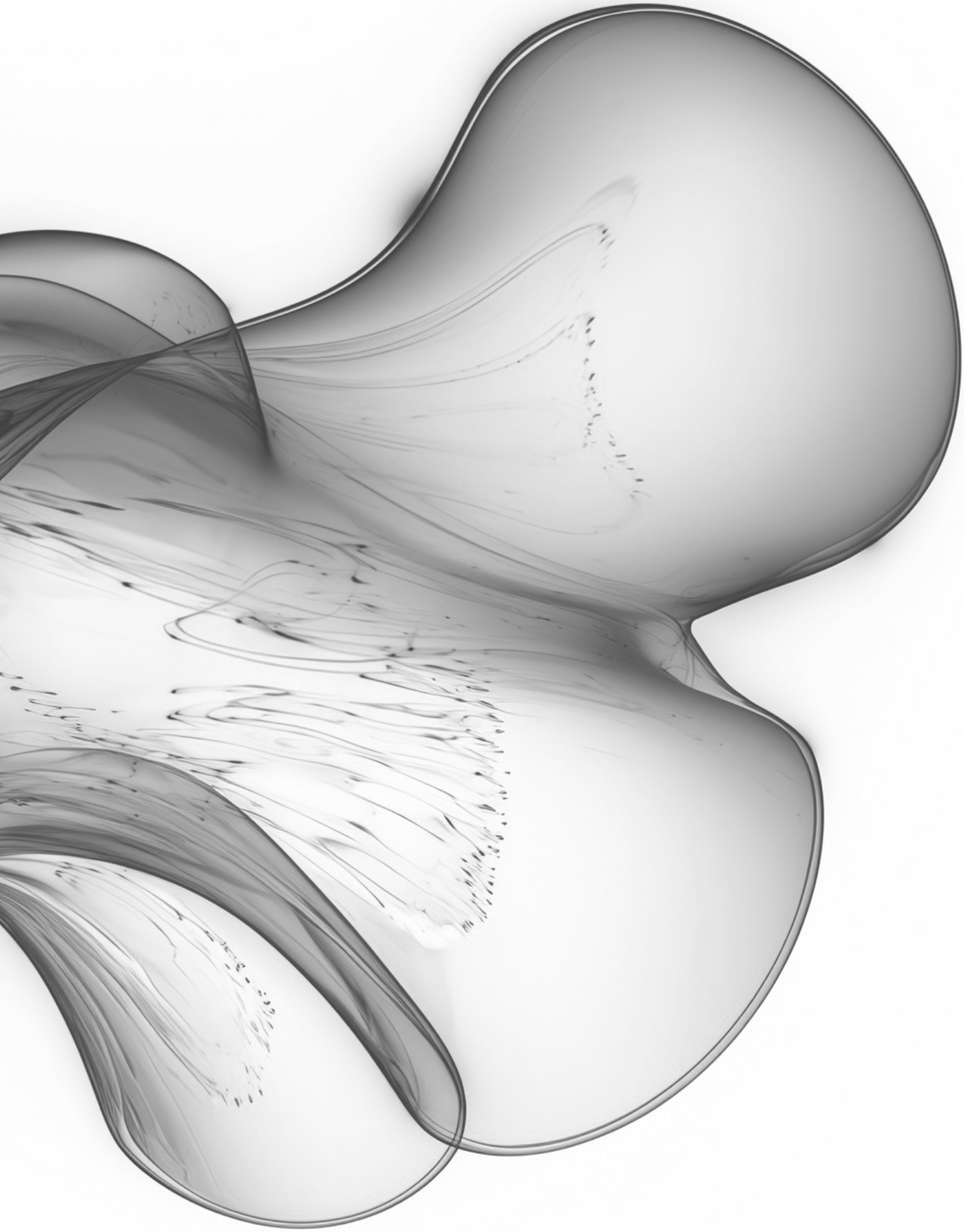


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

1.1 RICERCA DEGLI AMBITI STORICI, DEI PROTAGONISTI E DELLE OPERE

La presente sezione articola la ricognizione storiografica che costituisce il fondamento epistemologico della tesi: una genealogia critica dell"abitare virtuale' che si sviluppa attraverso sei fasi temporali, dal 1950 ai nostri giorni, ricostruendo la linea di continuità che conduce dal *Test di Turing* (1950) all'esplosione dell'IA generativa (2025) e, da questa, ai *workflow* sperimentali documentati nella Seconda Parte.

La 'genealogia critica' è qui assunta come metodo: ogni strumento, ogni paradigma, ogni linguaggio formale con cui questa ricerca opera ha radici che la presente sezione intende portare alla luce.

La periodizzazione adottata articola settantacinque anni di storia in sei fasi, ciascuna identificata da una coppia di eventi-soglia e da una trasformazione di paradigma che la distingue dalla precedente.

La scansione non è arbitraria: corrisponde alle 'quattro stagioni tecnologiche' identificate come struttura della contemporaneità tecnoculturale[1], precisate e ampliate per rendere conto delle trasformazioni più recenti.

Ogni periodo non è un capitolo isolato ma uno strato: i paradigmi elaborati in ciascuna fase non scompaiono ma si sedimentano, riemergono in forma trasformata, alimentano le sperimentazioni successive.

Il primo periodo (1950-1970, 1.1.1) è il momento in cui si gettano simultaneamente le fondamenta computazionali (Turing, Minsky, Rosenblatt), culturali (*Padiglione Philips*, 2001: A *Space Odyssey*) e immaginative (conquista dello spazio) su cui l"abitare virtuale' si costruirà.

---

1 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale. Verso una storia*, in «Op. Cit.», n. 164, 2019, p. 13: le 'quattro stagioni tecnologiche' come struttura periodizzante della contemporaneità tecnoculturale, categoria che la presente ricerca riprende e articola nelle sei fasi della sezione 1.1.

Il secondo periodo (1971-1990, 1.1.2) costruisce le infrastrutture concrete: le reti di comunicazione (*Ethernet*, *World Wide Web*), il personal computer, i *software* di progettazione (*AutoCAD*), e soprattutto il lessico con cui la cultura inizia a pensare lo spazio digitale — il *cyberspace* di Gibson, l'interfaccia grafica di Apple, il *cyborg* di Haraway.

Negli anni successivi la rivoluzione digitale esplode visibilmente nell'ambito architettonico. Il terzo periodo (1991-2000, 1.1.3) vede affermarsi le 'architetture liquide' di Novak, la *blob architecture* di Lynn, il VRML, il *Guggenheim Virtuale* di Asymptote — opere che questa ricerca riconosce come antefatti diretti del [vIrtuAl museum].

La *VII Mostra Internazionale di Architettura* alla Biennale di Venezia del 2000, curata da Massimiliano Fuksas, consacra istituzionalmente questi paradigmi, esponendo in un unico contesto l'*Embryological House* e il *Guggenheim Virtuale*: da un lato la sperimentazione con sistemi generativi per la produzione di variazioni formali controllate, dall'altro la costruzione di spazi culturali nativamente digitali.

Il quarto periodo (2001-2010, 1.1.4) segna il passaggio in cui l"abitare virtuale' cessa di essere appannaggio di avanguardie per diventare esperienza quotidiana di milioni di utenti, mentre gli strumenti parametrici acquisiscono progressivamente il loro statuto maturo.

Il quinto periodo (2011-2020, 1.1.5) è quello della normalizzazione e della ramificazione: la VR *consumer* diventa praticabile (*Oculus Rift*), la *blockchain* introduce nuovi modelli di proprietà digitale (*Decentraland*), l'IA generativa inizia a produrre immagini autonomamente (Refik Anadol con *WDCH Dreams*).

Il sesto periodo (2021-2025, 1.1.6) realizza la convergenza fra IA generativa e progettazione dello spazio virtuale: dalla prima *Metaverse Architecture Biennale* (2023) ai modelli di linguaggio di grandi dimensioni come *Claude 3.5 Sonnet*, la distanza fra ciò che si può descrivere e ciò che si può

visualizzare si azzera. La genealogia critica ricostruita nelle fasi precedenti trova qui il proprio sbocco operativo: gli strumenti del 2025 sono eredi diretti delle fondamenta del 1950.

La ricognizione storiografica è accompagnata dal catalogo ragionato di 112 schede (cfr. Appendice A1) che documenta sistematicamente protagonisti, opere e strumenti di ciascun periodo, organizzato nelle tre macro-categorie identificate dalla ricerca: *Tecnoculture* (Schede 1-34); *Riferimenti Concettuali e Visivi* (Schede 35-72); *Abitare Virtuale* (Schede 73-112).

La relazione fra il testo storiografico di questa sezione e il catalogo non è di semplice complementarità: ogni scheda approfondisce un nodo della genealogia che il testo ricostruisce nella sua trama complessiva, fornendo al ricercatore e al lettore due livelli di accesso che si sostengono reciprocamente.

La periodizzazione e la struttura di catalogazione adottate si inseriscono in un percorso di ricerca avviato da Maurizio Unali e Giovanni Caffio con la mappa concettuale interattiva *Verso una storia dell'Abitare Virtuale* (2022)[2]. Il lavoro articolava la storia in due ambiti: dalle origini degli anni Ottanta alla Biennale Fuksas del 2000, e da *Facebook* al metaverso *Meta* del 2021.

La presente ricerca riprende e approfondisce quella struttura periodizzante, estendendola alle sei fasi qui articolate, ampliando la base documentaria alle 112 schede del catalogo e aggiornandola alle trasformazioni del quinquennio 2021-25[2].

---

2 La struttura in due ambiti del paper 2022 (Caffio/Unali) corrisponde alle prime quattro fasi della periodizzazione qui adottata (1.1.1-1.1.4). Le due fasi aggiuntive (1.1.5-1.1.6) coprono il decennio 2011-2020 e il quinquennio 2021-2025, resi necessari dalla distanza temporale intercorsa fra il paper di riferimento e la presente ricerca. Cfr. anche M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale*, cit., pp. 5-21, come riferimento teorico fondativo della struttura periodizzante.

1.1.1 1950-1970: Le origini.
Intelligenza artificiale, conquista dello spazio e prime esperienze immersive

Il ventennio compreso fra il 1950 e il 1970 costituisce, per usare la formula di Mario Costa, un"epocalità differente"[3] rispetto a tutto ciò che verrà dopo: non ancora architettura digitale nel senso proprio del termine, ma il periodo in cui vengono gettate le fondamenta — computazionali, culturali e immaginative — su cui l"abitare virtuale' si costruirà nei decenni successivi.

È in questi anni che si sedimentano simultaneamente tre ordini di eventi fra loro apparentemente distanti ma profondamente connessi: la riflessione teorica sull'intelligenza artificiale, la conquista dello spazio come produttore di immaginario, e le prime sperimentazioni di ambienti immersivi nell'architettura e nel cinema. La loro convergenza, oggi leggibile retrospettivamente, costituisce la precondizione necessaria per comprendere l'attuale convergenza fra IA generativa, metaverso e progettazione di spazi virtuali.

Il 1950 segna un momento cruciale nella storia del pensiero computazionale: Alan Turing pubblica *Computing Machinery and Intelligence*[4], introducendo il celebre test che porta il suo nome e avviando la riflessione scientifica sull'intelligenza artificiale come capacità delle macchine di simulare il ragionamento umano. Il saggio fondativo non si limita a porre una domanda tecnica: "le macchine possono pensare?", ma solleva interrogativi epistemologici profondi sulla natura dell'intelligenza, della coscienza e della computazione.

Il *Test di Turing* diventa il paradigma con cui misurare la capacità di un sistema artificiale di simulare comportamenti

---

3 M. Costa, *Dimenticare l'Arte. Nuovi orientamenti nella teoria e nella sperimentazione estetica*, FrancoAngeli, Milano 2005, p. 47.

4 A. Turing, *Computing Machinery and Intelligence*, in «Mind», 59/236, 1950, pp. 433-460. Cfr. App. A1, Scheda 1.

indistinguibili da quelli umani, principio che, settant'anni dopo, continuerà a informare lo sviluppo dei *chatbot* di ultima generazione.

Le sperimentazioni pratiche iniziano presto con il progetto SNARC (*Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator*) di Marvin Minsky nel 1951[5], uno dei primi modelli di rete neurale artificiale mai costruiti. Questa macchina sperimentale, composta da quaranta neuroni artificiali implementati attraverso valvole termoioniche e componenti elettromeccanici, dimostra la possibilità di realizzare sistemi capaci di apprendimento automatico attraverso rinforzo — un principio che anticipa di decenni gli algoritmi di *machine learning* contemporanei.

Il lavoro di Frank Rosenblatt sul *Perceptron* nel 1957[6] costituisce un ulteriore passo fondamentale nell'evoluzione delle reti neurali, dimostrando la capacità di un sistema artificiale di apprendere attraverso l'aggiustamento progressivo di pesi sinaptici. Il *Perceptron*, pur limitato nella sua capacità di classificazione — poteva risolvere solo problemi linearmente separabili — rappresenta il primo modello computazionale di apprendimento supervisionato e prefigura le architetture di *deep learning* che, sessant'anni dopo, renderanno possibile la generazione automatica di contenuti per ambienti virtuali.

Parallelamente, nell'ambito architettonico, Le Corbusier e Iannis Xenakis progettano il *Padiglione Philips* per l'Esposizione Universale di Bruxelles del 1958[7], sperimentando materiali, forme e spazialità che anticipano le future sfide del Moderno in dialogo con la tecnologia. Il padiglione temporaneo, una struttura a gusci parabolici

---

5 M. Minsky, *A Neural-Analogue Calculator Based upon a Probability Model of Reinforcement*, Harvard University Psychological Laboratories, 1951. Cfr. App. A1, Scheda 2.

6 F. Rosenblatt, *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*, in «Psychological Review», 65/6, 1958, pp. 386-408. Cfr. App. A1, Scheda 3.

7 M. Treib, *Space Calculated in Seconds: The Philips Pavilion, Le Corbusier, Edgard Varèse*, Princeton University Press, Princeton 1996. Cfr. App. A1, Scheda 35.

in calcestruzzo armato concepita da Xenakis attraverso calcoli matematici e geometrie iperboliche, ospita il *Poème électronique* di Edgard Varèse, composizione di musica elettroacustica diffusa attraverso 425 altoparlanti distribuiti nello spazio. L'esperienza immersiva del *Padiglione Philips*, in cui architettura, suono, luce e proiezioni cinematografiche convergono in un ambiente sinestetico totale, anticipa concettualmente molti principi dell'immersività: lo spazio non è più un contenitore neutro ma un campo di forze percettive, la fruizione è dinamica e multisensoriale, il visitatore è avvolto da stimoli che dissolvono i confini fra interno ed esterno, reale e mediato.

Nel 1959 viene inaugurato il *Solomon R. Guggenheim Museum* a New York[8] di Frank Lloyd Wright con la sua rampa elicoidale continua che prefigura modalità di navigazione spaziale non convenzionali. L'intuizione radicale di Wright consiste nel sostituire il percorso museale tradizionale — una sequenza di stanze separate — con un movimento fluido e continuo lungo una spirale ascendente. Il visitatore viene trasportato in ascensore fino alla sommità dell'edificio e discende gradualmente lungo la rampa, sperimentando una fruizione dinamica in cui lo sguardo può abbracciare simultaneamente più livelli, anticipando quello che nei mondi virtuali diventerà la navigazione tridimensionale libera da vincoli gravitazionali. La rampa del Guggenheim prefigura il concetto di *architectural promenade* digitale, in cui il movimento stesso diventa *medium* conoscitivo.

La conquista dello spazio, con il lancio di Yuri Gagarin (1961)[9] e lo sbarco sulla Luna della missione Apollo 11 (1969)[10], rappresenta il simbolo di un'epoca in cui innovazione e

8 N. Levine, *The Architecture of Frank Lloyd Wright*, Princeton University Press, Princeton 1996. Cfr. App. A1, Scheda 36.

9 Sul lancio di Gagarin e il suo impatto sull'immaginario tecnologico cfr. H. E. McCurdy, *Space and the American Imagination*, Smithsonian Institution Press, Washington 1997. Cfr. App. A1, Scheda 4.

10 Sulla missione Apollo 11, Cfr. App. A1, Scheda 9.

potere globale si intrecciano, fornendo un immaginario visivo che influenzerà profondamente la concezione degli spazi virtuali. Le immagini della Terra vista dallo spazio — la *blue marble* fotografata dagli astronauti dell'Apollo 17 — ridefiniscono radicalmente la percezione umana del pianeta e dello spazio cosmico. L'immaginario della 'vista dall'alto', della navigazione in assenza di gravità, della visione panoptica e della frontiera infinita permea profondamente la fantascienza degli anni Sessanta e Settanta e, attraverso di essa, informa le prime concezioni del *cyberspace*.

Non è casuale che molti dei primi ambienti VR sperimentino proprio l'assenza di gravità, la visione a 360 gradi, la sensazione di fluttuazione: tutte esperienze mutuate direttamente dall'immaginario spaziale. L'Italia partecipa a questa stagione di esplorazione con il *San Marco 1* (1964)[11], primo satellite italiano progettato da Luigi Broglio e lanciato da una piattaforma oceanica al largo delle coste del Kenya, che inserisce il paese nell'immaginario collettivo in cui tecnologia, esplorazione e futuro convergono.

L'ambito delle esposizioni registra nello stesso decennio un altro evento significativo: la Biennale di Venezia del 1964 celebra *La Rivoluzione della Pop Art*[12], occasione di riflessione e dibattito sulla modernità e sulle potenzialità innovatrici delle nuove tecnologie. La Pop Art, con la sua celebrazione della cultura di massa, della serialità industriale, dell'immagine mediatica, segna una rottura con l'astrazione dell'Espressionismo e anticipa tematiche che diventeranno centrali nell'era digitale: la riproducibilità tecnica dell'opera d'arte, la dissoluzione del confine fra alta e bassa cultura, l'estetica della ripetizione e della variazione — principi che riemergono oggi nella generazione algoritmica di contenuti e nella logica combinatoria degli NFT.

---

11 Sul *San Marco 1* e la partecipazione italiana alla corsa spaziale cfr. L. Broglio, *San Marco Project*, Università di Roma, 1967. Cfr. App. A1, Scheda 6.

12 Sulla Biennale di Venezia del 1964 e la consacrazione istituzionale della Pop Art cfr. App. A1, Scheda 37.

Nel campo della computazione, l'*IBM System/360* del 1964[13] rappresenta una rivoluzione concettuale: per la prima volta viene introdotta una famiglia di macchine compatibili fra loro, basate su un'architettura comune ma con prestazioni scalabili. Il concetto di 'architettura di sistema' modulare e interoperabile anticipa logiche che diventeranno fondamentali nell'era delle reti e dei mondi virtuali distribuiti. La compatibilità *software* garantita dal *System/360* prefigura l'esigenza di standard comuni e piattaforme interoperabili che caratterizzerà il dibattito sul metaverso cinquant'anni dopo.

Nel 1965, Joseph Weizenbaum sviluppa *ELIZA*[14], programma che apre la strada all'interazione uomo-macchina simulata su basi dialogiche, anticipando di decenni i moderni *chatbot*. *ELIZA* simula una seduta psicoterapeutica rogersiana — centrata sul cliente — attraverso tecniche di *pattern matching* e sostituzione testuale: analizza gli *input* dell'utente, identifica parole chiave e restituisce risposte che danno l'illusione di comprensione empatica. L'esperimento di Weizenbaum rivela qualcosa di profondo sulla psicologia umana: molti utenti, pur sapendo di interagire con un programma, sviluppano un'attitudine emotiva verso *ELIZA*, attribuendole capacità di comprensione e sensibilità.

Il fenomeno, che Weizenbaum stesso osserverà con crescente inquietudine, anticipa le dinamiche di antropomorfizzazione degli agenti virtuali che caratterizzeranno *Second Life*, i *chatbot* contemporanei e gli NPC — *non-player characters* — intelligenti nei videogiochi.

Un momento decisivo per l"abitare virtuale' giunge con il lavoro pionieristico di Ivan Sutherland e Bob Sproull, che nel 1968 presentano il primo sistema di visualizzazione

13 Sull'IBM System/360, Cfr. App. A1, Scheda 5.

14 J. Weizenbaum, *ELIZA, A Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine*, in «Communications of the ACM», 9/1, 1966, pp. 36-45. Cfr. App. A1, Scheda 7.

stereoscopica montato sulla testa — *head-mounted display*[15]. Il dispositivo, soprannominato *Sword of Damocles* per la sua ingombrante struttura sospesa al soffitto, permetteva all'utente di visualizzare semplici forme geometriche tridimensionali in uno spazio virtuale, inaugurando concretamente l'era dell'immersività digitale.

Sebbene primitivo — le immagini consistevano in semplici *wireframe* vettoriali — il dispositivo stabilisce i principi fondamentali della realtà virtuale: immersività visiva, tracciamento del movimento, aggiornamento prospettico in tempo reale, coordinazione sensomotoria. Tutti i visori VR contemporanei, da *Oculus Quest* ad *Apple Vision Pro*, sono in definitiva discendenti diretti di questo primo prototipo.

Le indicazioni culturali del periodo trovano la loro sintesi più emblematica in *2001: A Space Odyssey* (1968) di Stanley Kubrick[16], che riflette sul rapporto fra uomo e tecnologia con una profondità filosofica ancora irrisolta. Il film presenta HAL 9000, intelligenza artificiale capace di percezione, linguaggio, inganno e autodifesa. HAL diventa l'archetipo dell'IA che sviluppa *agency* autonoma e potenzialmente conflittuale con gli interessi umani, inaugurando un filone di riflessione critica sulla tecnologia che attraverserà tutta la fantascienza successiva. Il film è rilevante anche per la sua rappresentazione dello spazio: le stazioni orbitali, le astronavi, i paesaggi lunari vengono visualizzati con un realismo e una coerenza geometrica senza precedenti, creando ambienti 'abitabili' cinematograficamente che prefigurano la navigazione in ambienti virtuali tridimensionali.

Il ventennio si chiude con un evento di portata storica per la cultura digitale: la nascita di ARPANET nel 1969[17], primo esperimento di rete *packet-switched* che connette quattro

15 I. E. Sutherland, *A Head-Mounted Three-Dimensional Display*, in *Proceedings of AFIPS*, 1968, pp. 757-764. Cfr. App. A1, Scheda 8.

16 M. Chion, *Kubrick's Cinema Odyssey*, British Film Institute, London 2001. Cfr. App. A1, Scheda 38.

17 J. Abbate, *Inventing the Internet*, MIT Press, Cambridge 1999. Cfr. App. A1, Scheda 10.

nodi universitari negli Stati Uniti e introduce il concetto di comunicazione distribuita, resiliente e non gerarchica che diventerà il fondamento di *Internet*. Con ARPANET si apre la stagione delle infrastrutture reticolari che il Cap. 1.1.2 documenterà nel suo sviluppo maturo. Le opere, le tecnologie e le sperimentazioni raccolte in questo primo periodo non sono preistoria di un campo ancora immaturo: sono la condizione di possibilità di tutto ciò che viene dopo.

1.1.2 1971-1990: Personal computing e cyberspace. Dal mainframe al desktop, dalla fantascienza alla rete

Se il ventennio 1950-1970 aveva gettato le fondamenta teoriche e immaginative dell"abitare virtuale', il periodo compreso fra il 1971 e il 1990 ne costruisce l'infrastruttura concreta: le reti di comunicazione, i *personal computer*, i *software* di progettazione, e il linguaggio con cui si inizia a pensare e a rappresentare lo spazio digitale. Sono questi gli anni della 'rivoluzione digitale in architettura' nella sua fase più «radicale e spettacolare, anche se a tratti retorica e ingenua»[18]: un periodo in cui la tecnocultura digitale non è ancora pienamente operativa nelle pratiche progettuali, ma già irrompe nell'immaginario collettivo attraverso la letteratura, il cinema e le prime sperimentazioni informatiche. È in questo ventennio che nascono simultaneamente il concetto di *cyberspace*, l'interfaccia grafica utente, il *World Wide Web* e i primi ambienti di simulazione interattiva: precondizioni necessarie per tutto ciò che verrà dopo.

Il decennio si apre con l'*Intel 4004* (1971)[19], primo microprocessore commerciale della storia, che miniaturizza in un unico circuito integrato funzioni precedentemente richiedenti interi armadi di componenti elettronici. La sua introduzione rende economicamente sostenibile

18 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale. Verso una storia*, in «Op. Cit.», n. 164, 2019, p. 10.

19 Per l'*Intel 4004* e le implicazioni della miniaturizzazione computazionale cfr. App. A1, Scheda 11.

la proliferazione di dispositivi intelligenti, premessa necessaria per la successiva diffusione del *personal computing* e, più tardi, dei dispositivi *mobile* e *wearable* che renderanno l'accesso agli spazi virtuali ubiquo e continuo. A questa rivoluzione hardware si affianca negli stessi anni la costruzione delle prime infrastrutture reticolari di nuova generazione: con *Ethernet* (1973)[20] Robert Metcalfe inaugura un'era comunicativa basata su protocolli condivisi. Sviluppato nei laboratori *Xerox PARC*, *Ethernet* introduce un metodo radicalmente nuovo per connettere computer: invece di collegamenti punto-a-punto dedicati, la rete locale (*LAN*) permette a più dispositivi di condividere un unico cavo coassiale, comunicando attraverso pacchetti di dati che includono informazioni sull'origine e la destinazione. Il modello di comunicazione distribuita e non gerarchica, in cui ogni nodo può potenzialmente comunicare con qualsiasi altro, diventa il paradigma fondamentale delle reti informatiche e prefigura la logica *peer-to-peer* che caratterizzerà molti mondi virtuali contemporanei. *Ethernet* rende tecnicamente possibile quella che sarà definita 'intelligenza connettiva': la capacità di dispositivi separati di coordinarsi, condividere risorse e costruire collettivamente ambienti informazionali complessi.

Sul versante della riflessione architettonica, nel 1975 la Biennale di Venezia istituisce la sezione Architettura come campo autonomo[21], un riconoscimento che pone le basi per i futuri dibattiti sull'architettura digitale, parametrica e virtuale. L'autonomizzazione disciplinare sancita a Venezia prepara il terreno agli sviluppi teorici che esploderanno nel decennio successivo.

Nel 1977, Charles Jencks pubblica *The Language of Post-*

20 R. M. Metcalfe, D. R. Boggs, *Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks*, in «Communications of the ACM», 19/7, 1976, pp. 395-404. Cfr. App. A1, Scheda 12.

21 Sulla fondazione della sezione Architettura alla Biennale di Venezia e il suo ruolo nell'autonomizzazione disciplinare cfr. App. A1, Scheda 39.

Modern Architecture[22], formulando le teorie postmoderne che influenzeranno profondamente l'architettura contemporanea. Jencks identifica nel postmoderno architettonico una reazione critica all'universalismo modernista, promuovendo il pluralismo linguistico, il recupero della storia, l'ironia, la complessità e la contraddizione. Lo spostamento epistemologico — dall'unità alla molteplicità, dalla purezza all'ibridazione, dall'atemporalità alla stratificazione storica — risuona profondamente con alcune logiche che caratterizzeranno gli spazi virtuali: la coesistenza di stili eterogenei, la citazione e il *remix* come pratiche creative legittime, la libertà da vincoli costruttivi che permette sperimentazioni formali impossibili nel mondo fisico.

Sempre nel 1977 Renzo Piano e Richard Rogers completano il *Centre Pompidou* a Parigi[23], un edificio-macchina trasparente che espone le proprie infrastrutture tecnologiche. Ribaltando la convenzione architettonica che nasconde gli impianti all'interno, il Pompidou porta condutture, scale mobili, sistemi di ventilazione e strutture portanti all'esterno, colorandole secondo un codice cromatico funzionale. L'estetica dell'esplicitazione tecnologica, in cui la macchina non è occultata ma celebrata, anticipa molte logiche dell'interfaccia digitale e dell'architettura virtuale, dove le infrastrutture tecniche — codice, algoritmi, reti — possono essere rese visibili e diventare esse stesse elementi estetici. Il Pompidou prefigura un'architettura che non nasconde ma esibisce i propri processi generativi.

Nel 1980 Paolo Portoghesi dirige la prima Biennale di Architettura di Venezia con il tema *La Presenza del Passato*[24], segnando l'affermazione istituzionale del postmodernismo

---

22 C. Jencks, *The Language of Post-Modern Architecture*, Academy Editions, London 1977. Cfr. App. A1, Scheda 40.

23 N. Silver, *The Making of Beaubourg*, MIT Press, Cambridge 1994. Cfr. App. A1, Scheda 41.

24 P. Portoghesi (a cura di), *La Presenza del Passato. Prima Mostra Internazionale di Architettura*, Electa, Venezia 1980. Cfr. App. A1, Scheda 42.

architettonico. La celebre *Strada Novissima*, un allestimento che riunisce venti facciate progettate da architetti internazionali, diventa manifesto del nuovo pluralismo. I «prospetti 'di carta' in scala 1:1 dell'effimera *Strada Novissima*» *rappresentano una forma di 'virtualità analogica'* che anticipa, su un diverso fondamento tecnologico, la virtualità digitale della fine del secolo[25]: spazio scenograficamente abitabile, rappresentato da caleidoscopiche conformazioni estetiche che prefigurano la libertà formale degli ambienti digitali. Questa sensibilità alla stratificazione temporale, alla citazione colta, all'architettura come palinsesto diventerà centrale nell'era digitale, in cui la riproducibilità infinita permette di convocare e ricombinare qualsiasi stile o periodo storico.

Nel 1981 la NASA lancia lo *Space Shuttle Columbia*[26], primo veicolo spaziale riutilizzabile, dimostrando la possibilità di una presenza umana continuativa nello spazio. Lo Shuttle introduce il concetto di astronave-laboratorio persistente, analogamente a come gli ambienti virtuali contemporanei sono spazi che gli utenti possono abbandonare e ritrovare modificati dalle azioni altrui; è inoltre uno dei primi veicoli massivamente *fly-by-wire*, in cui i comandi del pilota sono mediati da computer che interpretano e traducono *input* umani in azioni meccaniche — prefigurazione della mediazione interfacciale che caratterizza ogni interazione con ambienti virtuali. Parallelamente, l'introduzione dell'*IBM PC* (1981)[27] segna la progressiva accessibilità della potenza computazionale a scala domestica e professionale. La sua architettura aperta, con specifiche pubblicate e possibilità

25 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale*, cit., p. 11: «i prospetti 'di carta' in scala 1:1 dell'effimera *Strada Novissima* del 1980 (spazio scenograficamente abitabile rappresentato da caleidoscopiche conformazioni estetiche)» sono descritti come anticipazione della virtualità digitale.

26 D. R. Jenkins, *Space Shuttle: The History of the National Space Transportation System*, Motorbooks, St. Paul 2001. Cfr. App. A1, Scheda 13.

27 P. Freiberger, M. Swaine, *Fire in the Valley: The Making of the Personal Computer*, McGraw-Hill, New York 2000. Cfr. App. A1, Scheda 14.

di espansione attraverso schede aggiuntive, crea un ecosistema di compatibilità che permetterà la proliferazione di cloni e lo sviluppo di un mercato *software* standardizzato. Nel dominio del *software* di progettazione, *Autodesk* rilascia *AutoCAD* nel 1982[28], destinato a diventare lo standard industriale per il disegno tecnico assistito da computer. *AutoCAD* trasferisce sul computer pratiche di disegno che per secoli erano state eseguite a mano: piante, sezioni, prospetti, assonometrie. Come osservato da Livio Sacchi, questa digitalizzazione non è neutra: gli strumenti digitali non sono semplici protesi tecniche ma «ambienti cognitivi» che modificano il modo stesso di concepire l'architettura[29]. *AutoCAD* introduce nuove logiche operative — *layer* separabili, *zoom* infinito, *editing* non distruttivo, librerie di oggetti riutilizzabili — che trasformano profondamente il pensiero progettuale, preparando gli architetti a ragionare in termini di modelli digitali manipolabili e anticipando il BIM e la modellazione parametrica.

Le origini dell"abitare virtuale' possono essere rintracciate nelle sperimentazioni tecnoculturali di questo periodo, in particolare nell'invenzione del concetto di *cyberspace*. William Gibson nel racconto *Burning Chrome* (1982)[30] introduce per la prima volta il termine, seguito dal romanzo *Neuromancer* (1984)[31], in cui descrive il *cyberspace* come «un'allucinazione consensuale sperimentata quotidianamente da miliardi di operatori». Gibson immagina una dimensione parallela — accessibile attraverso interfacce neurali dirette — in cui i dati assumono forme architettoniche visualizzabili e navigabili: il *cyberspace* gibsoniano è popolato da 'cowboy della console' che si muovono fra costrutti di dati corporativi raffigurati

28 E. Yares, *AutoCAD: The Story of the Little Program That Could*, in «Manufacturing Business Technology», 2013. Cfr. App. A1, Scheda 15.

29 L. Sacchi, *La fine del disegno?*, in «Op. Cit.», n. 153, maggio 2015. Cfr. anche L. Sacchi, M. Unali (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, Skira, Milano 2003.

30 W. Gibson, *Burning Chrome*, in «Omni», luglio 1982. Cfr. App. A1, Scheda 44.

31 W. Gibson, *Neuromancer*, Ace Books, New York 1984. Cfr. App. A1, Scheda 46.

come torri luminose, piramidi, fortezze, un'architettura informazionale in cui penetrare sistemi protetti diventa un'operazione spaziale. La metafora spaziale della navigazione informazionale influenzerà profondamente lo sviluppo delle interfacce grafiche e dei *browser* web, non a caso si 'naviga' in *Internet*.

Questa visione letteraria trova eco visiva in opere cinematografiche come *Blade Runner* di Ridley Scott (1982)[32] e *Tron* di Steven Lisberger (1982)[33], che visualizzano per la prima volta mondi virtuali abitabili. *Blade Runner* introduce tematiche che diventeranno centrali nel cyberpunk e nell"abitare virtuale': l'ibridazione fra organico e sintetico, la questione dell'identità in un mondo di simulacri, l'estetica della stratificazione e del degrado *high-tech*. *Tron* compie un passo ulteriore: visualizza letteralmente l'interno di un sistema informatico come uno spazio tridimensionale percorribile, abitato da 'programmi' antropomorfizzati. Sebbene l'estetica vettoriale luminescente del film appaia oggi datata, esso stabilisce un paradigma visivo duraturo: l'idea che l'informazione digitale possa essere rappresentata spazialmente e che si possa 'entrare' dentro i computer.

Nel 1984 *Apple* lancia il *Macintosh*[34], rivoluzionando l'interfaccia utente con la *GUI* (*Graphical User Interface*). Sviluppata originariamente nei laboratori *Xerox PARC* e perfezionata da *Apple*, la *GUI* introduce la metafora della scrivania — *desktop* — con finestre sovrapponibili, icone cliccabili e menu a tendina navigabili con il *mouse*, semplificando l'accesso alla computazione e rendendo l'interazione più intuitiva e visiva. La *GUI* introduce un principio fondamentale: la manipolazione diretta di oggetti visivi invece dell'invocazione di comandi testuali. Il

32 S. Bukatman, *Terminal Identity: The Virtual Subject in Postmodern Science Fiction*, Duke University Press, Durham 1993. Cfr. App. A1, Scheda 43.

33 Su *Tron* di Steven Lisberger, Cfr. App. A1, Scheda 45.

34 A. Hertzfeld, *Revolution in the Valley: The Insanely Great Story of How the Mac Was Made*, O'Reilly Media, Sebastopol 2004. Cfr. App. A1, Scheda 16.

paradigma di interazione — in cui si 'afferrano' oggetti, si 'aprono' finestre, si 'gettano' *file* nel cestino — prefigura le logiche di interazione incarnata che caratterizzeranno gli ambienti virtuali immersivi.

Nel 1986 Toyo Ito realizza a Yokohama la *Torre dei Venti*, opera che introduce la dimensione computazionale come principio generativo dell'architettura: un involucro di pannelli forati in alluminio cela un sistema di oltre 1.300 lampade, dodici anelli al neon e trenta proiettori controllati da computer che traducono in tempo reale i dati ambientali — velocità del vento, livelli di rumore — in un *display* luminoso in continua trasformazione. La torre non ha stato fisso: è un'architettura-processo, un'interfaccia fra dati fisici e rappresentazione visiva che anticipa di quasi due decenni i principi della *responsive architecture*. Di giorno l'involucro riflette il cielo e si mimetizza con il contesto urbano; di notte diventa un volume luminoso algoritmico che abita simultaneamente il dominio fisico — alluminio, geometria ellittica, struttura — e il dominio virtuale, fatto di colori, ritmi, comportamenti generati dal calcolo[35].

Nello stesso anno, il CNR realizza il primo collegamento a *Internet* in Italia da Pisa[36], connettendo la ricerca italiana alla rete ARPANET e inaugurando la presenza nazionale nel *cyberspace*: un evento apparentemente tecnico che segna l'inizio della globalizzazione digitale italiana, prefigurando quell'abolizione dello spazio fisico che caratterizzerà i mondi virtuali.

Nel 1987 Donna Haraway ripubblica A *Cyborg Manifesto*[37], testo fondamentale per comprendere l'ibridazione fra

---

35 T. Ito, *Blurring Architecture*, Charta, Milano 1999. Cfr. App. A1, Scheda 47.

36 Sul primo collegamento italiano ad ARPANET cfr. L. Abba, A. Lazzaroni (a cura di), *Il futuro trenta anni fa. Quando Internet è arrivata in Italia*, Manni, San Cesario di Lecce 2017. Cfr. App. A1, Scheda 17.

37 D. Haraway, *A Manifesto for Cyborgs: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the 1980s*, in «Socialist Review», n. 80, 1985, pp. 65-108; ripubblicato in «Australian Feminist Studies», 2/4, 1987, pp. 1-42. Il testo è successivamente confluito nella raccolta D. Haraway, *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*, Routledge, New York 1991. Cfr. App. A1, Scheda 48.

umano e tecnologico. Haraway propone il *cyborg* — entità ibrida organico-meccanica — come figura concettuale per ripensare identità, genere e soggettività nell'epoca delle biotecnologie e dell'informatica. Il manifesto dissolve le dicotomie tradizionali (naturale/artificiale, organismo/macchina, fisico/non-fisico) e celebra l'ibridazione e la connessione reticolare. Queste idee risuonano profondamente con l'esperienza dell"abitare virtuale': l'*avatar* è un *cyborg* per definizione, estensione del sé umano in uno spazio digitale; l'identità *online* è fluida, molteplice, costruita; il corpo virtuale può assumere forme impossibili biologicamente. Haraway fornisce le categorie filosofiche per pensare l'esistenza distribuita fra molteplici substrati: biologico, digitale, sociale.

Nel 1989 Tim Berners-Lee inventa il *World Wide Web* al CERN di Ginevra[38], evento che segna una rivoluzione nel modo di comunicare e condividere informazioni. Il genio di Berners-Lee consiste nell'immaginare un sistema universale di documenti interconnessi attraverso *hyperlink*, accessibili via *browser*, identificabili univocamente tramite *URL* e trasmessi attraverso il protocollo *HTTP*. L'idea dell'*hyperlink* — la possibilità di saltare istantaneamente da un documento all'altro attraverso collegamenti associativi — introduce una modalità di navigazione non lineare. Il *Web* è il primo vero *cyberspace* di massa. Nello stesso anno Will Wright lancia *SimCity*[39], primo videogioco che permette di progettare e gestire una città virtuale: uno spazio di simulazione aperto in cui il giocatore assume il ruolo di pianificatore urbano, costruisce infrastrutture e osserva l'evoluzione emergente della città. *SimCity* introduce il concetto di simulazione come forma di conoscenza — giocando, si comprendono dinamiche urbanistiche complesse — e l'idea di un mondo

38 T. Berners-Lee, *Weaving the Web*, HarperCollins, New York 1999. Cfr. App. A1, Scheda 18.

39 H. Lowood, *Videogames in Computer Space*, in «IEEE Annals of the History of Computing», 31/3, 2009, pp. 5-19. Cfr. App. A1, Scheda 73.

persistente che evolve anche quando il giocatore non osserva: anticipazione diretta di *Second Life* e di tutti i mondi virtuali in cui l'utente è simultaneamente abitante e co-creatore dello spazio.

Il ventennio 1971-1990 si chiude con un paradosso fecondo: lo spazio virtuale esiste già pienamente nell'immaginario — nel *cyberspace* di Gibson, nelle geometrie luminose di *Tron*, nelle città simulate di *SimCity* — ma le infrastrutture tecniche per abitarlo collettivamente sono ancora in costruzione. Sono gli anni in cui dalla 'virtualità analogica' dell'architettura postmoderna si transita verso la 'virtualità digitale' della fine del secolo[40]: una transizione che non è semplice sostituzione tecnologica, ma mutazione profonda del modo in cui la cultura concepisce lo spazio, l'identità e la presenza. Le categorie elaborate in questo ventennio — la rete distribuita, l'interfaccia grafica, il *cyberspace* come spazio abitabile, l'ibridazione *cyborg* — costituiscono il lessico fondamentale con cui la ricerca legge le sperimentazioni successive.

1.1.3 1991-2000: L'architettura digitale. Web 3D, musei online e forme parametriche

Il decennio 1991-2000 è quello in cui la rivoluzione digitale in architettura esplode visibilmente. Sono «gli anni più radicali e spettacolari»[41] del rapporto fra architettura e tecnocultura digitale: un periodo in cui sperimentazione formale, immaginario letterario e cinematografico, nuove piattaforme *Internet* e prime istituzioni culturali virtuali si sviluppano in parallelo, producendo quella ricchezza semantica di cui l'attuale ricerca sugli ambienti virtuali generativi è diretta erede.

Nel 1991 Marcos Novak sviluppa il concetto di *Liquid*

---

40 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale*, cit., p. 11.

41 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale. Verso una storia*, in «Op. Cit.», n. 164, 2019, p. 10.

Architectures in Cyberspace[42], proponendo architetture fluide e mutevoli che esistono solo nello spazio digitale. Novak immagina costrutti architettonici che si trasformano in tempo reale rispondendo a *input* esterni — dati, presenza degli utenti, condizioni ambientali — liberando la forma architettonica dai vincoli della gravità, della materialità e della permanenza. Le sue 'architetture liquide' non sono edifici ma strutture algoritmiche in perpetua metamorfosi, che oscillano fra stati diversi senza mai cristallizzarsi in configurazioni definitive. Questa concezione dissolve la distinzione tradizionale fra architettura statica e permanente e *performance* dinamica e temporanea: nell'ambiente digitale, lo spazio stesso può essere evento. Novak introduce anche il termine *transvergence* per descrivere come le tecnologie digitali permettano simultaneamente unificazione globale e differenziazione locale, omogeneità e molteplicità: un principio che ritroveremo nelle logiche generative dell'IA contemporanea.

Nel 1992 Neal Stephenson, nel romanzo *Snow Crash*[43], introduce il termine *Metaverso* per descrivere uno spazio virtuale tridimensionale abitato da *avatar*. Nel *Metaverso* di Stephenson, gli utenti camminano lungo una 'Strada' virtuale lunga 65.536 km su cui si affacciano proprietà digitali, *club*, negozi, uffici: un mondo dotato di una propria economia, di una stratificazione sociale e di una geografia con zone centrali prestigiose e periferie degradate. *Snow Crash* codifica molti elementi che diventeranno standard nei mondi virtuali successivi: l'*avatar* come rappresentazione personalizzabile del sé, lo spazio virtuale come luogo di interazione sociale ed economica, la proprietà digitale come risorsa scarsa e commerciabile. Il romanzo introduce anche una dimensione più oscura — un virus informatico

---

42 M. Novak, *Liquid Architectures in Cyberspace*, in M. Benedikt (a cura di), *Cyberspace: First Steps*, MIT Press, Cambridge 1991, pp. 225-254. Cfr. App. A1, Scheda 74.

43 N. Stephenson, *Snow Crash*, Bantam Books, New York 1992. Cfr. App. A1, Scheda 49.

capace di infettare simultaneamente computer e cervelli umani — suggerendo che l"abitare virtuale' comporti rischi esistenziali legati alla dissoluzione dei confini fra mente e macchina.

Sul versante della sperimentazione architettonica, Greg Lynn elabora la *blob architecture* (1992-1999)[44], sperimentando forme organiche e fluide generate attraverso *software* di modellazione parametrica. Lynn utilizza *software* di animazione cinematografica — *Maya*, *Softimage* — applicandoli alla progettazione architettonica: attraverso tecniche come il *morphing*, il *blob modeling* e la dinamica delle particelle, genera forme che sembrano crescere organicamente piuttosto che essere disegnate, con volumi morbidi e superfici continue.

La realizzazione più compiuta di questa ricerca è l'*Embryological House* (1999): non un unico spazio ma una 'famiglia' di spazi, ognuno dei quali rappresenta una variazione unica generata modificando parametri specifici — dimensioni del lotto, orientamento. Come un embrione che si sviluppa secondo un codice genetico ma con variazioni individuali, ogni *Embryological House* è simultaneamente simile e diversa dalle altre: le case condividono la stessa logica generativa ma producono configurazioni spaziali uniche[45].

Questa *animate form* non è semplicemente estetica ma epistemologica: segna un passaggio dal pensiero tipologico — l'architettura come selezione e variazione di tipi consolidati — al pensiero topologico, in cui l'architettura è deformazione continua di superfici. Il progetto di Lynn è uno dei più emblematici di quel 'periodo del digitale in architettura'

---

44 G. Lynn, *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York 1999. Cfr. App. A1, Scheda 75.

45 Per una trattazione sistematica dell'*Embryological House* e della sua rilevanza per la ricerca cfr. Cap. 3.1.1 della presente tesi, in cui il progetto di Lynn è rielaborato come caso di studio.

che la Biennale del 2000 consacra internazionalmente[46]: un paradigma che anticipa di un decennio il *design* parametrico *mainstream* e stabilisce principi che riemergono oggi nella generazione algoritmica di spazi virtuali attraverso IA generativa.

Un momento decisivo per l'"abitare virtuale' sul *web* giunge con la creazione del *Virtual Reality Modeling Language* (VRML). Nel 1994 Mark Pesce, Tony Parisi e Peter Kennard presentano *Labyrinth* alla prima conferenza sul *World Wide Web* a Ginevra[47], mentre Dave Raggett propone di estendere il WWW per supportare la realtà virtuale indipendente dalla piattaforma, coniando il termine *VRML*. La visione è ambiziosa: trasformare il *Web* in uno spazio navigabile tridimensionale, permettendo agli utenti di 'camminare' attraverso pagine web rappresentate come stanze, edifici, città. Il VRML, standardizzato nel 1997 (*ISO/IEC 14772-1:1997*), alimenta numerosi esperimenti — siti *corporate* in 3D, musei virtuali, *campus* universitari digitali — fra cui *CyberTown*, una delle prime città virtuali multi-utente su *Internet*. Malgrado l'entusiasmo iniziale, il VRML incontra ostacoli tecnici significativi — banda insufficiente, potenza computazionale inadeguata per il calcolo *real-time* — e nel 2001 viene sostituito dallo standard *X3D*. La sua importanza storica rimane tuttavia intatta: VRML è il primo tentativo sistematico di costruire uno spazio virtuale navigabile accessibile attraverso il *web*, anticipando le piattaforme dei decenni successivi.

Parallelamente al VRML, emerge il fenomeno dei musei virtuali come forma autonoma di istituzione culturale. Nel 1994 Paul Reilly realizza la *Dudley Castle Virtual Reconstruction*[48],

---

46 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale*, cit., p. 12: «l'Embryological House (1998-2000) di Lynn» è citata fra le opere emblematiche esposte alla Biennale di Venezia del 2000 nel padiglione USA curato da Lynn e Rashid.

47 M. Pesce, T. Parisi, P. Kennard, *Labyrinth: A Virtual Reality Browser for the World Wide Web*, presentato alla prima conferenza sul WWW, Ginevra, maggio 1994. Cfr. App. A1, Scheda 76.

48 P. Reilly, *Towards a Virtual Archaeology*, in K. Lockyear, S. Rahtz (a cura di), *Computer Applications in Archaeology*, Oxford 1990. Cfr. App. A1, Scheda 77.

uno dei primi tentativi di ricostruzione digitale di un sito storico. Reilly ricostruisce il castello inglese, parzialmente in rovina, nella sua configurazione medievale, permettendo l'esplorazione virtuale di spazi non più accessibili fisicamente. Il progetto pone questioni metodologiche che diventeranno centrali nell'archeologia virtuale: come bilanciare fedeltà documentaria e ricostruzione ipotetica? Come visualizzare l'incertezza? Reilly sviluppa un sistema di codifica cromatica in cui diversi livelli di certezza storica sono rappresentati con *texture* e trasparenze diverse: un principio di onestà epistemologica fondamentale per ogni ricostruzione digitale di patrimonio. Nello stesso anno Nicholas Pioch fonda il *WebMuseum*[49], museo virtuale pionieristico accessibile gratuitamente, organizzato per artisti, periodi e movimenti artistici. Sebbene tecnologicamente semplice — pagine *HTML* con immagini *JPEG* — il *WebMuseum* rappresenta una rivoluzione concettuale: il museo smaterializzato, accessibile da qualsiasi luogo con connessione *Internet*, aperto continuamente, senza biglietto d'ingresso.

L'artista Lin Hsin Hsin, nello stesso anno, lancia il *Lin Hsin Hsin Art Museum online*[50], uno dei primi musei d'arte personali completamente digitali: a differenza del *WebMuseum* — che digitalizza opere fisiche esistenti — espone opere create direttamente in digitale, celebrando il *medium* non come strumento di riproduzione ma come spazio creativo autonomo con estetiche e possibilità proprie.

Il filone cyberpunk continua a popolare l'immaginario collettivo anche sullo schermo. Nel 1995 Robert Longo adatta per il cinema il racconto gibsoniano *Johnny Mnemonic*[51], trasportando nel grande schermo la figura del *courier* neurale che trasmette dati corporativi attraverso impianti cerebrali: il film, pur tiepidamente accolto dalla critica, fissa

---

49 Per la storia del *WebMuseum* e la sua rilevanza come primo museo virtuale di massa cfr. App. A1, Scheda 78.

50 Sul *Lin Hsin Hsin Art Museum*, Cfr. App. A1, Scheda 79.

51 Per *Johnny Mnemonic* di Robert Longo, Cfr. App. A1, Scheda 51.

nell'immaginario pop la visione di un futuro prossimo in cui il corpo umano diventa infrastruttura informazionale, anticipando dibattiti oggi centrali nelle interfacce cervello-macchina.

Nel 1995 William J. Mitchell pubblica *City of Bits*[52], testo fondamentale sulla mutevolezza del confine fra ambiente reale e rappresentazioni digitali. Mitchell, decano della School of Architecture al MIT, esplora come le tecnologie digitali stiano riconfigurando lo spazio urbano e introduce il concetto di *bitsphere*: lo strato informazionale che si sovrappone alla città fisica, fatto di reti, *database*, transazioni elettroniche. La città contemporanea è simultaneamente *atoms* e *bits*, materia e informazione, ibridazione che prefigura quella che oggi chiamiamo realtà aumentata. Parallelamente Nicholas Negroponte pubblica *Being Digital*[53], manifesto ottimista della rivoluzione digitale che proclama il passaggio da un'economia di atomi a un'economia di bit. Con il senno di poi, l'ottimismo di Negroponte appare ingenuo — sottovaluta *digital divide*, concentrazione di potere nelle piattaforme, disinformazione — ma cattura perfettamente lo *Zeitgeist* degli anni Novanta: una fede quasi messianica nel potenziale emancipatorio delle tecnologie digitali.

Nel 1995 viene inaugurata la piattaforma *Active Worlds*[54], uno dei primi mondi virtuali persistenti e multi-utente. A differenza dei videogiochi *multiplayer* in cui i giocatori competono per obiettivi, *Active Worlds* è uno spazio sociale aperto in cui gli utenti — rappresentati da *avatar* — possono costruire strutture tridimensionali ed esplorare mondi creati da altri. *Active Worlds* introduce il concetto di *user-generated content*: gli abitanti non sono solo fruitori ma co-creatori dello spazio virtuale, logica partecipativa che anticipa *Second Life*.

---

52 W. J. Mitchell, *City of Bits: Space, Place, and the Infobahn*, MIT Press, Cambridge 1995. Cfr. App. A1, Scheda 50.

53 N. Negroponte, *Being Digital*, Knopf, New York 1995. Cfr. App. A1, Scheda 52.

54 Per *Active Worlds*, Cfr. App. A1, Scheda 80.

Nel 1996 Derrick de Kerckhove, allievo di Marshall McLuhan, sviluppa il progetto *Global Village Square*[55], esperimento di piazza virtuale globale che anticipa le logiche relazionali dei *social media* e delle piattaforme di telepresenza: l'idea che lo spazio pubblico, tradizionalmente vincolato alla prossimità fisica, possa essere reinventato come nodo reticolare in cui le distanze geografiche si azzerano.

Sempre nel 1996 Hans Hollein dirige la Biennale di Venezia *Sensori del Futuro*[56], esplorando come le nuove tecnologie stiano ridefinendo l'esperienza architettonica: invita architetti a immaginare architetture responsive, ambienti che percepiscono e reagiscono alla presenza umana attraverso sensori e attuatori, prefigurando quella che sarà definita 'architettura interattiva'.

Nel 1997 Frank Gehry inaugura il *Guggenheim Museum Bilbao*[57], emblema dell'architettura parametrica assistita dal digitale. Le forme complesse del museo — superfici curve in titanio, volumi intersecantisi — sarebbero state impossibili da progettare e costruire senza *software* avanzati: Gehry utilizza CATIA, originariamente sviluppato per l'industria aerospaziale, dimostrando come gli strumenti digitali permettano la realizzazione di forme complesse. Il *Guggenheim* di Bilbao diventa il «simbolo internazionale della condizione architettonica di fine secolo»[58] e, a differenza di quanto si potrebbe credere, il digitale vi interviene in forma 'a posteriori', come strumento di ottimizzazione di una concezione già definita analogicamente.

Nello stesso anno la *Virtual House Competition*[59] riunisce Eisenman, Nouvel, Herzog & de Meuron e Toyo Ito per

---

55 Sul *Global Village Square* di Derrick de Kerckhove, Cfr. App. A1, Scheda 54.

56 Per la Biennale del 1996 di Hollein, Cfr. App. A2, Scheda 53.

57 F. Gehry, G. van Bruggen, *The Guggenheim Museum Bilbao*, Guggenheim Museum Publications, New York 1997. Cfr. App. A1, Scheda 55.

58 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale*, cit., p. 11. Sulla natura 'a posteriori' dell'intervento digitale cfr. F. Purini, *Digital Divide*, in L. Sacchi, M. Unali (a cura di), *Architettura e cultura digitale*, Skira, Milano 2003, pp. 90-91.

59 *The Virtual House*, in «ANY Magazine», 19/20, New York 1997. Cfr. App. A1, Scheda 82.

ridefinire cosa significhi progettare una 'casa virtuale': non una casa fisica digitalizzata ma un'architettura concepita esclusivamente per l'esistenza digitale, libera da vincoli costruttivi, gravitazionali e funzionali. Le proposte esplorano forme liquide, spazi topologici, ambienti responsivi, stabilendo paradigmi per l'architettura virtuale successiva. Sempre nel 1997 il collettivo tedesco *eBoy* inaugura la serie *Pixel Art Cities*[60], ricostruzioni isometriche di metropoli realizzate interamente attraverso il linguaggio del *pixel art*: Berlino, Tokyo, New York diventano superfici digitali densissime di dettaglio, dove il vincolo tecnico del *pixel* si trasforma in scelta stilistica consapevole, anticipando quella tensione fra realismo e astrazione che attraverserà l'intera cultura visiva dei mondi virtuali.

Nel 1998 *Epic Games* rilascia *Unreal Engine*[61], motore grafico che diventerà standard per ambienti 3D *real-time*. Originariamente sviluppato per il videogioco *Unreal*, il motore viene concesso in licenza ad altri sviluppatori, rendendo accessibile la creazione di ambienti per la *gamification*. Parallelamente, Robert McNeel & Associates lancia *Rhino 1.0*[62], *software* di modellazione NURBS che diventerà strumento prediletto degli architetti per forme complesse e, in abbinamento con *Grasshopper*, il principale ambiente di prototipazione delle sperimentazioni documentate nel Cap. 3 della presente ricerca.

Nel 1999 lo studio *Asymptote* — Hani Rashid e Lise Anne Couture — progetta il *Guggenheim Virtuale*[63]: un museo che esiste solo nel *cyberspace*, con gallerie che fluttuano nello spazio digitale, svincolate da gravità e materialità. Il progetto, esposto alla Biennale di Venezia del 2000, dimostra che l'architettura virtuale non deve replicare logiche fisiche

60 Sui *Pixel Art Cities* di eBoy, Cfr. App. A1, Scheda 81.

61 Per *Unreal Engine* di Epic Games, Cfr. App. A1, Scheda 19.

62 Su *Rhinoceros* 1.0 di McNeel, Cfr. App. A1, Scheda 20.

63 H. Rashid, L. A. Couture, *Asymptote: Flux*, Phaidon Press, London 2002. Cfr. App. A1, Scheda 84.

ma può inventare grammatiche spaziali proprie. Nella stessa stagione Fumio Matsumoto presenta *Infotube & Ginga*[64], installazioni immersive che traducono spazi urbani reali in ambienti informazionali navigabili: un precoce esperimento di ibridazione fra rilievo urbano e spazio virtuale che anticipa i dispositivi di *digital twin* urbano degli anni successivi. Nella stessa stagione le sorelle Wachowski dirigono *The Matrix* (1999)[65], film che diventa il riferimento visivo definitivo per la simulazione digitale: un mondo virtuale indistinguibile dalla realtà, in cui la maggioranza dell'umanità vive inconsapevole di abitare una simulazione computerizzata. *Matrix* trasforma la questione filosofica della simulazione in immaginario popolare, influenzando profondamente il dibattito pubblico su realtà virtuale e *metaverso*.

Nel 2000 Autodesk rilascia *Revit*[66], software BIM (*Building Information Modeling*) che rivoluziona il processo di progettazione architettonica: gli elementi costruttivi sono oggetti dotati di proprietà e relazioni, e modificarne uno in pianta aggiorna automaticamente sezioni, prospetti e computi metrici.

Il decennio si chiude con due eventi apparentemente lontani ma concettualmente connessi. Nel 2000 *Maxis/EA* lancia *The Sims*[67], primo videogioco che permette di gestire una vita domestica virtuale in soggettiva: a differenza di *SimCity*, in cui il giocatore gestisce un'intera città da una prospettiva divina, *The Sims* riduce la scala all'abitazione e alla famiglia, permettendo di controllare personaggi virtuali nelle loro attività quotidiane. Il gioco introduce anche un potente *editor* per personalizzare case e arredamenti: milioni di giocatori trascorrono più tempo a progettare interni domestici che a giocare effettivamente, anticipando quella

64 Sui progetti *Infotube e Ginga* di Fumio Matsumoto, Cfr. App. A1, Scheda 83.

65 S. Zizek, *The Matrix, or, The Two Sides of Perversion*, in W. Irwin (a cura di), *The Matrix and Philosophy*, Open Court, Chicago 2002. Cfr. App. A1, Scheda 56.

66 Autodesk Inc., *Revit 1.0*, Autodesk, San Rafael 2000. Cfr. App. A1, Scheda 21.

67 W. Wright, *The Sims*, Maxis/EA 2000. Cfr. App. A1, Scheda 85.

logica di *user-generated content* che esploderà con *Second Life* e *Minecraft*. Parallelamente, la Biennale di Architettura *Less Aesthetics, More Ethics* ideata da Massimiliano Fuksas (2000)[68] propone uno spostamento di *focus* dall'estetica formale alle implicazioni etiche del progetto digitale, chiudendo il decennio con un'istanza critica che resterà feconda per le generazioni successive.

1.1.4 2001-2010: Mondi persistenti e social gaming. Second Life, Facebook e la gamification dell"abitare'

Il decennio 2001-2010 è quello in cui si passa «dalla rivoluzione digitale alle metamorfosi 'post'»[69]: superato lo sperimentalismo formale degli anni Novanta, la cultura digitale entra in una fase di elaborazione più matura, in cui le tecnologie si sedimentano in pratiche diffuse, i mondi virtuali diventano fenomeni di massa e gli strumenti di progettazione si espandono. È in questo decennio che l"abitare virtuale' cessa di essere appannaggio di avanguardie per diventare esperienza quotidiana di milioni di utenti: *Second Life*, *Facebook*, *Minecraft*, *Google Street View* ridefiniscono il confine fra spazio fisico e digitale. Parallelamente, strumenti come *Unity* e *Grasshopper* trasformano la pratica architettonica, rendendo accessibili logiche parametriche e generative che anticiperanno direttamente i *workflow* con IA descritti nella Seconda Parte di questa ricerca.

Il decennio si apre nell'ambito architettonico con un'opera che mette in discussione la materialità stessa del costruito. Nel 2002 Diller Scofidio + Renfro realizzano il *Blur Building* per l'Expo Svizzera a Yverdon-les-Bains[70]: una piattaforma metallica sospesa sul lago equipaggiata con 31.500 ugelli

68 M. Fuksas (a cura di), *Less Aesthetics, More Ethics. Catalogo della VII Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*, Marsilio, Venezia 2000. Cfr. App. A1, Scheda 57.

69 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale. Verso una storia*, in «Op. Cit.», n. 164, 2019, p. 13.

70 D. Scofidio, E. Diller, *Blur Building. The Making of Nothing*, Abrams, New York 2002. Cfr. App. A1, Scheda 58.

che nebulizzano acqua, creando una nuvola artificiale che avvolge l'edificio. I visitatori entrano nella nebbia perdendo riferimenti visivi, e l'architettura diventa esperienza fenomenologica pura. *Blur* rappresenta un'architettura effimera, dematerializzata, dipendente da condizioni ambientali, anticipando tematiche che riemergono nell'architettura virtuale, dove spazio e atmosfera possono essere programmati dinamicamente.

L'avvento di *Second Life* nel 2003, creato dalla Linden Lab[71], rappresenta una svolta epocale nella realizzazione di mondi virtuali. A differenza dei MMORPG (*Massively Multiplayer Online Role-Playing Games*) come *World of Warcraft*, strutturati attorno a *quest*, combattimenti, progressione di livelli, *Second Life* è un mondo virtuale aperto, privo di obiettivi predefiniti: gli utenti esplorano, socializzano, costruiscono, commerciano attraverso *avatar* completamente personalizzabili.

Il sistema implementa un'economia interna basata su valuta virtuale — il *Linden Dollar*, convertibile in dollari reali — e un sistema di proprietà intellettuale che riconosce agli utenti i diritti su ciò che creano. Questa combinazione — mondo persistente, *user-generated content*, economia reale — genera fenomeni straordinari: università aprono *campus* virtuali, aziende aprono uffici e negozi, architetti sperimentano forme impossibili nel mondo fisico. *Second Life* diventa presto oggetto di studio accademico interdisciplinare: l'antropologo Tom Boellstorff conduce un'etnografia virtuale pubblicando *Coming of Age in Second Life* (2008)[72], dove documenta come gli abitanti sviluppino identità complesse, relazioni significative e pratiche culturali sofisticate, dimostrando che la 'virtualità' non implica superficialità o falsità ma costituisce una dimensione

71 T. Boellstorff, *Coming of Age in Second Life: An Anthropologist Explores the Virtually Human*, Princeton University Press, Princeton 2008. Cfr. App. A1, Scheda 86.

72 T. Boellstorff, *Coming of Age in Second Life*, cit., p. 5.

autentica dell'esperienza umana contemporanea. Architetti e urbanisti studiano le logiche spaziali emergenti: in assenza di gravità e di vincoli costruttivi, che forme assume l'architettura? Come si organizzano comunità quando la geografia è fluida? *Second Life* diventa laboratorio per sperimentare principi dell"abitare virtuale' che informeranno le piattaforme successive.

Nel 2004 Mark Zuckerberg fonda *Facebook*[73], piattaforma che ridefinisce radicalmente il concetto di socialità *online*. A differenza dei forum anonimi o delle *chatroom* pseudonime che caratterizzavano *Internet* negli anni Novanta, *Facebook* introduce il principio dell'identità reale: gli utenti costruiscono profili che mappano identità *offline* e connettono 'amici' corrispondenti a relazioni preesistenti. Sebbene *Facebook* stesso non sia un mondo virtuale tridimensionale, la sua logica — identità persistente, rete sociale esplicita, condivisione continua di contenuti — influenzerà profondamente la concezione dei metaversi successivi. Il concetto di *feed* algoritmico, flusso continuo di aggiornamenti selezionati da algoritmi, diventerà paradigma dominante del *web* sociale.

Sul versante degli strumenti di produzione 3D, il decennio registra due innovazioni decisive. Nel 2005 Unity Technologies rilascia *Unity*[74], motore grafico per la creazione di ambienti 3D interattivi. A differenza di *Unreal Engine*, potente ma complesso, *Unity* privilegia accessibilità e rapidità di prototipazione, includendo un *editor* visuale *drag-and-drop*, librerie di *asset* riutilizzabili e supporto multipiattaforma. La semplificazione degli strumenti di produzione 3D è precondizione per la proliferazione di ambienti virtuali eterogenei che caratterizzerà gli anni successivi.

---

73 D. Kirkpatrick, *The Facebook Effect*, Simon & Schuster, New York 2010. Cfr. App. A1, Scheda 87.

74 Per *Unity* di Unity Technologies, Cfr. App. A1, Scheda 22.

Nel 2007 Robert McNeel & Associates lancia *Grasshopper 3D*[75], *plugin* per *Rhino* che rende il *design* parametrico accessibile attraverso un'interfaccia di programmazione visuale: gli utenti connettono 'componenti' — funzioni — attraverso 'collegamenti' — flussi di dati — costruendo algoritmi generativi senza scrivere codice. Modificando parametri come la densità di una griglia o l'intensità di uno spostamento si generano infinite variazioni: una logica che anticipa quella che oggi definiamo 'design generativo assistito da IA'. *Grasshopper* diventa lo strumento centrale dei *workflow* sperimentali documentati nel Cap. 3.1.3 della presente ricerca.

Il dibattito architettonico-urbanistico trova in questo decennio uno dei suoi momenti più significativi nella Biennale di Venezia *Cities, Architecture and Society* diretta da Richard Burdett (2006)[76], che interroga come architettura e urbanistica possano affrontare sfide di densità, sostenibilità ed equità, integrando riflessioni sulle 'città digitali' e sull'impatto delle *ICT* (*Information and Communications Technology*) sulla *governance* urbana.

Nel 2007, *Ubisoft* pubblica il primo capitolo di *Assassin's Creed*[77], che ricrea con precisione storica e architettonica città medievali come Gerusalemme, Damasco e Acri durante le Crociate, impiegando storici e archeologi per garantire fedeltà nella ricostruzione di monumenti e topografie urbane.

L'artista cinese Cao Fei crea *RMB City* (2007-2011)[78] in *Second Life*: città virtuale che mescola riferimenti alla Cina socialista e alla Cina capitalista in un *collage* onirico, dimostrando che

---

75 A. Tedeschi, *Parametric Architecture with Grasshopper*, Le Penseur, Brienza 2010. Cfr. App. A1, Scheda 23. Per il ruolo di *Grasshopper* nel *workflow ChatGPT-GHPython* cfr. Cap. 3.1 della presente ricerca.

76 R. Burdett, D. Sudjic (a cura di), *The Endless City*, Phaidon, London 2007. Cfr. App. A1, Scheda 59.

77 Sulla saga *Assassin's Creed* di Ubisoft Montreal, Cfr. App. A1, Scheda 89.

78 Cao Fei, *RMB City: A Second Life City Planning*, documentazione del progetto, Beijing 2009. Cfr. App. A1, Scheda 90.

i mondi virtuali possono fungere da *medium* artistico critico per esplorare identità culturali e contraddizioni sociali.

Nel 2007 *Google* lancia *Google Street View*[79], servizio che cattura panoramiche fotografiche a 360° delle strade di intere città, navigabili attraverso un'interfaccia *web*. Automobili equipaggiate con fotocamere omnidirezionali percorrono milioni di chilometri, trasformando *Google Maps* da astrazione cartografica a simulazione visiva: si può 'camminare' virtualmente per Parigi, Tokyo, New York — un'esperienza che anticipa logiche della realtà virtuale.

Nel 2009 *Google* annuncia l'espansione di questa logica al patrimonio culturale con *Google Art Project*[80], digitalizzando collezioni museali con tecnologie ad altissima risoluzione — *gigapixel* — che permettono di 'visitare' virtualmente musei e ingrandire opere fino a vedere pennellate invisibili a occhio nudo.

Nello stesso anno *Mojang* lancia *Minecraft*[81], videogioco *sandbox* che diventa fenomeno culturale globale: *Minecraft* riduce il mondo a cubi impilabili e dimostra che l"abitare virtuale' non richiede fotorealismo — può emergere da sistemi semplici con regole chiare e libertà d'azione.

Sempre nel 2009 James Cameron dirige *Avatar*[82], film che segna un momento di svolta nella cultura digitale contemporanea: le tecnologie di *performance capture* facciale, gli ambienti tridimensionali fotorealistici di Pandora e la proiezione stereoscopica 3D portano per la prima volta a scala di massa l'esperienza dell'immersività. *Avatar* non è rilevante solo come prodotto cinematografico ma come evento culturale che consolida un vocabolario: il termine 'avatar', già presente in Gibson e Stephenson, diventa con il film di Cameron comprensibile a miliardi di spettatori

79 Per *Google Street View*, Cfr. App. A1, Scheda 88.

80 Sul *Google Art Project*, Cfr. App. A1, Scheda 91.

81 M. Persson, *Minecraft*, Mojang, 2009. Cfr. App. A1, Scheda 92.

82 J. Cameron (regia), *Avatar*, 20th Century Fox / Lightstorm Entertainment, USA 2009. Cfr. App. A1, Scheda 60.

come rappresentazione digitale del sé capace di produrre esperienze sensoriali ed emotive autentiche.

Il decennio si chiude sul versante espositivo con un evento di portata planetaria: l'Expo 2010 di Shanghai con il tema *Better City, Better Life*[83], dedicato esplicitamente alla città contemporanea e alle sue trasformazioni tecnologiche. Con oltre 73 milioni di visitatori e la partecipazione di 192 nazioni, l'Expo diventa il più grande dispositivo di comunicazione globale sul tema urbano-digitale del decennio, proponendo padiglioni che integrano architettura fisica e componenti interattive, tecnologie *sensor-based*, ambienti aumentati.

Il tema stesso — il binomio *better city/better life* — fissa per un pubblico di massa l'equazione fra qualità della vita e dimensione tecnologica della città, equazione che il decennio successivo articolerà nelle piattaforme *smart city*, nei *digital twin* urbani e negli ambienti metaversali a vocazione pubblica.

Il decennio 2001-2010 si chiude dunque con un paesaggio tecnoculturale profondamente trasformato rispetto al suo inizio. Le «due vie» che Renato De Fusco aveva rilevato nel 2001, «quelle di fabbriche effettivamente realizzate e quella di altre destinate a rimanere pure immagini, le une rientranti nel dominio del reale, le altre in quello del virtuale»[84], non sono più due percorsi separati ma si ibridano continuamente: *Second Life* e *Minecraft* sono mondi 'reali' per i loro abitanti, *Google Art Project* porta i musei fisici nell'esperienza digitale, *Grasshopper* e *Revit* fanno dialogare disegno parametrico e costruzione materiale.

È il terreno sul quale, nel decennio successivo, l'ingresso della VR *consumer*, della *blockchain* e dell'IA generativa produrrà quella convergenza che il 1.1.5 e il 1.1.6 documenteranno.

---

83 Sull'Expo 2010 di Shanghai e il tema *Better City, Better Life* cfr. App. A1, Scheda 61.

84 R. De Fusco, *Trattato di architettura*, Laterza, Roma-Bari 2001, p. 303.

1.1.5 2011-2020: VR consumer e blockchain. Oculus, Decentraland e l'alba degli NFT

Il decennio 2011-2020 segna, per l'architettura virtuale, l'ingresso nella condizione della normalizzazione, la sua sedimentazione nel quotidiano, la ramificazione in direzioni imprevedibili. Sono gli anni in cui la VR *consumer* diventa finalmente praticabile — con l'*Oculus Rift* il cui prototipo fondativo è del 2010 e la versione commerciale CV1 arriva nel 2016 — la *blockchain* introduce nuovi modelli di proprietà digitale (*Decentraland*, 2018), e l'IA generativa inizia a produrre immagini autonomamente (Refik Anadol, 2018-2019). La letteratura popolare, da *Snow Crash* (1992) a *Ready Player One*, porta il concetto di *metaverso* all'attenzione di milioni di persone, preparando culturalmente l'esplosione del biennio 2021-2022. La pandemia *COVID-19*, nella seconda parte del decennio, accelera drasticamente tutti questi processi: quando lo spazio fisico si chiude, lo spazio virtuale diventa infrastruttura di emergenza.

Nel 2011 Ernest Cline pubblica *Ready Player One*[85], romanzo che descrive OASIS (*Ontologically Anthropocentric Sensory Immersive Simulation*): un universo virtuale in cui le persone vanno a scuola, lavorano, si innamorano — simultaneamente videogioco, *social network*, sistema educativo, economia. *Ready Player One* riprende la visione di Stephenson ma la rende accessibile a un pubblico *mainstream*, contribuendo a popolarizzare l'idea di *metaverso* proprio negli anni in cui le tecnologie VR *consumer* stanno diventando praticabili; l'adattamento cinematografico di Steven Spielberg (2018) amplifica ulteriormente l'impatto culturale.

Nel 2013 Fullbright Company pubblica *Gone Home*[86], *walking simulator* che dimostra come l'architettura virtuale possa essere veicolo primario di *storytelling*. Il gioco consiste nell'esplorare una casa domestica — aprire cassetti, leggere

85 E. Cline, *Ready Player One*, Crown Publishers, New York 2011. Cfr. App. A1, Scheda 62.

86 S. Gaynor, *Gone Home*, The Fullbright Company, Portland 2013. Cfr. App. A1, Scheda 93.

lettere, esaminare oggetti — ricostruendo attraverso indizi ambientali la storia della famiglia che vi abita: la disposizione delle stanze, gli oggetti lasciati in giro, i *poster* alle pareti raccontano storie tanto quanto i dialoghi. *Gone Home* appartiene al filone degli *environmental narrative games* che riabilitano l'architettura virtuale non come semplice scenografia per l'azione ma come testo da leggere, spazio denso di significati stratificati, anticipando musei virtuali in cui la spazialità stessa diventa contenuto.

Nel 2016 Anand Agarawala e Jinha Lee fondano *Spatial*[87], piattaforma di collaborazione in realtà virtuale che trasforma le riunioni di lavoro in esperienze immersive: *team* distribuiti geograficamente si incontrano in stanze virtuali condivise in cui manipolano documenti tridimensionali, disegnano su lavagne virtuali, visualizzano modelli 3D. Nel 2017 Fumio Matsumoto realizza *Memories of Architecture*[88], progetto che ricrea digitalmente edifici storici — alcuni demoliti, altri mai costruiti — permettendo di 'camminare' attraverso spazi che esistono solo come memorie, disegni, fotografie. Matsumoto pone domande profonde: cosa significa preservare un edificio demolito attraverso una simulazione digitale? Come la VR può essere messa al servizio della memoria collettiva e della storia dell'architettura? Gli ambienti virtuali diventano qui 'macchine del tempo' architettoniche, dispositivi per esperire spazi altrimenti inaccessibili — non per nostalgia regressiva ma per comprensione storica incarnata.

Il 2018 concentra tre eventi che segnano altrettante direttrici di sviluppo. Viene lanciato *Decentraland*[89], mondo virtuale decentralizzato basato sulla *blockchain* Ethereum. A differenza di *Second Life*, controllato centralmente da Linden Lab, *Decentraland* implementa una *governance* distribuita: la 'terra' virtuale è suddivisa in parcelle (LAND) registrate come

87 Per *Spatial* di Anand Agarawala e Jinha Lee, Cfr. App. A1, Scheda 94.

88 Su *Memories of Architecture* di Fumio Matsumoto, Cfr. App. A1, Scheda 95.

89 A. Ordano et al., *Decentraland: A blockchain-based virtual world*, *White Paper*, 2018. Cfr. App. A1, Scheda 96.

NFT — *Non-Fungible Token*, gettoni digitali unici registrati su *blockchain* — proprietà verificabile crittograficamente e scambiabile *peer-to-peer* senza intermediari. Gli utenti non solo possiedono terre ma partecipano democraticamente alle decisioni attraverso una *DAO* (*Decentralized Autonomous Organization*), realizzando quella 'città autogestita' che era stata utopia cyberpunk negli anni Novanta.

Nello stesso anno *Google* introduce *BERT* (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*)[90], modello di linguaggio basato su architettura *transformer* che segna un salto qualitativo nel *Natural Language Processing*: sebbene *BERT* non generi testo ma lo comprenda, stabilisce principi architetturali che porteranno a *ChatGPT* e all'esplosione dell'IA generativa del biennio 2022-2023.

Parallelamente, Refik Anadol Studio presenta *WDCH Dreams*[91], installazione di *data art* che utilizza *machine learning* per trasformare gli archivi digitali della Los Angeles Philharmonic in visualizzazioni immersive proiettate sulla facciata del Walt Disney Concert Hall: Anadol allena reti neurali su milioni di immagini e registrazioni audio, e il modello 'impara' pattern estetici generando visualizzazioni che 'sognano' la memoria dell'istituzione.

Quest'opera pionieristica, che dimostra come l'IA generativa possa trasformare archivi statici in esperienze dinamiche, anticipa un principio destinato a diventare centrale: gli algoritmi non sono solo strumenti ma collaboratori creativi capaci di 'vedere' pattern invisibili agli umani.

Il 2019 prosegue su più fronti. *Epic Games* acquisisce *Twinmotion*[92], tecnologia di visualizzazione *real-time* fotorealistica, posizionando Epic al centro del mercato della visualizzazione architettonica e dimostrando la

---

90 J. Devlin et al., *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*, in *Proceedings of NAACL-HLT*, Minneapolis 2019. Cfr. App. A1, Scheda 25.

91 R. Anadol, *WDCH Dreams*, installazione, Los Angeles Philharmonic, Los Angeles 2018. Cfr. App. A1, Scheda 63.

92 Per *Twinmotion* e la sua integrazione nell'ecosistema *Epic Games* cfr. App. A1, Scheda 26.

convergenza fra *gaming*, architettura e simulazione. Nello stesso anno Refik Anadol presenta *Machine Hallucination*[93] all'ARTECHOUSE di New York: installazione immersiva in cui reti neurali GAN (*Generative Adversarial Networks*) generano ambienti architettonici onirici in continua trasformazione. Pareti, pavimenti e soffitti diventano schermi su cui si proiettano architetture generate dall'IA: forme che oscillano fra riconoscibile e astratto, citazioni di edifici storici deformati algoritmicamente, spazi impossibili che evolvono fluidamente. *Machine Hallucination* è seminale perché dimostra concretamente le possibilità creative dell'IA generativa proprio negli anni immediatamente precedenti l'esplosione di *Midjourney* e *DALL-E*.

Sempre nel 2019, lo studio norvegese Snøhetta completa *Under* a Lindesnes[94], primo ristorante sottomarino d'Europa: un monolite di calcestruzzo che si inclina gradualmente dalla costa fino a scomparire sott'acqua, con vetrate panoramiche affacciate sul fondale marino. *Under* condivide logiche con ambienti virtuali immersivi: l'architettura come interfaccia verso 'altri' mondi, la dissoluzione del confine fra interno ed esterno, l'esperienza come elemento progettuale primario.

Nel 2020 (l'opera debutta nel 2021) Ian Cheng presenta *Life After BOB*[95], videogioco-simulazione che utilizza l'IA per creare narrative emergenti attraverso BOB (*Bag of Beliefs*), creatura virtuale dotata di sistema di credenze, emozioni e memoria che evolve in base alle interazioni con l'utente, prefigurando metaversi popolati non da NPC (*non-player characters*) con dialoghi predefiniti ma da agenti autonomi con personalità proprie.

Il decennio si chiude con due eventi che condensano le trasformazioni in atto. Nell'aprile del 2020 il rapper Travis

---

93 R. Anadol, *Machine Hallucination*, installazione, ARTECHOUSE, New York 2019. Cfr. App. A1, Scheda 65.

94 Snøhetta, *Under*, Lindesnes 2019. Cfr. App. A1, Scheda 64.

95 I. Cheng, *Life After BOB: The Chalice Study*, Pilar Corrias Gallery, London 2021. Cfr. App. A1, Scheda 66.

Scott 'si esibisce' in *Fortnite*[96] davanti a 12,3 milioni di spettatori simultanei: non attraverso un *livestreaming* bidimensionale ma come *avatar* gigante che attraversa paesaggi psichedelici, mentre giocatori-spettatori percorrono ambienti che si trasformano sincronizzati alla musica. L'evento *Astronomical* dimostra che le piattaforme di *gaming* possono funzionare come *venue* per l'intrattenimento di massa, dissolvendo i confini fra videogioco, concerto ed esperienza sociale: *Fortnite* diventa *metaverso de facto*, non chiamato così ufficialmente, ma funzionalmente equivalente.

La pandemia COVID-19 accelera drasticamente la trasformazione: quando i concerti fisici diventano impossibili, le piattaforme virtuali offrono alternative, non surrogati inferiori ma esperienze qualitativamente diverse, dotate di possibilità fisicamente impraticabili.

Emerge con chiarezza ciò che si è soliti definire la sfida fondamentale dell'architetto post-digitale: costruire una posizione teorica capace di distinguere l'aggiornamento e la rielaborazione di strumenti e idee già note da ciò che costituisce autentica innovazione epistemologica.

Le tecnologie di questo decennio — VR *consumer*, *blockchain*, IA generativa — non sono rotture radicali ma sedimentazioni e maturazioni di paradigmi elaborati nei decenni precedenti. È su questo terreno, denso di strumenti disponibili e di interrogativi ancora aperti, che il quinquennio 2021-2025 produrrà la convergenza fra metaverso, *blockchain* e IA generativa documentata nel 1.1.6.

1.1.6 2021-2025: Metaverso e IA generativa. Meta, Beeple e la rivoluzione dell'intelligenza artificiale

Il quinquennio 2021-2025 realizza la convergenza che Mario Carpo aveva anticipato con la formula «bit e neuroni»[97]: non più solo archivi digitali, reti distribuite e motori parametrici,

96 Per *Fortnite* e il concerto *Astronomical* cfr. App. A1, Scheda 97.

97 M. Carpo, *The Post-Digital Will Be Even More Digital*, in «Metropolis», 5 luglio 2018.

ma intelligenze artificiali che generano immagini, video, modelli 3D e codice in risposta a istruzioni linguistiche. È in questi anni che la distanza fra ciò che si può descrivere e ciò che si può visualizzare, fra intenzione progettuale e forma generata, si azzera.

Il quinquennio è contemporaneamente il più denso del catalogo e il più direttamente preparatorio alle sperimentazioni della Seconda Parte.

Il 2021 rappresenta un anno di convergenze cruciali fra arte digitale, architettura virtuale, *blockchain* e intelligenza artificiale. L'opera digitale *Everydays: The First 5000 Days* di Beeple (Mike Winkelmann)[98] viene venduta da Christie's per 69,3 milioni di dollari: primo caso di opera puramente digitale — *collage* di 5.000 immagini create quotidianamente dal 2007 al 2021, certificato come NFT sulla *blockchain* Ethereum — venduta da una grande casa d'aste a tale cifra. L'evento spartiacque legittima l'arte digitale presso i collezionisti tradizionali e solleva questioni irrisolte: cosa significa 'possedere' un *file* duplicabile infinitamente? Come cambiano autorialità e scarsità nell'era della riproducibilità digitale perfetta? L'uso di NFT si estende rapidamente all'architettura: la *Mars House* di Krista Kim[99] diventa la prima casa digitale venduta come NFT per oltre 500.000 dollari — un *rendering* 3D di un'abitazione futuristica concepita esclusivamente per l'esistenza virtuale — stabilendo un precedente controverso che interroga il ruolo della disciplina architettonica tradizionale negli spazi digitali.

Zaha Hadid Architects, già pionieri dell'architettura parametrica fisica, entrano nel *metaverso* con *Liberland Metaverse*[100] e *NFTism*[101], applicando la propria estetica — forme fluide, superfici continue, geometrie complesse — a

98 Per Beeple e *Everydays: The First 5000 Days* cfr. App. A1, Scheda 103.

99 K. Kim, *Mars House*, NFT, SuperRare, 2021. Cfr. App. A1, Scheda 102.

100 Zaha Hadid Architects, *Liberland Metaverse*, 2021. Cfr. App. A1, Scheda 98.

101 Zaha Hadid Architects, *NFTism Virtual Gallery*, 2021. Cfr. App. A1, Scheda 104.

un contesto completamente libero da vincoli costruttivi, con edifici che fluttuano e strutture che si deformano dinamicamente. Coop Himmelb(l)au presenta *Deep Himmelblau*[102] come progetto di ricerca sull'applicazione dell'intelligenza artificiale al processo progettuale architettonico, presentato pubblicamente nel 2021 in un momento di straordinaria accelerazione del dibattito disciplinare sull'IA generativa.

I Radiohead lanciano *Kid A Mnesia Exhibition*[103], museo virtuale interattivo sviluppato su *Unreal Engine* che trasforma gli album musicali in spazialità navigabile: stanze surrealiste, corridoi deformati, paesaggi onirici ispirati alle copertine. Il progetto dimostra come l'architettura virtuale possa fungere da *medium* curatoriale nativo del digitale — non digitalizzazione di un museo fisico ma forma espressiva autonoma.

Sul versante istituzionale, la 17ª Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia, curata da Hashim Sarkis con il titolo *How Will We Live Together?*[104], apre il quinquennio con un interrogativo che risuona simultaneamente sulla scala fisica — in piena pandemia COVID-19 — e su quella digitale: le risposte esposte includono installazioni che integrano sensori ambientali, modelli parametrici di coabitazione, sperimentazioni sul rapporto fra architettura e intelligenza distribuita. Il titolo-domanda di Sarkis fissa nella cornice istituzionale della Biennale la questione che l'intero quinquennio declinerà nei propri esiti tecnici: quale forma può assumere il 'vivere insieme' quando gli spazi in cui si vive non sono più solo fisici?

Il 28 ottobre 2021 Mark Zuckerberg annuncia il cambio di

---

102 Coop Himmelb(l)au, *Deep Himmelblau*, 2021. Cfr. App. A1, Scheda 100.

103 Radiohead, S. Donwood, Epic Games, *Kid A Mnesia Exhibition*, Unreal Engine, 2021. Cfr. App. A1, Scheda 101.

104 H. Sarkis (a cura di), *How Will We Live Together? Catalogo della 17. Mostra Internazionale di Architettura*, La Biennale di Venezia, Venezia 2021. Cfr. App. A1, Scheda 68.

nome della *holding* Facebook in *Meta*[105], dichiarando che il futuro dell'azienda è il *metaverso*: un *Internet* incarnato in cui non si consumano solo contenuti ma ci si immerge completamente. Meta investirà decine di miliardi di dollari nello sviluppo di *hardware* VR/AR, *software* (*Horizon Worlds*) e infrastrutture.

L'annuncio legittima istituzionalmente il *metaverso* trasformandolo da nicchia a visione strategica *mainstream*, ma genera anche preoccupazioni: un *metaverso* controllato da Meta rischia di replicare problematiche già presenti su *Facebook* — monopolio, sorveglianza, manipolazione? Matthew Ball sistematizza concettualmente la sfida nel saggio *The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything* (2022)[106], identificando sette *layer* tecnologici e otto requisiti *core* — persistenza, sincronicità, interoperabilità, economia funzionante, *user-generated content*, identità portabile — che diventano riferimento per politici, investitori e sviluppatori. Sulla stessa linea si colloca il saggio di Kevin Roose *Futureproof* (2021)[107], che interroga come preservare la centralità del giudizio umano in un'epoca di automazione estesa: testo rilevante per la ricerca architettonica perché fornisce categorie critiche utili a pensare la 'delega consapevole' che il Capitolo 3 articola sul piano operativo.

Sul fronte dell'intelligenza artificiale, *OpenAI* rilascia *DALL-E* e *CLIP* nel gennaio 2021[108], primi modelli *text-to-image* accessibili che dimostrano capacità straordinarie di generazione di immagini da descrizioni testuali. *DALL-E* utilizza un'architettura *transformer* addestrata su 250 milioni di coppie testo-immagine, generando immagini

105 M. Zuckerberg, *Founder's Letter*, Meta Platforms, Menlo Park, 28 ottobre 2021. Cfr. App. A1, Scheda 99.

106 M. Ball, *The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything*, Liveright, New York 2022. Cfr. App. A1, Scheda 69.

107 K. Roose, *Futureproof: 9 Rules for Humans in the Age of Automation*, Random House, New York 2021. Cfr. App. A1, Scheda 67.

108 A. Ramesh et al., *Zero-Shot Text-to-Image Generation (DALL-E)*, OpenAI, 2021. Cfr. App. A1, Scheda 27.

coerenti da *prompt* arbitrari. Per architetti e designer, questi modelli aprono possibilità rivoluzionarie: *concept* e variazioni visive generabili descrivendo linguisticamente le caratteristiche desiderate. Nel novembre 2022 *OpenAI* lancia *ChatGPT*[109], *chatbot* basato su GPT-3.5 che diventa virale raggiungendo 100 milioni di utenti in due mesi — la crescita più rapida di qualsiasi applicazione *consumer* della storia. *ChatGPT* diventa assistente versatile: genera descrizioni progettuali, suggerisce soluzioni tecniche, produce codice. Sempre nel 2022, *Midjourney*[110] e *Stable Diffusion*[111], rilasciato da Stability AI, raggiungono il grande pubblico, rendendo la generazione di immagini tramite IA accessibile a milioni di utenti. *Midjourney* — accessibile attraverso un *server* Discord — utilizza modelli di diffusione per generare immagini artistiche con estetica spesso onirica e pittorica; *Stable Diffusion*, *open source*, può essere installato localmente, permettendo sperimentazione libera. Questi strumenti innescano un'esplosione creativa che investe rapidamente la disciplina architettonica. Sul fronte della generazione tridimensionale, *Luma Lab* lancia *Luma AI*[112], *app mobile* che utilizza *Neural Radiance Fields* (*NeRF*) per creare modelli 3D fotorealistici, implementando la creazione di *asset* 3D da immagini e video a 360°.

Nel 2022 il *metaverso* si popola di progetti curatoriali e di installazioni *d'autore* che iniziano a tracciarne i contorni estetici e programmatici. Space Popular progetta la *Galleria Virtuale per la Fundación Arquia*[113] traducendo la griglia di Cerdà di Barcellona in spazio espositivo virtuale — operazione che attualizza nel dominio digitale la tradizione

---

109 OpenAI, *Introducing ChatGPT*, blog.openai.com, novembre 2022. Cfr. App. A1, Scheda 30.

110 Per *Midjourney* cfr. App. A1, Scheda 29. Per l'uso di *Midjourney* nei *workflow* architettonici della presente ricerca cfr. Cap. 3.1.1.

111 R. Rombach et al., *High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models*, Stability AI, 2022. Cfr. App. A1, Scheda 31. Per le metodologie di *fine-tuning* documentate nella presente ricerca cfr. Cap. 3.1.2.

112 Per *Luma AI*, Cfr. App. A1, Scheda 28.

113 Space Popular, *Galleria Virtuale per Fundación Arquia*, 2022. Cfr. App. A1, Scheda 105.

del rilievo urbanistico come dispositivo curatoriale. BIG + Vice Media rilasciano *Viceverse*[114], piattaforma immersiva che sperimenta modelli di fruizione culturale basati su ambienti virtuali modulari; Joshua Chaplin presenta *Thecore World*[115], mondo virtuale persistente costruito attorno a una grammatica estetica unitaria; OMA espone *The Underwater Sculpture*[116] come NFT, esperimento di architettura che esiste esclusivamente come *asset* digitale sommerso in ambiente simulato.

Il 2023 è l'anno in cui il dialogo fra architettura e *metaverso* acquista una prima consacrazione istituzionale. *Populous* completa lo *Sphere at The Venetian Resort* a Las Vegas[117], la più grande struttura sferica al mondo — 112 metri di diametro, rivestita da 1,2 milioni di LED — in cui lo schermo LED avvolge completamente 18.600 spettatori: edificio che è simultaneamente contenitore e *medium*, spazio e interfaccia, convergenza estrema fra architettura fisica e *display* digitale.

Sempre nel 2023 Ethan Hu lancia *Meshy AI*[118], piattaforma *text-to-3D* che genera modelli tridimensionali texturizzati da descrizioni testuali: geometrie 3D complete con UV *mapping* e materiali utilizzabili direttamente in *Unreal Engine*, *Unity* e *Blender*. *Meshy AI* è uno degli strumenti documentati nei *workflow* della Seconda Parte della presente ricerca.

Lesley Lokko, architetta e scrittrice ghanese-scozzese, prima curatrice africana nella storia della Biennale di Architettura, dirige la 18ª Mostra Internazionale con il tema *The Laboratory of the Future*[119], spostando radicalmente il baricentro geografico e culturale del dibattito disciplinare

---

114 BIG + Vice Media, *Viceverse*, 2022. Cfr. App. A1, Scheda 106.

115 J. Chaplin, *Thecore World*, 2022. Cfr. App. A1, Scheda 107.

116 OMA, *The Underwater Sculpture*, NFT, 2022. Cfr. App. A1, Scheda 108.

117 Populous, *Sphere at The Venetian Resort*, Las Vegas 2023. Cfr. App. A1, Scheda 70.

118 E. Hu et al., *Meshy AI: Text-to-3D Generation Platform*, Technical Documentation, 2023. Cfr. App. A1, Scheda 32.

119 L. Lokko (a cura di), *The Laboratory of the Future. Catalogo della 18. Mostra Internazionale di Architettura*, Edizioni La Biennale di Venezia, Venezia 2023. Cfr. App. A1, Scheda 71.

internazionale verso il continente africano e la diaspora afrodiscendente. Lokko introduce il concetto di 'radicalismo tropicale' come categoria critica alternativa ai paradigmi eurocentrici dominanti, ponendo al centro del discorso architettonico questioni di decolonizzazione, giustizia climatica ed equità — temi che la cultura digitale *mainstream* aveva sistematicamente marginalizzato nel proprio entusiasmo per le possibilità tecnologiche.

È nella stessa stagione che si inaugurano i due eventi che, per la specifica prospettiva di questa ricerca, segnano il passaggio più decisivo del quinquennio: la prima *Metaverse Architecture Biennale* (MAB) e *The Architecture of Virtual Space* della *Unbuilt Gallery*. Entrambi, ciascuno a modo proprio, istituzionalizzano l'architettura virtuale come campo disciplinare autonomo, dotato di proprie sedi, proprie istituzioni e propri protocolli espositivi.

La *Metaverse Architecture Biennale*[120], inaugurata il 21 settembre 2023 con chiusura il 6 ottobre, è la prima biennale architettonica completamente virtuale della storia. Organizzata in modo collaborativo da tre entità — *Dearch Space* guidata da Sergey Nadtochiy, *W3rlds* guidata da Alex Smaga, e *Metancy* con Rick Metaverse e Irina Dubovik — la MAB adotta una struttura a tre poli che riflette la complessità istituzionale del progetto: non una singola istituzione con una sede fisica ma una rete di soggetti digitalmente distribuiti che convergono attorno a un tema curatoriale condiviso, *Presence of the Future*, declinato su due piattaforme ospitanti simultanee dotate di tecnologie radicalmente diverse. *Decentraland* (cfr. Scheda 96) offre il substrato *blockchain*-based con proprietà NFT del territorio e *governance* DAO; *W3rlds* offre un ambiente *game engine*-based con qualità visiva superiore e accessibilità via *browser*

120 *Metaverse Architecture Biennale, Presence of the Future*, Decentraland & W3rlds, 21 settembre - 6 ottobre 2023, sito ufficiale, https://metaversearchbiennale.com. Cfr. App. A1, Scheda 110.

senza requisiti tecnici specifici. Questa doppia piattaforma non è un compromesso logistico ma una scelta curatoriale: la coesistenza di due infrastrutture tecnologiche con filosofie diverse — la decentralizzazione e la proprietà distribuita di *Decentraland versus* la qualità esperienziale e l'accessibilità di W3*rlds* — rispecchia la tensione strutturale del campo dell'architettura virtuale nel 2023, in cui nessuna piattaforma singola offre simultaneamente tutte le qualità desiderabili.

Il tema *Presence of the Future* esplora come l'architettura possa reinventarsi nel dominio digitale liberandosi sistematicamente dai vincoli che la definiscono nel mondo fisico: gravità, materialità, statica strutturale, regolamentazioni urbane, vincoli *NIMBY* che nell'architettura fisica limitano l'innovazione formale e programmatica ben oltre quanto i vincoli tecnici da soli richiederebbero. Il *corpus* espositivo aggrega oltre sessanta padiglioni da studi internazionali di diversa scala e provenienza geografica: *HWKN* di New York, *Killa Design* di Dubai, *LAVA* (*Laboratory for Visionary Architecture*) di Berlino, *PLP Architecture* di Londra, *ATRIUM*, *SoomeenHahm Design*, *Spaces DAO*, *DA! Studio*, *IL PRISMA*, *SA lab*, *iheartblob*, *OBMI*, *Mariana Cabugueira Studios* e *ILLUSORR* compongono un panorama internazionale che testimonia la diffusione geografica della pratica. L'arco temporale di quarantatré anni che separa *La Presenza del Passato* (1980) da *Presence of the Future* (2023) non è una semplice progressione tecnologica ma una trasformazione profonda della natura stessa dell'architettura: nel 1980 Portoghesi interrogava il rapporto fra architettura e storia in un momento di crisi del Movimento Moderno; nel 2023 la MAB interroga il rapporto fra architettura e dominio digitale in un momento in cui il virtuale non è più un'estensione del fisico ma un territorio autonomo con proprie logiche, propri abitanti e proprie istituzioni culturali.

Parallelamente, *The Unbuilt Gallery* inaugura *The Architecture of Virtual Space*[121] con un *opening party* nel febbraio 2023 e un lancio pubblico nel giugno dello stesso anno, attraverso spazi espositivi virtuali immersivi *browser*-based. La *Unbuilt Gallery* nasce dalla consapevolezza che la tradizione dell'architettura non costruita — dai Progetti Russi degli anni Venti ai *Paper Architects* sovietici degli anni Ottanta, dai concorsi utopici di *Archigram* alle visioni radicali di *Superstudio* — ha sempre prodotto il proprio *corpus* più ricco e teoricamente avanzato nei formati che liberano il progetto dall'obbligo della realizzazione: il disegno, il *collage*, il manifesto. La piattaforma propone il museo virtuale interattivo come formato contemporaneo di questa tradizione, aggiornandola con le possibilità tecniche dei motori di gioco in tempo reale che permettono di abitare collettivamente gli spazi come *avatar*, esplorando architetture impossibili fisicamente ma fenomenologicamente complete.

I cinque progetti della mostra — ciascuno dei quali occupa un ambiente separato navigabile in prima persona attraverso *browser* senza installazione di *software* dedicato — interpretano il tema della meditazione spaziale con approcci formali radicalmente diversi: NO ARCHITECTURE esplora la riduzione come strumento meditativo, con spazi quasi privi di elementi; Ricardo Solar porta la propria ricerca sui paesaggi ibridi organico-digitali in un ambiente in cui il confine fra architettura e natura si dissolve; Saul Kim utilizza la geometria sacra — proporzioni della sezione aurea, simmetrie radiali delle architetture templari coreane — come base generativa; Forma Rosa Studio sviluppa uno spazio in cui la luce è l'unico materiale costruttivo, senza superfici fisiche che la supportino; W.A.K. Studio propone un'architettura della soglia, una sequenza di spazi che si

121 The Unbuilt Gallery, *The Architecture of Virtual Space*, 2023. Cfr. App. A1, Scheda 109.

trasformano gradualmente dal caotico al quieto. Il fatto che *The Unbuilt Gallery* si autodefinisca come 'galleria' e non come 'biennale' o 'museo' è significativo: la scelta lessicale rivendica un formato intermedio, meno solenne di una biennale ma più curato di una *community*, in cui l'architettura virtuale trova un proprio statuto espositivo specifico.

Insieme alla MAB, *The Unbuilt Gallery* costituisce nel 2023 la prima vera infrastruttura espositiva permanente dell'architettura virtuale: è il momento in cui la disciplina smette di essere ospite in piattaforme generaliste — *Decentraland*, *Fortnite*, *Second Life* — e inizia a costruirsi sedi proprie.

Il paesaggio del metaverso culturale si infittisce in quegli stessi mesi con *Mstylelab Metaverse*[122], ambiente cinese dedicato alla sperimentazione fra moda e architettura digitale, che attesta la diffusione globale della pratica ben oltre l'asse nordamericano-europeo che dominava il decennio precedente.

Nel 2024 Saul Kim prosegue la propria ricerca con *Flappy Box*[123], esperimento su piattaforma *Steam* che trasporta la logica del videogioco minimale in un contesto di architettura virtuale fruibile come prodotto di consumo — passaggio che prefigura possibili modelli di distribuzione dell'architettura digitale fuori dai circuiti istituzionali.

Il biennio conclusivo 2024-2025 porta ancora l'IA al centro della scena. Nel 2024 *Google DeepMind* rilascia *Gemini 1.5*[124], modello multimodale con capacità di elaborazione di contesti estremamente lunghi — fino a un milione di *token* — che apre applicazioni prima impossibili: analisi di interi progetti architettonici, comprensione di evoluzioni progettuali attraverso iterazioni multiple, sintesi di ricerche bibliografiche estese. Nel 2024 *Anthropic* rilascia *Claude*

---

122 *Mstylelab Metaverse*, 2023. Cfr. App. A1, Scheda 111.

123 S. Kim, *Flappy Box*, Steam, 2024. Cfr. App. A1, Scheda 112.

124 Google DeepMind, *Gemini 1.5 Technical Report*, 2024. Cfr. App. A1, Scheda 33.

3.5[125], e la caratteristica che lo distingue più marcatamente dai modelli concorrenti non è esclusivamente quantitativa — dimensione del modello, numero di parametri — ma qualitativa: la coerenza contestuale nelle interazioni estese, la capacità di seguire istruzioni complesse e *multi-step* senza derive, la tendenza a dichiarare esplicitamente incertezza piuttosto che a produrre *output* confidenti ma errati (le cosiddette 'allucinazioni' dei modelli linguistici).

Nel 2025, Carlo Ratti cura la 19ª Mostra Internazionale di Architettura con il tema *Intelligens. Natural. Artificial. Collective.*[126], primo curatore italiano della Biennale di Architettura dopo venticinque anni. Il titolo è un dispositivo semantico volutamente polivalente: richiama l'intelligenza in tutte le sue forme — naturale, artificiale, collettiva — e contiene al tempo stesso la radice latina di *gens*, comunità, persone. La mostra articola la propria riflessione attorno a tre declinazioni dell'intelligenza che corrispondono alle tre tensioni fondamentali del dibattito architettonico contemporaneo: la natura come sistema adattivo da cui apprendere, l'intelligenza artificiale come condizione operativa universale della pratica, l'intelligenza collettiva come antidoto alla concentrazione della produzione architettonica in sistemi proprietari.

La Biennale di Ratti chiude, e simultaneamente apre, il ciclo che questa ricerca traccia: quarantacinque anni separano *La Presenza del Passato* di Portoghesi (1980) da *Intelligens* di Carlo Ratti (2025), e il percorso fra i due estremi — passando per *Presence of the Future* in *Decentraland* — è esattamente quello che la Prima Parte di questa ricerca ha documentato.

---

125 Anthropic, *Claude 3.5 Sonnet Model Card*, anthropic.com, giugno 2024. Cfr. App. A1, Scheda 34. Per l'uso di *Claude* nei *workflow* della presente ricerca cfr. Cap. 3.1.3.

126 C. Ratti (a cura di), *Intelligens. Natural. Artificial. Collective. Catalogo della 19. Mostra Internazionale di Architettura*, Edizioni La Biennale di Venezia / Silvana Editoriale, Venezia 2025. Cfr. App. A1, Scheda 72.

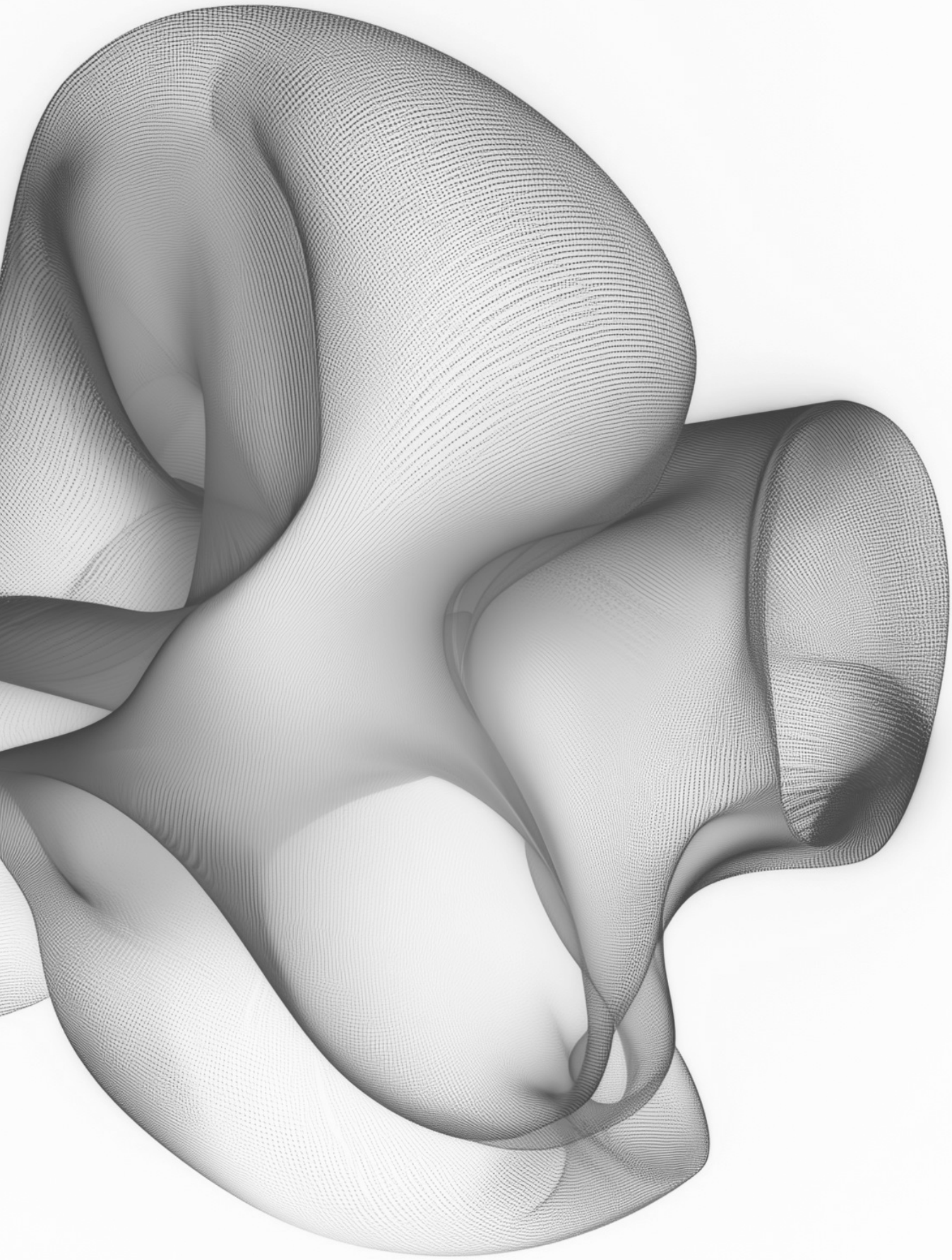


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

1.2 TECNOLOGIE, ESPERIENZA E RAPPRESENTAZIONE DELL''ABITARE VIRTUALE'

La genealogia critica ricostruita nella sezione precedente ha documentato, attraverso sei fasi storiche, corredate dalle 112 schede del catalogo (cfr. Appendice A1), la progressiva sedimentazione dell''abitare virtuale' come fenomeno tecnoculturale.

Quella ricognizione, tuttavia, ha volutamente privilegiato una lettura diacronica, restituendo protagonisti, opere e momenti-soglia lungo l'asse del tempo. Rimane ora il compito complementare: costruire l'apparato concettuale e tecnico che permette di leggere trasversalmente quel patrimonio, identificando le categorie, i principi compositivi e gli strumenti di modellazione che attraversano le sei fasi e che la Seconda Parte attiverà operativamente nel metaprogetto del [vIrtuAl museum].

È da questa esigenza che prende forma la presente sezione. Non si tratta, in altri termini, di aggiungere una seconda storia parallela a quella del 1.1, ma di estrarne le invarianti strutturali — le tecnologie immersive che mediano l'esperienza, le qualità fenomenologiche che la caratterizzano, gli elementi che compongono lo spazio virtuale, le metodologie di rappresentazione tridimensionale che lo generano — per disporre di un lessico operativo condiviso con cui affrontare la sperimentazione successiva.

Quattro sono i territori che compongono questo apparato.

Il primo (Cap. 1.2.1) è quello dell'Extended Reality, la famiglia di tecnologie che — dalla visione fondativa di Sutherland al *reality-virtuality continuum* di Milgram, fino ai visori contemporanei — costituisce l'infrastruttura sensoriale attraverso cui lo spazio virtuale diventa esperibile.

Il secondo (Cap. 1.2.2) affronta l'interattività e l'immersività, qualità distintive dell'esperienza digitale rispetto alla fruizione passiva di immagini e video: non attributi

tecnologici in sé, ma principi progettuali che orientano le scelte relative al controllo dell'utente, alla coerenza multisensoriale, al senso di presenza.

Il terzo (Cap. 1.2.3) compone la grammatica dello spazio virtuale, articolandone gli elementi costitutivi — ambienti tridimensionali, oggetti interattivi, avatar, illuminazione, audio spaziale, interfacce — e le categorie interpretative — presenza, navigabilità, dialettica realismo/astrazione, identità, narratività, modularità — che ne permettono l'analisi e la progettazione consapevole. Il quarto

(Cap. 1.2.4) è dedicato ai modelli e alle rappresentazioni 3D, distinguendo il paradigma della modellazione tradizionale poligonale e NURBS da quello computazionale parametrico e algoritmico, fino ai *workflow* ibridi che caratterizzano la pratica contemporanea e che prefigurano, in parte, il dispositivo integrato uomo-IA documentato nel Capitolo 3.

Ricordiamo che questi quattro territori non sono comparti separati ma dimensioni interconnesse dello stesso fenomeno: la tecnologia XR definisce i vincoli e le *affordance* dentro cui si progettano interattività e immersività; queste ultime impegnano gli elementi componenti nella loro orchestrazione espressiva; gli elementi, a loro volta, sono il prodotto di specifiche metodologie di modellazione, che ne determinano tanto la qualità formale quanto la manipolabilità parametrica. Leggere ciascun territorio isolatamente sarebbe una semplificazione riduttiva; trattarli in sequenza, come qui si propone, è una scelta espositiva che mira a restituire la complessità senza dissolverla nell'indistinto.

In continuità con la prospettiva assunta dalla ricerca, l'approccio a questi temi non sarà meramente tecnico né puramente teorico. La modellazione 3D, come ha osservato Maurizio Unali, non è soltanto procedura costruttiva ma «atto rappresentativo» che porta alla luce le informazioni

latenti nella struttura matematica della forma[1]; le tecnologie immersive non sono solo dispositivi hardware ma infrastrutture di senso; gli elementi componenti non sono mere entità geometriche ma operatori di significazione spaziale.
È in questo registro che la sezione intende muoversi, preparando il terreno alle sperimentazioni della Seconda Parte senza rinunciare alla distanza critica che ogni apparato concettuale rigoroso richiede.

1.2.1 Extended Reality: VR, AR, MR

Il termine *Extended Reality* (XR) definisce una categoria ombrello che raccoglie l'insieme delle tecnologie capaci di modificare, aumentare o sostituire integralmente la percezione dell'ambiente fisico mediante *layer* informativi digitali. Al suo interno convivono tre modalità principali — la *Virtual Reality* (VR), che sostituisce l'ambiente reale con uno artificiale; l'*Augmented Reality* (AR), che sovrappone elementi digitali al mondo fisico mantenendone la percezione diretta; la *Mixed Reality* (MR), che combina entrambe consentendo un'interazione reciproca fra oggetti reali e virtuali — che non costituiscono categorie rigidamente separate, ma posizioni lungo il *reality-virtuality continuum* teorizzato da Paul Milgram nel 1994[2]. Il continuum è il quadro di riferimento entro cui collocare la discussione che segue.
Prima di attraversarlo, vale la pena sgombrare il campo da un equivoco ricorrente nel discorso pubblico sul digitale. Il termine 'virtuale', nell'uso corrente, viene spesso assunto come sinonimo di irreale, fittizio, opposto al concreto; ma la sua etimologia racconta un significato diverso e più produttivo. Derivato dal latino *virtus* — forza, potenzialità, capacità di diventare — il virtuale non designa ciò che

1 M. Unali, *Virtuale: invariante storica del disegno di architettura*, in *Abitare Virtuale: Rappresentazioni*, Gangemi, Roma 2022, p. 17.

2 P. Milgram, F. Kishino, *A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays*, in «IEICE Transactions on Information and Systems», E77-D/12, 1994, pp. 1321–1329.

non è reale, ma ciò che è *potenziale*, che contiene in sé le possibilità della propria attualizzazione. Pierre Lévy, in un saggio divenuto riferimento canonico, definisce il virtuale come «vettore di apertura dei possibili», sistema complesso le cui trasformazioni potenziali sono più ricche di qualsiasi realizzazione particolare[3]. È una definizione che ribalta la dicotomia intuitiva fra 'reale' e 'virtuale' e che orienta l'intera discussione che segue: le tecnologie XR non producono simulacri di un reale altrove esistente, ma attualizzano spazi dotati di una propria consistenza fenomenologica, dentro un orizzonte di possibilità che la cultura architettonica è chiamata a esplorare criticamente. In questo senso, come è noto, il virtuale non si oppone al reale ma all'attuale: è una modalità dell'essere che precede ed eccede ogni sua specifica realizzazione.

La genealogia di queste tecnologie affonda le radici nelle sperimentazioni pionieristiche degli anni Sessanta. Nel 1965 Ivan Sutherland pubblica *The Ultimate Display*, manifesto teorico di un dispositivo capace di rendere indistinguibile l'esperienza virtuale da quella reale[4]; tre anni dopo, insieme a Bob Sproull, realizza il primo *head-mounted display* funzionante, noto come *Sword of Damocles* per il pesante sistema di sospensione meccanica che lo reggeva dal soffitto (cfr. App. A1, Scheda 8).

Da quel prototipo fondativo, l'evoluzione ha seguito traiettorie differenziate ma convergenti, attraversando le sperimentazioni militari e industriali degli anni Ottanta e Novanta — il *Virtual Environment Display System* del gruppo NASA coordinato da Scott Fisher (1986), le ricerche di Jaron Lanier sui guanti cablati, le prime applicazioni di realtà aumentata nel *manufacturing* identificate da Caudell e Mizell nel 1992 — fino alla diffusione *consumer* avviata nel 2012 con il progetto *Oculus Rift* di Palmer Luckey (cfr. App.

3 P. Lévy, *Il virtuale*, Raffaello Cortina, Milano 1997, p. 7.

4 I. E. Sutherland, *The Ultimate Display*, in *Proceedings of IFIP Congress*, 1965, pp. 506–508.

A1, Scheda 24), e proseguita con *HTC Vive*, *PlayStation VR*, *Oculus Quest*, *Meta Quest* e *Apple Vision Pro*.

La VR occupa, in questa trattazione, un rilievo particolare per la sua capacità di costruire spazialità autonome, regolate da logiche proprie e potenzialmente infinite nelle loro configurazioni. Un sistema VR contemporaneo si articola attorno a quattro componenti fondamentali: *display* stereoscopici ad alta risoluzione (oggi tipicamente 2K–4K per occhio a 90–120 Hz), sistemi di *tracking* inside-out od outside-in che rilevano con precisione millimetrica i movimenti dell'utente, motori di *rendering* in grado di generare coppie di immagini a frame rate elevati attraverso tecniche di ottimizzazione come il *foveated rendering*, e audio spaziale basato su *Head-Related Transfer Functions* (HRTF) che fornisce indizi acustici direzionali coerenti con la scena visiva[5]. L'orizzonte qualitativo di un sistema VR, secondo la definizione oggi canonica di Mel Slater, è la *presenza*, ovvero «l'illusione percettiva di essere in un luogo diverso da quello in cui ci si trova fisicamente»[6]: una condizione che emerge dall'integrazione coerente di fedeltà sensoriale, naturalezza dell'interazione, plausibilità della simulazione fisica e coinvolgimento esperienziale.

Le modalità di interazione con gli ambienti VR si sono progressivamente evolute da interfacce basate su *controller* con pulsanti verso sistemi sempre più naturali: i *controller* motion-tracked contemporanei (*Oculus Touch*, *Valve Index Controllers*) permettono manipolazioni gestuali dirette con *feedback* aptico, mentre i sistemi di *hand tracking* basati su computer vision — integrati in *Quest Pro* e *Vision Pro* — consentono l'interazione a mani libere.

La *locomotion*, ovvero il movimento all'interno dello spazio

---

5 Cfr. J. Jerald, *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*, Morgan & Claypool, San Rafael 2015, pp. 45–112.

6 M. Slater, S. Wilbur, *A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments*, in «Presence: Teleoperators and Virtual Environments», 6/6, 1997, pp. 603–616.

virtuale, costituisce una delle sfide progettuali più complesse del medium: il *teleporting* riduce il *motion sickness* ma compromette la continuità spaziale; la camminata simulata via *joystick* produce dissonanza sensoriale; approcci più sofisticati come *arm swinging*, *redirected walking* o *treadmill* omnidirezionali cercano compromessi fra naturalezza, praticità e accessibilità[7]. Le implementazioni più sofisticate supportano il *room-scale* VR, in cui l'utente si muove fisicamente in uno spazio delimitato mappato sull'ambiente virtuale, eliminando la necessità di meccanismi artificiali di locomozione — una delle principali cause del *cybersickness*, lo stato di malessere indotto dal conflitto fra input visivi e segnali vestibolari.

Non a caso, è proprio nella VR che la cultura architettonica ha trovato uno dei territori più fertili di sperimentazione radicale. Se Toyo Ito, negli anni Ottanta, con la *Torre dei Venti* (1986) e l'*Uovo dei Venti* (1989), anticipava la tematica della doppia corporeità del 'corpo reale' e del 'corpo virtuale connesso dal flusso degli elettroni'[8], è con Marcos Novak che lo spazio virtuale viene esplicitamente concepito come campo architettonico autonomo: nel saggio *Liquid Architectures in Cyberspace* (1991) Novak teorizza «architetture che respirano, pulsano, modificano la loro forma e caratteristiche in risposta alle correnti di informazione che le attraversano»[9], smaterializzate, relazionali, tendenti alla condizione musicale. Su posizioni affini si muove il lavoro di Peter Eisenman, che legge il virtuale come «presente ancora assente nell'ambiente fisico», energia potenziale svincolata da ogni costrizione

---

7 Cfr. E. Langbehn, F. Steinicke, *Redirected Walking in Virtual Reality*, In Lee N. (Ed.), Encyclopedia of computer graphics and games. Springer 2018

8 T. Ito, *Tarzans in the Media Forest*, in «2G», n. 2, 1997, trad. it. *Tarzan nella giungla dei media*, in «Domus», n. 835, marzo 2001, p. 36, cit. in M. Unali, *Reale e Virtuale*, Gangemi, Roma 2008, p. 29. Cfr. App. A1, Scheda 47.

9 M. Novak, *Liquid Architectures in Cyberspace*, in M. Benedikt (a cura di), *Cyberspace: First Steps*, MIT Press, Cambridge 1991, p. 226. Cfr. App. A1, Scheda 74.

materica[10]. In tutti questi casi, la potenzialità léviana trova una sua forma operativa nell'architettura: l'ambiente virtuale non come copia di un reale esterno ma come attualizzazione, sempre parziale, di uno spazio di possibilità.

L'AR si configura, rispetto alla VR, come tecnologia di amplificazione piuttosto che di sostituzione. Mantiene il legame con il mondo fisico che la VR dissolve, ma lo arricchisce di strati informativi e interpretativi che ne moltiplicano la leggibilità. Il lavoro fondativo di Ronald Azuma ha identificato nel 1997 i tre requisiti costitutivi di un sistema AR — combinazione di reale e virtuale, interattività in tempo reale, registrazione tridimensionale accurata[11] — definizione tuttora valida e ripresa in tutta la letteratura successiva. Dal punto di vista applicativo, l'AR trova nella museografia contemporanea uno dei suoi campi più promettenti: progetti come l'AR *Museo Egizio* di Torino (2019–2021) o le esperienze di *Acute Art* alla Serpentine Gallery dimostrano come la tecnologia possa trasformare la visita a collezioni fisiche senza sostituirla, permettendo di osservare un reperto archeologico frammentario e vederne simultaneamente la ricostruzione ipotetica sovrapposta, o di attivare *layer* che evidenziano pentimenti e tecniche pittoriche nascoste sotto la superficie di un dipinto. È proprio in questa logica di ibridazione — né sostituzione né separazione, ma dialogo continuo fra fisico e digitale — che l'AR trova la propria identità disciplinare e le proprie possibilità più feconde per l'architettura e per la museografia.

La MR, nella tassonomia originaria di Milgram, indicava l'intero territorio intermedio del continuum. Nell'uso corrente ha assunto un significato più ristretto: designa oggi quella porzione dello spettro in cui la distinzione fra elementi reali e virtuali si fa particolarmente sfumata,

10 L. Galofaro, *Eisenman digitale*, Testo & Immagine, Torino 1999, pp. 40–41. Cfr. App. A1, Scheda 82.

11 R. Azuma, *A Survey of Augmented Reality*, in «Presence: Teleoperators and Virtual Environments», 6/4, 1997, pp. 355–385.

poiché gli oggetti digitali non sono soltanto sovrapposti al reale (come in AR) ma ne acquisiscono consapevolezza e vi reagiscono bidirezionalmente. Un modello 3D virtuale, in MR, può essere appoggiato su un tavolo reale, spinto con la mano, rotolare fino al bordo e arrestarsi prima di cadere, riconoscendo la geometria fisica rilevata. Questa definizione più puntuale emerge con chiarezza dal lavoro di Microsoft con *HoloLens* (2016), che ha introdotto il concetto di *holograms* come oggetti digitali tridimensionali ancorati a coordinate spaziali persistenti anche quando l'utente si allontana e ritorna. Le capacità tecnologiche richieste da questa modalità — *spatial mapping* dettagliato dell'ambiente, comprensione semantica delle superfici (riconoscere un piano orizzontale come tavolo, uno verticale come parete), simulazione fisica plausibile, tracking sub-millimetrico per garantire la persistenza spaziale — ne fanno la frontiera tecnicamente più avanzata del continuum XR. *Apple Vision Pro* (2023) rappresenta oggi l'evoluzione più matura di questa traiettoria, introducendo il concetto di *spatial computing* come paradigma operativo che supera la distinzione fra dispositivo immersivo e ambiente di lavoro: non più un visore che isola o un display che aumenta, ma un sistema in cui contenuti digitali e ambiente fisico si integrano in un unico campo percettivo continuo[12].

Un confronto sintetico fra le tre modalità ne evidenzia le vocazioni distinte. La VR massimizza l'immersione isolando completamente l'utente dal mondo esterno, ed è ottimale per esperienze che richiedono una presenza totale in un ambiente alternativo: musei virtuali, ricostruzioni storiche complete, *training* in scenari non replicabili fisicamente. AR e MR, viceversa, preservano la connessione con il contesto reale privilegiando l'*augmentation* sulla sostituzione, e si rivelano ideali per applicazioni che richiedono un'interazione

12 Apple Inc., *Apple Vision Pro: Spatial Computing*, press release, Cupertino 2023.

continua con l'ambiente fisico: manutenzione assistita, navigazione aumentata, visualizzazione progettuale contestuale. La VR tende a essere più confortevole in sessioni prolungate ma richiede spazi dedicati e comporta isolamento sociale; AR e MR consentono mobilità e consapevolezza ambientale, ma pongono sfide di usabilità in contesti variabili.

Nel quadro della presente ricerca, la VR costituisce il medium privilegiato per il metaprogetto del [vIrtuAl museum], in quanto consente di progettare spazialità architettoniche autonome liberate dai vincoli della fisicità e potenziate dall'integrazione con l'intelligenza artificiale generativa; AR e MR, complementari più che alternative, aprono scenari di arricchimento della fruizione museale fisica che il capitolo conclusivo riprenderà come prospettiva di sviluppo (cfr. Cap. 3 e Cap. 4).

1.2.2 Interattività e immersività

Se la sezione precedente ha documentato l'infrastruttura tecnologica entro cui lo spazio virtuale diventa esperibile, è ora necessario interrogare le qualità che distinguono quella esperienza dalla semplice fruizione di immagini o video. Due sono i principi cardine che la cultura del progetto digitale ha progressivamente identificato come costitutivi dell"abitare virtuale': l'*immersività*, ovvero la capacità di un sistema di avvolgere sensorialmente e cognitivamente l'utente attenuando la percezione del mondo fisico circostante; e l'*interattività*, ovvero la possibilità di partecipare attivamente alla costruzione dell'esperienza attraverso scelte, gesti, manipolazioni che modificano lo stato del sistema. Non si tratta di attributi tecnologici in sé, ma di principi progettuali che orientano le scelte relative alla coerenza multisensoriale, al controllo dell'utente, alla qualità del dialogo fra persona e ambiente digitale. Comprenderne la distinzione concettuale e la sinergia operativa è condizione preliminare a qualsiasi

progettazione consapevole di spazialità virtuali. L'ordine espositivo adottato — dall'immersività all'interattività — non è casuale: rispecchia la progressione logica dalla proprietà oggettiva del sistema alla risposta soggettiva dell'utente, e permette di chiarire una distinzione concettuale fondamentale che altrimenti rischia di rimanere implicita.

Mel Slater e Sylvia Wilbur, in un saggio divenuto riferimento canonico della disciplina, hanno operato la distinzione decisiva fra *immersività* e *presenza*: la prima designa le caratteristiche oggettive del sistema tecnologico — risoluzione dei display, accuratezza del *tracking*, qualità dell'audio spaziale, ampiezza del campo visivo — mentre la seconda indica la risposta soggettiva dell'utente, quell'«illusione percettiva di essere in un luogo diverso da quello in cui ci si trova fisicamente»[13] già richiamata nella sezione precedente.

È una distinzione produttiva: un sistema può offrire immersività tecnica elevata e tuttavia fallire nel generare presenza, se presenta incoerenze percettive o rotture dell'illusione; viceversa, anche sistemi tecnicamente limitati possono indurre una forte sensazione di presenza, se progettati con attenzione alla coerenza esperienziale e al coinvolgimento emotivo. La presenza, in altri termini, non è una proprietà intrinseca del dispositivo ma emerge dall'interazione fra caratteristiche del sistema, qualità dell'ambiente virtuale e disposizioni cognitive dell'utente.

Tre sono i principi che la ricerca sulle *immersive virtual environments* ha progressivamente consolidato come fondamento dell'esperienza immersiva.

Il primo è il *realismo sensoriale*, inteso non necessariamente come fotorealismo ma come coerenza e completezza degli stimoli percettivi: Bob Witmer e Michael Singer hanno

13 M. Slater, S. Wilbur, *A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments*, in «Presence: Teleoperators and Virtual Environments», 6/6, 1997, pp. 603–616.

dimostrato come ambienti visivamente credibili, che rispettino le leggi della prospettiva, dell'illuminazione e dell'occlusione, generino livelli di presenza significativamente più elevati rispetto ad ambienti graficamente incoerenti[14].

Il secondo è la *coerenza multisensoriale*: Jonathan Steuer ha sottolineato come la sincronizzazione fra canali sensoriali diversi sia cruciale per mantenere l'illusione della presenza[15], poiché discordanze anche minime generano quel 'conflitto sensoriale' che può compromettere l'esperienza e, nei casi più gravi, indurre *motion sickness* o disorientamento. Il terzo è il *controllo dello spazio virtuale*: Chris Dede ha evidenziato come la possibilità di muoversi autonomamente nello spazio, di scegliere dove dirigere l'attenzione e di modificare la propria prospettiva sia fondamentale per la generazione del senso di presenza[16]. Questi tre principi non sono separabili nella pratica progettuale: operano in sinergia, e il venire meno di uno compromette l'efficacia degli altri.

Sul piano delle tecniche operative, l'immersività trova la sua realizzazione più compiuta nelle tecnologie VR trattate nella sezione precedente.

L'audio spaziale tridimensionale, in particolare, costituisce una componente spesso sottovalutata ma essenziale: Jens Blauert ha dimostrato come un sistema acustico accurato contribuisca significativamente al senso di presenza e faciliti l'orientamento spaziale, fornendo indizi direzionali coerenti con la scena visiva[17].

Il *feedback* aptico introduce la dimensione tattile nell'esperienza immersiva, permettendo di percepire resistenze, *texture* e vibrazioni quando si interagisce con

---

14 B. G. Witmer, M. J. Singer, *Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire*, in «Presence: Teleoperators and Virtual Environments», 7/3, 1998, pp. 225–240.

15 J. Steuer, *Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence*, in «Journal of Communication», 42/4, 1992, pp. 73–93.

16 C. Dede, *Immersive Interfaces for Engagement and Learning*, in «Science», 323/5910, 2009, pp. 66–69.

17 J. Blauert, *Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization*, MIT Press, Cambridge 1997.

oggetti virtuali e amplificando così il senso di materialità e presenza fisica[18].

Infine, la simulazione fisica avanzata contribuisce all'immersività attraverso la coerenza comportamentale del mondo virtuale: i motori fisici contemporanei integrati in *Unity*, *Unreal Engine* e piattaforme analoghe simulano dinamiche dei corpi rigidi, *soft body*, fluidi e tessuti con gradi crescenti di complessità, e anche in contesti stilizzati o fantastici una fisica interna coerente aiuta l'utente a costruire modelli mentali predittivi del comportamento del mondo virtuale, precondizione di quella familiarizzazione che trasforma lo spazio digitale in ambiente abitabile.

Se l'immersività descrive la qualità dell'avvolgimento sensoriale, l'interattività descrive la qualità della partecipazione attiva. Sherry Turkle ha osservato come l'introduzione di sistemi interattivi abbia trasformato radicalmente il rapporto fra soggetto umano e tecnologia digitale, passando dalla relazione contemplativa tipica dei media tradizionali — cinema, televisione, fotografia — a una relazione dialogica in cui l'utente diventa co-autore dell'esperienza.

Jonathan Steuer, nella già citata riflessione sulle dimensioni della telepresenza, ha identificato tre variabili chiave che definiscono il grado di interattività di un sistema: la *velocità*, ovvero la reattività temporale del sistema agli input dell'utente; la *portata*, ovvero il numero di parametri modificabili; il *mapping*, ovvero il grado di naturalezza della corrispondenza fra azione dell'utente e risposta del sistema[19].

Queste tre variabili, mutuate dai *game studies* ma estensibili a qualsiasi ambiente digitale, permettono di distinguere fra interattività superficiale — reazioni predefinite a

18 V. Hayward, K. E. MacLean, *Do It Yourself Haptics: Part I*, in «IEEE Robotics & Automation Magazine», 14/4, 2007, pp. 88–104.

19 J. Steuer, *Defining Virtual Reality*, cit., pp. 80–84.

input predeterminati — e interattività profonda, in cui il sistema genera risposte contestualizzate, adatta il proprio comportamento nel tempo, riconosce pattern nelle azioni dell'utente.

Le modalità concrete dell'interattività si sono progressivamente evolute dalla relazione indiretta mediata da *mouse* e tastiera — paradigma fondativo dell'informatica personale teorizzato negli anni Ottanta da Douglas Engelbart e Alan Kay — verso interfacce progressivamente più naturali. Jakob Nielsen, nei suoi studi sull'usabilità, ha dimostrato come la progettazione di interfacce interattive debba bilanciare feedback immediato, apprendibilità e controllo percepito dall'utente, evitando la frustrazione che deriva da sistemi opachi o lenti nel rispondere[20].

Oggi il ventaglio tecnologico disponibile comprende interazione gestuale diretta attraverso *controller* motion-tracked o *hand tracking*, riconoscimento vocale via modelli linguistici di grandi dimensioni, interfacce cerebrali sperimentali.

L'integrazione di *machine learning* e intelligenza artificiale sta inaugurando una nuova generazione di sistemi capaci di apprendere dalle interazioni e di adattare dinamicamente il proprio comportamento: l'interattività, da schema stimolo-risposta predefinito, si trasforma progressivamente in dialogo emergente in cui il sistema co-evolve con l'utente.

Un aspetto specifico dell'interattività negli ambienti digitali merita attenzione particolare: il concetto di *remediation* elaborato da Jay David Bolter e Richard Grusin. I due autori hanno descritto il modo in cui i media digitali oscillano fra due poli apparentemente opposti ma strettamente connessi: la *trasparenza*, ovvero l'illusione di un accesso diretto al contenuto attraverso il quale la mediazione tecnologica si fa invisibile; e l'*ipermediazione*, ovvero l'enfatizzazione

20 J. Nielsen, *Usability Engineering*, Academic Press, Cambridge 1993, pp. 26–37.

dichiarata della mediazione stessa, che rende visibile l'interfaccia come strato significante[21]. Entrambe le strategie, nella pratica progettuale, possono generare esperienze interattive efficaci, e la scelta fra l'una e l'altra non è estetica ma strategica: un ambiente di *training* privilegerà la trasparenza per facilitare il transfer delle competenze al mondo reale, mentre un'installazione artistica potrà privilegiare l'ipermediazione per interrogare criticamente il dispositivo stesso. Le interfacce multimodali — che combinano simultaneamente input tattili, vocali, gestuali e visivi — rappresentano oggi l'evoluzione più avanzata di questo paradigma, e le ricerche sull'apprendimento multimediale condotte da Richard Mayer hanno dimostrato come l'integrazione coordinata di stimoli provenienti da canali sensoriali diversi migliori significativamente la percezione, la comprensione e la memorizzazione delle informazioni[22].

Immersività e interattività, pur distinguibili concettualmente, operano nella pratica progettuale in stretta sinergia. Hunter Hoffman e colleghi hanno dimostrato attraverso studi empirici come esperienze che combinano elevata immersione e ricca interattività generino livelli di coinvolgimento e presenza significativamente superiori rispetto a esperienze che privilegiano una sola dimensione[23]. Un ambiente immersivo ma non interattivo produce ammirazione estetica o interesse intellettuale, ma tende a relegare l'utente nella posizione dello spettatore; un'interfaccia altamente interattiva in un contesto scarsamente immersivo risulta funzionale ma fallisce nel generare coinvolgimento emotivo e senso di presenza. La progettazione ottimale richiede pertanto un approccio olistico, che consideri come le scelte relative

---

21 J. D. Bolter, R. Grusin, *Remediation: Understanding New Media*, MIT Press, Cambridge 1999, pp. 21–50.

22 R. E. Mayer, *Multimedia Learning*, Cambridge University Press, Cambridge 2001, pp. 63–90.

23 H. G. Hoffman et al., *Effectiveness of Virtual Reality for Pediatric Pain Distraction during IV Placement*, in «CyberPsychology & Behavior», 4/6, 2001, pp. 633–638.

all'interattività influenzino l'immersività e viceversa: un sistema di controllo poco intuitivo può compromettere l'immersione costringendo l'utente a concentrarsi sull'interfaccia; *feedback* sensoriali incoerenti rendono frustrante anche un sistema tecnicamente interattivo.
La convergenza progressiva fra realtà virtuale, intelligenza artificiale e interfacce naturali sta aprendo possibilità inedite per esperienze che integrano profondamente queste due dimensioni, avvicinandosi all'obiettivo del *reality engine* prefigurato da Sutherland nel 1965: sistemi capaci di generare mondi virtuali indistinguibili, sul piano esperienziale, da quelli fisici. È la realizzazione tecnica di ciò che Tomás Maldonado, già nel 1992, auspicava come possibilità delle tecnologie digitali: non «una *fuga mundi* ma una *creatio mundi*»[24], ovvero ambienti capaci di ampliare genuinamente l'esperienza umana piuttosto che sostituirla con simulacri del reale.
La sfida progettuale che attende l'architetto contemporaneo non è dunque quella di scegliere fra immersività e interattività, ma di orchestrarle in un equilibrio che valorizzi le specificità di entrambe, riconoscendo che la qualità di uno spazio virtuale non si misura su nessuna singola dimensione isolata ma sulla loro integrazione coerente.

1.2.3 Elementi componenti e categorie interpretative

La progettazione di uno spazio virtuale coerente e abitabile richiede una comprensione articolata tanto degli elementi tecnici che ne costituiscono materialmente l'ambiente digitale, quanto delle categorie concettuali attraverso cui gli utenti ne percepiscono, navigano e attribuiscono significato.
La sezione precedente ha esaminato i due principi cardine dell'esperienza virtuale — immersività e interattività — come qualità trasversali che orientano il progetto nel suo

24 T. Maldonado, *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano 1992, p. 78.

insieme. Rimane ora il compito di scendere dal piano dei principi a quello delle loro condizioni di possibilità: da un lato i componenti concreti dello spazio virtuale, dall'altro i filtri interpretativi che permettono di analizzarlo e valutarlo progettualmente. La presente sezione affronta entrambi i livelli nel loro ordine logico, procedendo dagli elementi costitutivi alle categorie di lettura, secondo la medesima progressione dal materiale al concettuale che ha strutturato la sottosezione precedente.

L'ambiente tridimensionale costituisce il substrato fondamentale dell'esperienza virtuale, la struttura portante all'interno della quale si dispiegano tutte le successive interazioni. Comprende le architetture, i paesaggi e gli elementi decorativi che definiscono la scena, realizzati attraverso processi di modellazione geometrica e *texturing* che possono oscillare fra rese fotorealistiche e stilizzazioni espressive — le due opposte tendenze che Jay David Bolter e Richard Grusin hanno sintetizzato nel concetto di *remediation*, già introdotto nella sezione precedente. Come ha evidenziato Yehuda Kalay nella sua analisi della rappresentazione architettonica negli spazi digitali, la percezione degli utenti è influenzata non soltanto dalla geometria in sé, ma dalla disposizione reciproca degli elementi, dalla loro scala relativa e dalle relazioni topologiche che instaurano[25]: la 'rappresentazione architettonica' nel virtuale diventa un processo complesso che trascende la mera riproduzione di forme per abbracciare la costruzione di relazioni spaziali significanti. È il principio che Marcos Novak aveva condensato nell'idea di «architecture of relations», architettura non come forma ma come sistema di relazioni mutevoli fra elementi[26].

All'interno di questi ambienti, gli oggetti interattivi

25 Y. E. Kalay, *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*, MIT Press, Cambridge 2004, pp. 112–130.

26 M. Novak, *Liquid Architectures in Cyberspace*, in M. Benedikt (a cura di), *Cyberspace: First Steps*, MIT Press, Cambridge 1991, p. 230. Cfr. App. A1, Scheda 74.

introducono la dimensione operativa dell'esperienza. Si tratta di elementi con cui l'utente può stabilire un dialogo attivo: porte che si aprono al passaggio, interruttori che attivano meccanismi, strumenti che possono essere raccolti e utilizzati.

L'interattività di questi oggetti viene implementata attraverso linguaggi di programmazione specifici — C# per *Unity*, *Blueprint* o C++ per *Unreal Engine* — che definiscono le risposte del sistema agli *input* dell'utente o a eventi contestuali. La progettazione di interazioni avanzate richiede oggi una comprensione sofisticata delle *affordance* percettive, ovvero di quegli indizi visivi e funzionali che comunicano all'utente le possibilità di azione offerte da ciascun oggetto: un concetto — introdotto da James J. Gibson in *The Ecological Approach to Visual Perception* (1979) e applicato al design da Donald Norman in *The Design of Everyday Things* (1988) — che nell'architettura virtuale assume un ruolo particolarmente rilevante, poiché le *affordance* tecnologiche definiscono quali spazialità e quali interazioni siano effettivamente possibili in funzione delle specifiche del dispositivo impiegato[27].

La presenza dell'utente nello spazio virtuale è mediata dall'avatar, rappresentazione digitale del sé che può assumere forme diverse, da semplici icone bidimensionali a modelli tridimensionali complessi dotati di animazioni realistiche.

L'avatar non è un mero veicolo di navigazione ma costituisce l'ancoraggio identitario dell'utente nell'ambiente digitale. Ralph Schroeder ha approfondito questa dimensione sottolineando come l'avatar sia fondamentale per la costruzione della 'presenza sociale', ovvero la percezione di condividere lo spazio con altri soggetti, umani o artificiali che

27 J. J. Gibson, *The Ecological Approach to Visual Perception*, Houghton Mifflin, Boston 1979, pp. 127–143; D. A. Norman, *The Design of Everyday Things*, Basic Books, New York 1988, pp. 9–13.

siano[28]. La progettazione dell'avatar implica scelte estetiche, funzionali e comunicative: il grado di personalizzazione offerto all'utente, le modalità di movimento e gestualità, la capacità di esprimere emozioni. In contesti collaborativi o multi-utente, l'avatar diventa il veicolo primario di comunicazione non verbale e di costruzione dell'identità digitale, il 'corpo virtuale connesso al mondo dal flusso degli elettroni' già teorizzato da Toyo Ito e richiamato nella sezione precedente.

L'illuminazione nello spazio virtuale assolve una funzione che trascende quella puramente funzionale della visibilità: modella la percezione dello spazio, definisce atmosfere, guida l'attenzione del fruitore, struttura narrazioni visive.

I sistemi di *rendering* contemporanei distinguono tra *ray tracing*, che simula fisicamente il percorso dei raggi luminosi producendo risultati fotorealistici ma con elevato costo computazionale, e *rasterization* ottimizzata con tecniche di *global illumination* approssimate che bilanciano qualità visiva e velocità di calcolo[29]. Il *Physically Based Rendering* (PBR), oggi standard *de facto* nei motori grafici real-time, simula il comportamento della luce sui materiali attraverso parametri fisicamente coerenti — *metallic*, *roughness*, *normal*, *emissive* — garantendo un controllo sofisticato sull'aspetto delle superfici e una portabilità coerente fra contesti diversi.

In parallelo, l'audio spaziale tridimensionale — già discusso nella sezione precedente in relazione all'immersività — costituisce una componente essenziale dell'esperienza, fornendo indizi direzionali coerenti con la scena visiva e contribuendo significativamente all'orientamento e al senso di presenza. Le interfacce utente, infine, mediano la

28 R. Schroeder, *The Social Life of Avatars: Presence and Interaction in Shared Virtual Environments*, Springer, London 2002, pp. 1–18.

29 Cfr. M. Pharr, W. Jakob, G. Humphreys, *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*, Morgan Kaufmann, Cambridge 2016, pp. 1–30; S. Lagarde, C. de Rousiers, *Moving Frostbite to Physically Based Rendering 3.0*, in *Proceedings of SIGGRAPH 2014*.

relazione fra persona e ambiente virtuale. Si distinguono tipicamente in *diegetiche* — integrate nella finzione dello spazio virtuale, come monitor interni a una scena, schermi olografici visibili all'interno del mondo rappresentato — e *non diegetiche* — sovrapposte alla scena come HUD (*Head-Up Display*) o menu flottanti.

La scelta fra le due tipologie non è estetica ma funzionale: le interfacce diegetiche preservano l'immersione ma possono compromettere la leggibilità informativa; le interfacce non diegetiche garantiscono chiarezza comunicativa ma rompono l'illusione spaziale. Le soluzioni più mature — e più pertinenti alla progettazione del museo virtuale — ricorrono spesso a strategie ibride, alternando dinamicamente le due modalità in funzione del contesto d'uso.

Se gli elementi descritti finora costituiscono la materia dello spazio virtuale, le categorie interpretative che seguono costituiscono gli strumenti concettuali attraverso cui questa materia può essere analizzata, valutata, progettata. La prima di queste categorie è la *navigabilità*, ovvero la facilità con cui l'utente riesce a muoversi nello spazio virtuale, a comprendere la propria posizione relativa e a costruire mappe mentali dell'ambiente.

I concetti di *wayfinding* e *spatial cognition*, derivati dagli studi di James Gibson sull'ecologia della percezione visiva[30], descrivono i processi attraverso cui gli individui navigano e si orientano negli ambienti: la progettazione della navigabilità implica l'uso strategico di *landmark* visivi, di sistemi di segnaletica diegetica, di mappe consultabili e della chiarezza delle gerarchie spaziali. Paradossalmente, spazi virtuali eccessivamente complessi o privi di riferimenti distintivi possono generare disorientamento e frustrazione, vanificando l'immersività proprio nel tentativo di amplificarla.

Una seconda categoria interpretativa riguarda la dialettica

30 J. J. Gibson, *The Ecological Approach to Visual Perception*, cit., pp. 127–143.

fra *realismo* e *astrazione*, che attraversa tutta la storia della rappresentazione digitale. Gli ambienti virtuali possono oscillare su un continuum che va dal fotorealismo più spinto fino all'astrazione stilizzata che privilegia soluzioni estetiche non mimetiche.

La scelta fra i due poli non è puramente estetica ma funzionale e comunicativa: il realismo può facilitare il transfer di conoscenze dal mondo fisico al virtuale e rafforzare il senso di presenza, ma esige risorse computazionali elevate ed espone al rischio del cosiddetto *uncanny valley* — quella zona di disagio percettivo, identificata da Masahiro Mori nel 1970[31], che si verifica quando una rappresentazione è quasi-ma-non-del-tutto realistica, generando estraneità invece che familiarità; l'astrazione, viceversa, può ridurre il carico computazionale, enfatizzare aspetti simbolici, aprire spazi espressivi che il realismo preclude, al prezzo di una minore trasparenza referenziale. È una scelta che ogni progetto deve calibrare rispetto ai propri obiettivi, e che per il museo virtuale assume rilievo particolare: la rappresentazione del patrimonio intangibile non impone necessariamente la fedeltà mimetica, e anzi può trovare nell'astrazione controllata una modalità più rispettosa della natura non-oggettuale del suo contenuto.

La dimensione dell'*identità* e del *ruolo* introduce considerazioni sociali e psicologiche nella progettazione dello spazio virtuale. Mark Stephen Meadows ha approfondito le conseguenze culturali e psicologiche dell'avatar come 'secondo sé', evidenziando come la costruzione di identità digitali influenzi le modalità di interazione sociale, i comportamenti assunti, persino la percezione di sé[32].

Negli ambienti multi-utente, l'identità digitale diventa veicolo primario di presentazione sociale e può divergere

---

31 M. Mori, *The Uncanny Valley*, in «Energy», 7/4, 1970, pp. 33–35, trad. ingl. in «IEEE Robotics & Automation Magazine», 19/2, 2012, pp. 98–100.

32 M. S. Meadows, *I, Avatar: The Culture and Consequences of Having a Second Life*, New Riders, Berkeley 2008, pp. 33–60.

significativamente da quella fisica, permettendo sperimentazioni e forme di espressione altrimenti difficili nel mondo materiale. Questa plasticità identitaria, che la ricerca contemporanea sugli ambienti immersivi esplora con crescente attenzione, apre questioni progettuali concrete: quanta personalizzazione offrire, quali vincoli imporre, come bilanciare libertà espressiva e coerenza ambientale.

La *narrativa* e la *temporalità* costituiscono una quinta categoria interpretativa. Gli spazi virtuali possono raccontare storie attraverso la disposizione di indizi ambientali, eventi che si dipanano nel tempo, personaggi non giocanti con cui interagire. Michael Mateas e Andrew Stern hanno esplorato le potenzialità della narrativa interattiva come strumento di coinvolgimento emotivo e cognitivo[33], dimostrando come la possibilità di influenzare lo sviluppo narrativo amplifichi l'investimento dell'utente. Questa categoria è particolarmente rilevante per il museo virtuale, dove la disposizione spaziale delle opere non è mai neutra ma costituisce sempre una forma di racconto curatoriale, esplicito o implicito che sia.

Infine, la *scalabilità* e la *modularità* rappresentano categorie cruciali per ambienti virtuali destinati a evolversi nel tempo. La capacità di espandere lo spazio, di aggiungere nuove aree, di modificare configurazioni esistenti senza compromettere la coerenza complessiva costituisce una proprietà progettuale fondamentale. William Mitchell ha sottolineato l'importanza della modularità nei progetti digitali che devono adattarsi all'evoluzione delle esigenze o alla crescita della comunità di utenti[34]: essa implica l'adozione di architetture *software* flessibili, la standardizzazione di interfacce fra componenti, la previsione di meccanismi di caricamento dinamico dei contenuti. Per il [vIrtuAl museum], la modularità è

33 M. Mateas, A. Stern, *Façade: An Experiment in Building a Fully-Realized Interactive Drama*, in *Proceedings of the Game Developers Conference*, San Jose 2003.

34 W. J. Mitchell, *City of Bits: Space, Place, and the Infobahn*, MIT Press, Cambridge 1995, pp. 85–100. Cfr. App. A1, Scheda 50.

condizione per la sua capacità di accogliere nel tempo nuove opere, nuove sperimentazioni, nuove modalità di fruizione senza richiedere una riprogettazione integrale.
Le sei categorie così identificate — navigabilità, dialettica realismo/astrazione, identità, narratività, modularità, cui si aggiungono immersività e interattività trattate nella sottosezione precedente — non sono parametri indipendenti ma dimensioni interconnesse: la qualità di uno spazio virtuale non si valuta su nessuna singola dimensione ma sulla loro orchestrazione coerente. Una navigabilità chiara ma un'identità debole generano spazi efficienti ma impersonali; un realismo spinto ma una modularità rigida producono ambienti impressionanti ma cristallizzati; una narratività ricca ma un'interattività povera relegano l'utente a spettatore di una storia altrui. La progettazione consapevole consiste precisamente nel calibrare reciprocamente queste dimensioni rispetto agli obiettivi specifici del progetto, riconoscendo che ogni scelta su una categoria ha conseguenze sulle altre. È questa comprensione sistemica che la sezione 1.2.4 preparerà, articolando le metodologie tecniche attraverso cui queste categorie trovano traduzione operativa nella modellazione tridimensionale.

1.2.4 Modellazione 3D: tradizionale, computazionale, workflow ibridi

La modellazione e rappresentazione tridimensionale costituisce il fondamento tecnico e concettuale su cui si edificano gli spazi virtuali contemporanei. Se le sottosezioni precedenti hanno esaminato le tecnologie che mediano l'esperienza, i principi che la qualificano e gli elementi che la compongono, è ora necessario approfondire le metodologie attraverso cui gli ambienti digitali vengono concretamente generati, dalla concezione geometrica iniziale fino alla loro manifestazione visiva finale. È in questo passaggio, dal principio progettuale alla forma realizzata, che si giocano

le scelte più direttamente operative per la costruzione del [vIrtuAl museum].

La prospettiva teorica di Maurizio Unali permette di inquadrare la questione in modo non meramente tecnico: la modellazione 3D non è soltanto procedura costruttiva ma «atto rappresentativo» che porta alla luce le informazioni invisibili presenti nella struttura matematica della forma[35], esattamente come il disegno architettonico tradizionale porta alla luce le virtualità latenti del progetto prima ancora che diventi edificio.

Questa continuità fra disegno e modellazione digitale non è una metafora: è una invariante epistemologica che attraversa la storia della rappresentazione architettonica e che le tecnologie computazionali contemporanee non hanno superato ma piuttosto attualizzato in forma nuova.

All'interno di questa continuità, la presente sottosezione traccia una distinzione fondamentale — tanto metodologica quanto epistemologica — fra due paradigmi di modellazione che hanno caratterizzato l'evoluzione della progettazione digitale.

L'approccio 'tradizionale', basato sulla manipolazione diretta della geometria attraverso interfacce grafiche, mantiene una continuità con le pratiche del disegno architettonico manuale: estrudere, sottrarre, unire volumi, modificare superfici sono operazioni sostanzialmente analoghe a quelle tradizionali, tradotte in formato digitale[36].

L'approccio 'computazionale', viceversa, introduce un salto paradigmatico in cui il progettista non definisce direttamente la forma finale ma specifica le regole generative, i parametri variabili, le relazioni topologiche che determinano l'emergenza della geometria. Come ha

---

35 M. Unali, *Virtuale: invariante storica del disegno di architettura*, in *Abitare Virtuale: Rappresentazioni*, Gangemi, Roma 2022, p. 17.

36 Cfr. Y. E. Kalay, *Architecture's New Media: Principles, Theories, and Methods of Computer-Aided Design*, MIT Press, Cambridge 2004, pp. 55–80. Kalay distingue fra *direct manipulation* e *generative design* come due epistemologie distinte della progettazione digitale.

osservato Arturo Tedeschi nel suo manuale di riferimento per la progettazione parametrica con *Grasshopper* (cfr. App. A1, Scheda 23), questo secondo paradigma trasforma il progettista da «scultore di forma» a «scrittore di logiche generative»[37]: un cambiamento di ruolo che prefigura, e in certa misura anticipa, lo spostamento ulteriore introdotto dall'intelligenza artificiale generativa, documentato nel Capitolo 3 della presente ricerca.

Questa dicotomia non rappresenta una semplice distinzione tecnica fra *software* diversi, ma riflette due modi radicalmente differenti di concepire il processo progettuale. Come già discusso nel Cap. 1.2.1, la definizione di Lévy del virtuale come «vettore di apertura dei possibili» — sistema complesso le cui trasformazioni potenziali sono più ricche di qualsiasi realizzazione particolare — trova una corrispondenza operativa diretta nella modellazione parametrica: il modello algoritmico non è una forma fissa ma uno spazio di possibilità entro cui il progettista naviga modificando parametri, esplorando varianti, negoziando vincoli. In questo senso la modellazione computazionale realizza operativamente la potenzialità propria del virtuale: non l'oggetto determinato, ma il sistema generativo che contiene in sé infinite attualizzazioni possibili.

La modellazione tradizionale affonda le sue radici nelle prime implementazioni di *software* CAD sviluppate a partire dagli anni Sessanta, quando Ivan Sutherland con *Sketchpad* (1963) gettò le basi concettuali per la manipolazione interattiva di entità geometriche attraverso interfacce digitali[38].

L'evoluzione successiva ha prodotto una famiglia di *software* specializzati — *Autodesk Maya*, *3ds Max*, *Blender*, *Rhinoceros* (cfr. App. A1, Scheda 20), *Cinema 4D* — ciascuno con specificità proprie ma accomunati da un paradigma comune:

---

37 A. Tedeschi, *Parametric Architecture with Grasshopper*, Le Penseur, Brienza 2010, p. 12.

38 I. E. Sutherland, *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*, in *Proceedings of the AFIPS Spring Joint Computer Conference*, Detroit 1963, pp. 329–346.

l'utente opera direttamente sulla geometria attraverso strumenti che simulano operazioni intuitive di costruzione, trasformazione e raffinamento formale. Nella prospettiva di Unali, questo approccio realizza la dimensione del disegno come «atto del guardare e del progettare»[39]: il gesto digitale è ancora, nella sua struttura profonda, gesto rappresentativo che porta alla luce la forma latente nel materiale — qui non la pietra o l'argilla, ma lo spazio matematico tridimensionale.
Il flusso di lavoro tipico della modellazione tradizionale procede attraverso fasi standardizzate: una fase iniziale di *blocking* che definisce le masse volumetriche principali attraverso primitive geometriche semplici; una fase di raffinamento topologico mediante operazioni di *subdivision surface* o NURBS; una fase di *texturing* e *shading* che assegna ai materiali proprietà visive fisicamente plausibili attraverso il *Physically Based Rendering* richiamato nella sottosezione precedente; una fase finale di illuminazione e *rendering*.
L'approccio presenta indubbi vantaggi: immediatezza del controllo, corrispondenza intuitiva fra azione e risultato, flessibilità nella gestione di forme organiche o irregolari difficilmente esprimibili attraverso logiche matematiche. L'interfaccia WYSIWYG — *What You See Is What You Get* — permette valutazione estetica immediata, facilitando iterazioni rapide guidate dalla sensibilità visiva del progettista.
Tuttavia, come osserva Tedeschi, questo approccio manifesta limitazioni significative quando il progetto richiede variazioni parametriche, esplorazioni di famiglie di soluzioni, adattamenti a vincoli variabili[40]: ogni modifica sostanziale necessita intervento manuale, la geometria risultante è statica, la ripetitività di elementi architettonici richiede operazioni duplicate laboriose e soggette a errori.
È la limitazione simmetrica e opposta rispetto al paradigma

39 M. Unali, *Virtuale: invariante storica*, cit., p. 17.
40 A. Tedeschi, *Parametric Architecture with Grasshopper*, cit., pp. 8–15.

computazionale: dove la modellazione tradizionale eccelle nell'unicità controllata, fatica nell'esplorazione sistematica. Queste limitazioni hanno motivato l'emergere di paradigmi alternativi che trattiamo ora.

La modellazione computazionale rappresenta un cambio di paradigma radicale rispetto all'approccio tradizionale, spostando l'atto progettuale dalla definizione diretta della forma alla specificazione di sistemi generativi che producono la geometria come *output* di processi algoritmici. Kostas Terzidis ha analizzato questa transizione come passaggio dal *design with computer* (*computer-aided design*) al *design through computer* (*computational design*), dove la macchina non è mero strumento esecutivo ma agente attivo nel processo creativo[41].

Il progettista definisce relazioni matematiche, dipendenze parametriche, regole procedurali; la geometria emerge dall'esecuzione di questi algoritmi, potenzialmente generando infinite varianti attraverso la modulazione dei parametri di *input*.

Grasshopper, *plugin* per *Rhinoceros* sviluppato da David Rutten e divenuto standard *de facto* nel design parametrico, esemplifica efficacemente questo approccio. La sua interfaccia di programmazione visuale permette di costruire definizioni algoritmiche collegando nodi che rappresentano operazioni geometriche, funzioni matematiche e strutture di controllo, senza richiedere la scrittura di codice testuale. Tedeschi ha sistematizzato le potenzialità di *Grasshopper* evidenziando come lo strumento permetta di esplorare spazi progettuali attraverso la variazione controllata di parametri, di ottimizzare soluzioni rispetto a criteri multipli, di integrare simulazioni fisiche e analisi prestazionali direttamente nel flusso generativo[42].

---

41 K. Terzidis, *Algorithmic Architecture*, Architectural Press, Oxford 2006, pp. 1–20.

42 A. Tedeschi, *AAD Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies using Grasshopper*, Le Penseur, Brienza 2014, pp. 16–45. Il testo costituisce il riferimento metodologico principale per i *workflow* parametrici documentati nel Cap. 3.1.3, dove tre casi di studio dimostrano l'integra-

La definizione parametrica diventa un meta-progetto: un sistema di regole che codifica non una soluzione specifica ma una famiglia di soluzioni possibili — realizzando operativamente quella logica del virtuale come potenzialità che si è discussa poc'anzi. È precisamente questa logica che il Cap. 3.1.3 della presente ricerca applica nell'integrazione fra *ChatGPT* e *GHPython*: il *prompt* testuale come specifica di regole generative, lo *script* Python come definizione algoritmica, *Grasshopper* come motore di attualizzazione.

L'approccio computazionale si articola attraverso diverse modalità operative. La modellazione parametrica tradizionale definisce geometrie attraverso parametri variabili — la lunghezza di un muro, l'angolazione di una copertura, il numero di moduli ripetuti — la cui modifica aggiorna automaticamente l'intera geometria mantenendo le relazioni definite.

La generazione procedurale utilizza algoritmi che producono geometria attraverso iterazioni, ricorsioni, applicazioni di regole: gli *L-systems*, originariamente sviluppati da Aristid Lindenmayer per modellare la crescita di piante, possono generare strutture ramificate complesse; le grammatiche formali di George Stiny specificano regole di sostituzione che producono configurazioni architettoniche articolate[43]. Gli algoritmi evolutivi introducono meccanismi di ottimizzazione che esplorano automaticamente varianti progettuali, valutandole rispetto a funzioni di *fitness* che codificano criteri prestazionali e selezionando iterativamente soluzioni migliorate attraverso operazioni ispirate all'evoluzione biologica — selezione, mutazione, *crossover*. L'integrazione di linguaggi di *scripting* come Python estende ulteriormente le possibilità: attraverso il componente *GHPython* è possibile implementare algoritmi

zione fra *ChatGPT* e *GHPython*.

43 Cfr. P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer, *The Algorithmic Beauty of Plants*, Springer, New York 1990; G. Stiny, *Introduction to Shape and Shape Grammars*, in «Environment and Planning B», 7/3, 1980, pp. 343–351.

di ottimizzazione sofisticati, interfacciarsi con *database* esterni, integrare librerie di calcolo numerico, superando i limiti della programmazione visuale quando la complessità richiede strutture di controllo articolate.

La dicotomia fra modellazione tradizionale e computazionale non deve essere interpretata in termini di esclusione reciproca ma come polarità complementari integrabili in *workflow* ibridi. I progetti contemporanei più sofisticati utilizzano tipicamente approcci misti: modellazione computazionale per la generazione di strutture complesse, la gestione di variazioni parametriche, l'ottimizzazione rispetto a vincoli multipli; modellazione tradizionale per raffinamenti formali e dettagli che richiedono sensibilità estetica diretta, per la gestione di elementi irregolari o unici che non giustificano la complessità di una definizione parametrica, per interventi correttivi puntuali su geometrie generate algoritmicamente[44].

L'evoluzione degli strumenti *software* riflette questa convergenza: *Blender* integra la modellazione tradizionale con i *Geometry Nodes* — sistema nodale che porta logiche parametriche direttamente nell'ambiente di modellazione — e con un supporto estensivo allo *scripting* Python; *Rhinoceros* ha integrato *Grasshopper* come componente essenziale piuttosto che *plugin* marginale; anche *software* storicamente "tradizionali" come *Maya* e *3ds Max* hanno progressivamente incorporato funzionalità procedurali e parametriche. Parallelamente, i motori grafici *real-time* come *Unreal Engine* (cfr. App. A1, Scheda 19) e *Unity* (cfr. App. A1, Scheda 22) hanno esteso il proprio raggio applicativo dalla produzione videoludica alla visualizzazione architettonica e alla fruizione immersiva, diventando piattaforme di destinazione privilegiate per

44 Cfr. R. Woodbury, *Elements of Parametric Design*, Routledge, London 2010, pp. 180–210, sulla complementarità fra modellazione diretta e parametrica nei *workflow* professionali contemporanei.

gli ambienti virtuali generati attraverso i *workflow* qui descritti. L'emergere di tecnologie basate su intelligenza artificiale sta ulteriormente trasformando il panorama, introducendo strumenti che amplificano le capacità di entrambi gli approcci senza sostituirli. Nel dominio della modellazione tradizionale, sistemi *text-to-3D* e *image-to-3D* stanno progressivamente abbassando le barriere di accesso alla creazione geometrica: i modelli *text-to-3D* permettono di generare oggetti tridimensionali a partire da descrizioni testuali, fornendo punti di partenza che possono essere successivamente raffinati con strumenti classici; i sistemi *image-to-3D* consentono di ricostruire geometrie tridimensionali da immagini bidimensionali, facilitando la digitalizzazione di riferimenti fisici o la trasformazione di *concept sketch* in modelli manipolabili.

Nel dominio computazionale, l'integrazione di assistenti conversazionali basati su LLM capaci di generare codice sta emergendo come supporto significativo per progettisti che possiedono competenze logiche e progettuali ma limitata esperienza di programmazione: un progettista può descrivere verbalmente la logica generativa desiderata e ottenere codice Python funzionale che implementa tale logica, da integrare, modificare e ottimizzare nel contesto di *Grasshopper*. È precisamente questa *pipeline* — *ChatGPT* come generatore di *script* Python, *GHPython* come componente di esecuzione in *Grasshopper*, il progettista come controllore della logica generativa — che il Cap. 3.1.3 documenta sistematicamente attraverso tre casi di studio.

Come Maurizio Unali ha rilevato nell'analisi dei flussi IA-architettura, questa integrazione non dissolve ma ridefinisce l'autorità progettuale[45]: l'architetto non è più artigiano della forma né programmatore di algoritmi, ma orchestratore di sistemi che comprendono competenze umane, logiche

45 M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale. Verso una storia*, in «Op. Cit.», n. 164, 2019, pp. 14–19.

parametriche e capacità generative dell'IA.

La progettazione diventa sempre più orchestrazione consapevole di processi eterogenei piuttosto che applicazione lineare di tecniche uniformi: una 'saggezza procedurale' che trascende la padronanza tecnica per abbracciare una comprensione strategica del quando e del come impiegare ciascuna risorsa.

Il progettista contemporaneo deve sviluppare una meta-competenza, la capacità di tradurre fra paradigmi, di riconoscere quando una forma modellata manualmente potrebbe beneficiare di una ricostruzione parametrica, quando un sistema algoritmico sta diventando eccessivamente complesso, quando gli strumenti generativi possono accelerare fasi specifiche del processo. È il terreno operativo su cui si collocano le sperimentazioni documentate nel Capitolo 3, dove questa triplice competenza viene messa alla prova nel metaprogetto del [vIrtuAl museum].

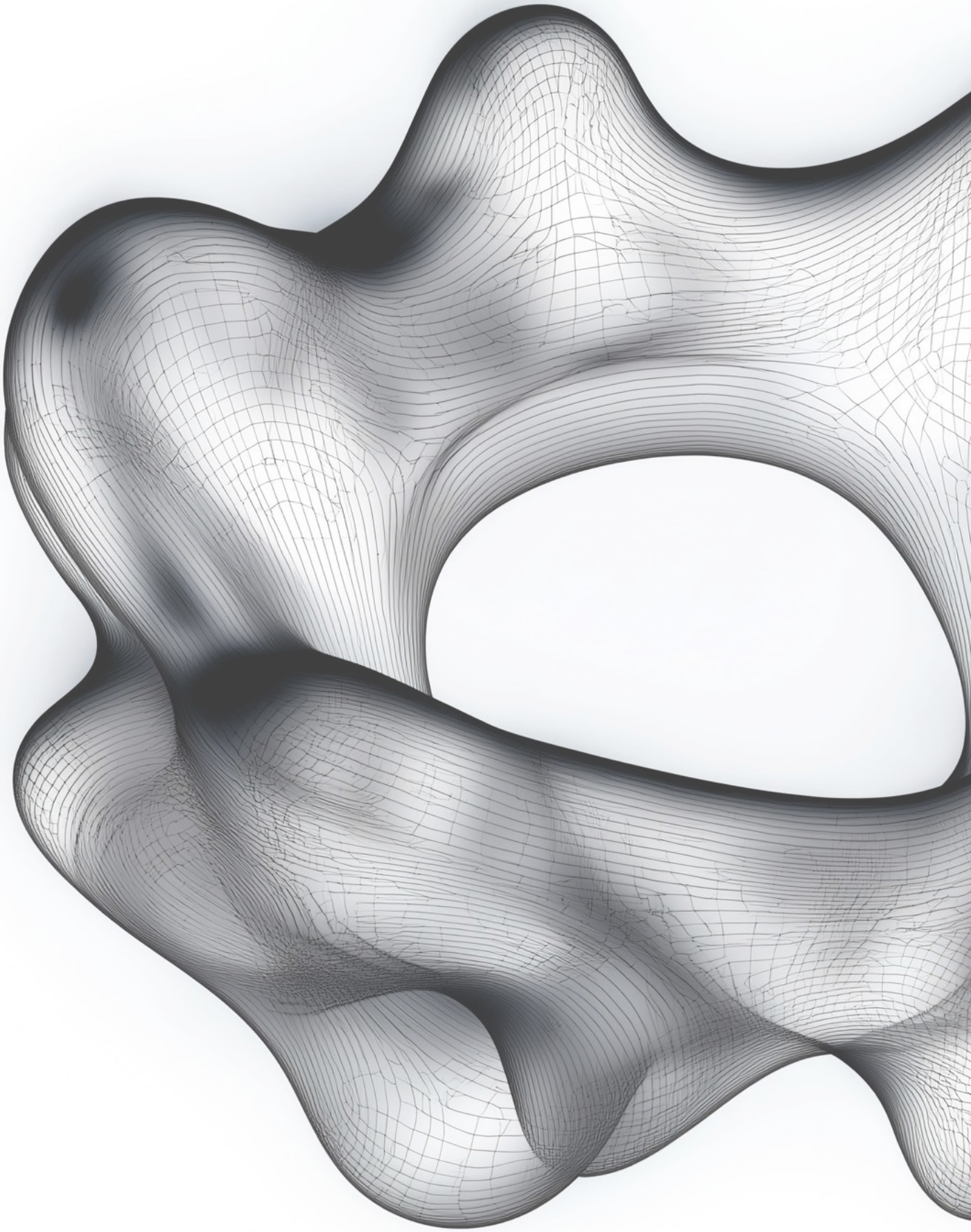


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

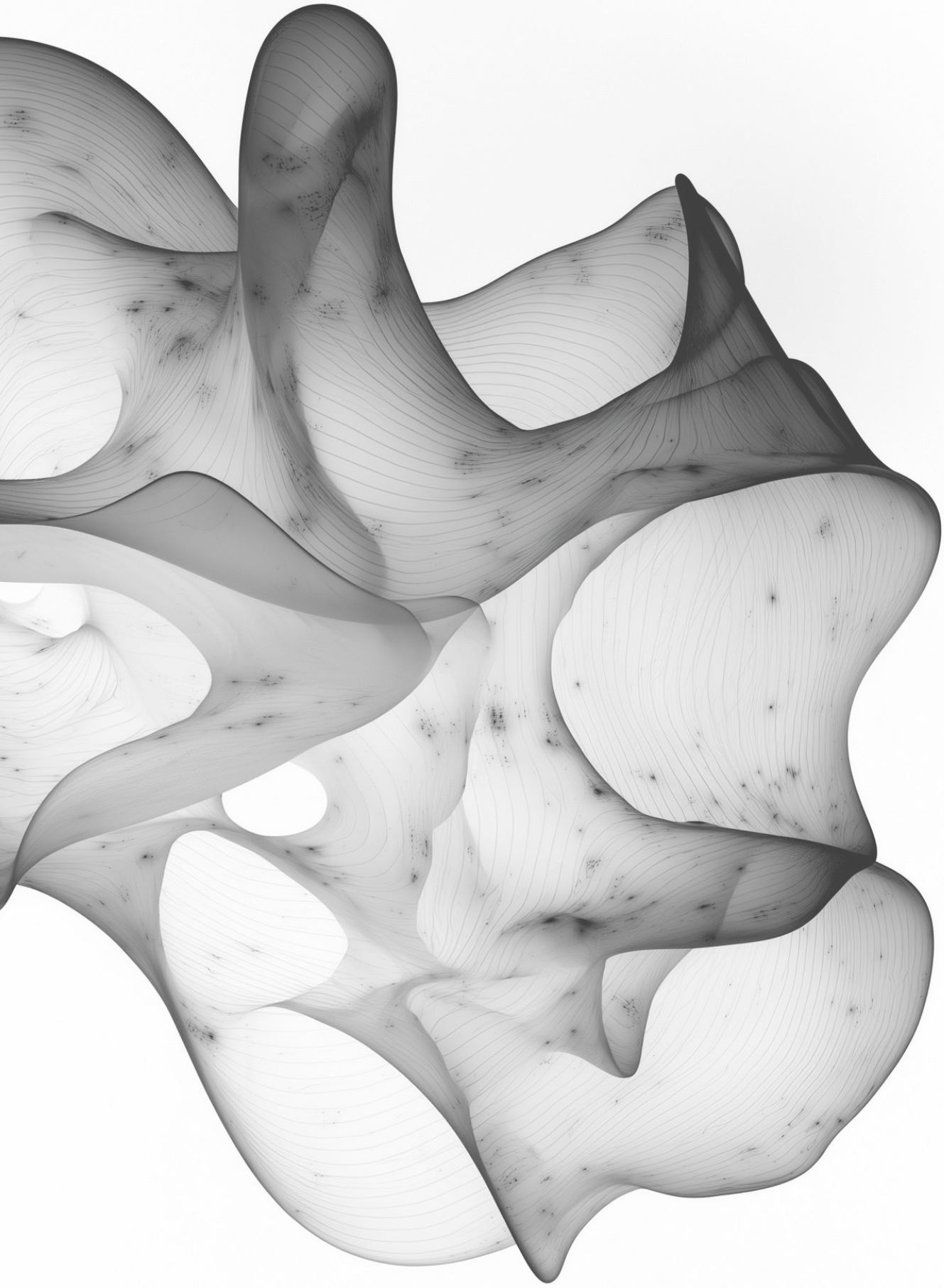


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

1.3 INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA: ORIGINI, DEFINIZIONE E APPLICAZIONI

L'integrazione fra intelligenza artificiale generativa e realtà virtuale, tema centrale della presente ricerca, rappresenta una convergenza tecnologica le cui radici concettuali affondano nelle origini stesse del pensiero computazionale. Come documentato nel Cap. 1.1.1, quando Alan Turing nel 1950 pubblicava *Computing Machinery and Intelligence*[1] ponendo l'interrogativo «*Can machines think*?», non solo anticipava le questioni filosofiche che avrebbero accompagnato lo sviluppo dell'IA, ma implicitamente prefigurava anche la possibilità di macchine capaci di generare contenuti originali, di creare anziché semplicemente calcolare.

Il *Turing Test*, nel richiedere che una macchina producesse risposte linguistiche indistinguibili da quelle umane, postulava una forma di creatività computazionale che solo settant'anni dopo avrebbe trovato realizzazione pratica nei *Large Language Models* contemporanei. In questo senso la formulazione di Pierre Lévy risulta particolarmente calzante: il virtuale come «vettore di apertura dei possibili»[2] era già contenuto, come potenzialità non ancora attualizzata, nella macchina di Turing.

Il percorso dalle intuizioni teoriche degli anni Cinquanta alla materializzazione dell'IA generativa come strumento progettuale per l'architettura virtuale è stato tuttavia lungo e discontinuo. Come la cronologia del Cap. 1.1 ha restituito, dalla cibernetica agli esperimenti di *computer art* degli anni Sessanta, dai sistemi esperti degli anni Ottanta alle reti neurali convoluzionali degli anni Duemila, dall'architettura *Transformer* del 2017 all'esplosione contemporanea, ogni stagione ha prodotto strumenti significativi ma nessuno

1 A. M. Turing, *Computing Machinery and Intelligence*, in «Mind», 59/236, 1950, pp. 433-460. Cfr. App. A1, Scheda 1.

2 P. Lévy, *Il virtuale*, Raffaello Cortina, Milano 1997, p. 7. Ed. orig. *Qu'est-ce que le virtuel?*, La Découverte, Paris 1995.

aveva raggiunto quella combinazione di qualità generativa, accessibilità e versatilità che caratterizza i sistemi attuali. Solo nell'ultima decade — e in particolare nel quinquennio 2020-2025 — l'IA generativa ha raggiunto la maturità tecnologica che ne permette l'integrazione sistematica nei *workflow* creativi, trasformando radicalmente le modalità di concezione, rappresentazione e fruizione degli spazi architettonici virtuali. È la condizione che Mario Carpo ha sintetizzato con la formula dei «bit e neuroni»[3]: non più solo archivi digitali, reti distribuite e motori parametrici, ma intelligenze artificiali capaci di generare immagini, video, modelli 3D e codice in risposta a istruzioni linguistiche.

Il presente capitolo si articola in cinque sezioni che esplorano progressivamente l'evoluzione storica, i principi tecnici e le applicazioni specifiche dell'IA generativa nel contesto della progettazione di spazi virtuali. La sezione 1.3.1 ripercorre l'evoluzione storica dell'IA generativa dalle origini teoriche degli anni Quaranta all'esplosione contemporanea del biennio 2022-2025, analizzando i *breakthrough* tecnologici che hanno reso possibile la transizione da sistemi discriminativi a sistemi generativi e chiarendo i principi tecnici sottostanti alle principali famiglie di modelli — *Large Language Models*, *Diffusion Models*, *Generative Adversarial Networks*, *Variational Autoencoders* — nonché le metodologie di *prompt engineering* e di orchestrazione *multi-model* che costituiscono la dimensione operativa del loro impiego creativo.

Le successive quattro sezioni approfondiscono le applicazioni più rilevanti per la progettazione architettonica virtuale. La 1.3.2 esamina i generatori di immagini — *text-to-image* e *image-to-image* — con particolare attenzione a DALL-E, *Midjourney* e *Stable Diffusion*[4] e alle loro potenzialità

3 M. Carpo, *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*, MIT Press, Cambridge 2017; Id., *The Post-Digital Will Be Even More Digital*, in «Metropolis», 5 luglio 2018.

4 Per la documentazione sistematica di *DALL-E*, *Midjourney* e *Stable Diffusion* cfr. App. A1, Schede 27, 29, 31.

per il *concept design* e la visualizzazione architettonica. La 1.3.3 approfondisce i generatori di video — *text-to-video* e *image-to-video* — come strumenti per la narrazione e per la simulazione spaziale. La 1.3.4 analizza i generatori di modelli tridimensionali — *text-to-3D* e *image-to-3D*, inclusa la tecnologia *Neural Radiance Fields* (*NeRF*) — che permettono la conversione da descrizioni testuali o da immagini a geometrie navigabili[5]. La 1.3.5 esamina infine i *chatbot* conversazionali basati su *Large Language Models* — *ChatGPT*, *Claude*, *Gemini* — come assistenti progettuali capaci di generare codice e di supportare il *design* computazionale[6].
L'integrazione sinergica di queste diverse tipologie di IA generativa delinea l'ecosistema tecnologico operativo che costituisce il fondamento della sperimentazione documentata nella Seconda Parte: non un unico strumento IA ma un ecosistema di agenti specializzati orchestrati dalla consapevolezza progettuale del *designer*.

1.3.1 EVOLUZIONE STORICA E PRINCIPI TECNICI DELL'IA GENERATIVA

Evoluzione storica

Le radici storiche dell'intelligenza artificiale generativa risalgono ai primi esperimenti con reti neurali artificiali negli anni Quaranta e Cinquanta. Il modello del neurone artificiale proposto da Warren McCulloch e Walter Pitts nel 1943[7] e successivamente sviluppato da Frank Rosenblatt nel *Perceptron* (1958)[8] costituiva il primo tentativo di emulare computazionalmente i meccanismi di apprendimento

5 Per la documentazione sistematica dei generatori 3D — *Luma AI* (*NeRF*) e *Meshy AI* (*text-to-3D*) — cfr. App. A1, Schede 28 e 32.

6 Per la documentazione sistematica di *ChatGPT*, *Gemini* e *Claude* cfr. App. A1, Schede 30, 33, 34. Le applicazioni di *ChatGPT* e *Claude* al *design* computazionale sono documentate nel Cap. 3.1.3 attraverso tre casi di studio.

7 W. S. McCulloch, W. Pitts, *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, in «Bulletin of Mathematical Biophysics», 5, 1943, pp. 115-133.

8 F. Rosenblatt, *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*, in «Psychological Review», 65/6, 1958, pp. 386-408. Cfr. App. A1, Scheda 3.

biologici. Le limitazioni computazionali e le difficoltà teoriche nel *training* di reti multi-strato, evidenziate da Marvin Minsky e Seymour Papert nel loro influente *Perceptrons* (1969)[9], rallentarono tuttavia drammaticamente i progressi, inaugurando il primo «inverno dell'IA».

La rinascita avvenne negli anni Ottanta con l'introduzione dell'algoritmo di *backpropagation* da parte di David Rumelhart, Geoffrey Hinton e Ronald Williams (1986)[10], che rese finalmente possibile l'addestramento efficiente di reti neurali profonde. Questo *breakthrough* teorico, unito all'incremento esponenziale della potenza computazionale — seguendo la Legge di Moore — e alla disponibilità crescente di grandi *dataset*, innescò negli anni Duemiladieci la 'rivoluzione del *Deep Learning*'.

Nel 2012 il modello *AlexNet* di Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever e Geoffrey Hinton[11] vinse la competizione *ImageNet* con un margine senza precedenti, dimostrando la superiorità delle reti neurali profonde convoluzionali nei compiti di *computer vision* e aprendo definitivamente l'era del *Deep Learning* applicato. *VGGNet*, *ResNet*, *Inception* e architetture sempre più profonde dimostravano come l'aumento di scala — più *layer*, più parametri, più dati — producesse miglioramenti sistematici nelle *performance*.

Il 2014 segna un momento cruciale con l'introduzione delle *Generative Adversarial Networks* (GAN) da parte di Ian Goodfellow e colleghi[12]. Le GAN rappresentano un cambio di paradigma: anziché addestrare reti neurali a classificare o a riconoscere *pattern* esistenti — approccio discriminativo — le GAN vengono addestrate a generare nuovi dati sintetici

---

9 M. Minsky, S. Papert, *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*, MIT Press, Cambridge 1969.

10 D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, R. J. Williams, *Learning Representations by Back-propagating Errors*, in «Nature», 323, 1986, pp. 533-536.

11 A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton, *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*, in *Advances in Neural Information Processing Systems*, NIPS, Lake Tahoe 2012, pp. 1097-1105.

12 I. Goodfellow et al., *Generative Adversarial Nets*, in *Advances in Neural Information Processing Systems*, NIPS, Montreal 2014, pp. 2672-2680.

indistinguibili da quelli reali. L'architettura prevede due reti neurali in competizione: un *generator* che produce dati sintetici e un *discriminator* che tenta di distinguere i dati reali da quelli generati. Attraverso questo processo adversariale, il *generator* impara progressivamente a produrre *output* sempre più realistici. Le GAN hanno trovato applicazioni pionieristiche nella generazione di immagini fotorealistiche, nella sintesi di volti umani inesistenti (progetto *StyleGAN* di NVIDIA[13]) e, rilevante per l'architettura, nella generazione di planimetrie e facciate edilizie.

Il 2017 costituisce un altro momento di svolta con la pubblicazione di *Attention is All You Need* da parte del *team* di Google Brain guidato da Ashish Vaswani[14]. L'architettura *Transformer*, basata interamente su meccanismi di *attention* piuttosto che su ricorrenza o convoluzione, si rivelò drammaticamente più efficace ed efficiente per il *processing* di sequenze, in particolare di linguaggio naturale. Il meccanismo di *self-attention* permette al modello di pesare l'importanza relativa di ogni elemento di una sequenza rispetto a tutti gli altri, catturando dipendenze a lungo raggio che le architetture ricorrenti precedenti — *LSTM*, *GRU* — gestivano con difficoltà.

I *Transformer* divennero rapidamente la base per i modelli di linguaggio di grandi dimensioni (*Large Language Models*, *LLM*) che avrebbero dominato il panorama dell'IA negli anni successivi. *BERT* (2018)[15] introdusse il *pre-training* bidirezionale su enormi *corpora* testuali; *GPT-2* (2019)[16] dimostrò capacità linguistiche sorprendenti generando

13 T. Karras, S. Laine, T. Aila, *A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks (StyleGAN)*, in *Proceedings of CVPR*, Long Beach 2019, pp. 4401-4410.

14 A. Vaswani et al., *Attention is All You Need*, in *Advances in Neural Information Processing Systems*, NIPS, Long Beach 2017, pp. 5998-6008.

15 J. Devlin et al., *BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*, in *Proceedings of NAACL-HLT*, Minneapolis 2019. Cfr. App. A1, Scheda 25.

16 A. Radford et al., *Language Models are Unsupervised Multitask Learners*, OpenAI Technical Report, San Francisco 2019.

testo coerente su lunghe distanze; *GPT-3* (2020)[17], con i suoi 175 miliardi di parametri addestrati su 45 terabyte di testo, chiarì il fenomeno dell'*emergent behavior*: modelli sufficientemente grandi sviluppano spontaneamente capacità non esplicitamente programmate — ragionamento analogico, generazione di codice funzionante, forme rudimentali di aritmetica.

Il biennio 2022-2023 rappresenta il momento di massima accelerazione e diffusione dell'IA generativa, con l'emergere di strumenti accessibili al grande pubblico che trasformano la tecnologia da oggetto di ricerca a strumento creativo *mainstream*. Nell'agosto 2022 *Stable Diffusion*[18] viene rilasciato in modalità *open source* da Stability AI, rendendo disponibile gratuitamente un modello *text-to-image* di qualità professionale eseguibile su *hardware consumer*.

Basato su *diffusion models*, *Stable Diffusion* opera iterativamente un processo di *denoising* progressivo di rumore casuale guidato da *prompt* testuali, generando immagini ad alta risoluzione in pochi secondi.

La natura aperta del rilascio permette una rapida proliferazione di varianti specializzate, interfacce *user-friendly* — *AUTOMATIC1111*, *ComfyUI* — e integrazioni con *software* esistenti. Parallelamente, *DALL-E 2* di OpenAI (aprile 2022)[19] e *Midjourney* (luglio 2022)[20] raggiungono il mercato, ciascuno con approcci e qualità estetiche distintive: *DALL-E 2* eccelle in fotorealismo e aderenza precisa ai *prompt*; *Midjourney* si distingue per *output* artisticamente sofisticati con estetica pittorica che conquista rapidamente *designer* e architetti.

---

17 T. B. Brown et al., *Language Models are Few-Shot Learners (GPT-3)*, in *Advances in Neural Information Processing Systems*, NeurIPS, 2020.

18 R. Rombach et al., *High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models*, in *Proceedings of CVPR*, New Orleans 2022, pp. 10684-10695. Cfr. App. A1, Scheda 31.

19 A. Ramesh et al., *Hierarchical Text-Conditional Image Generation with CLIP Latents (DALL-E 2)*, arXiv:2204.06125, 2022. Cfr. App. A1, Scheda 27.

20 Midjourney, *Model Versions*, docs.midjourney.com (documentazione ufficiale del modello V4, novembre 2022. Cfr. App. A1, Scheda 29.

Nel dominio linguistico, *ChatGPT* (novembre 2022)[21] basato su *GPT-3.5* e successivamente su *GPT-4* (marzo 2023)[22] raggiunge un miliardo di utenti in tempi record, dimostrando capacità conversazionali e di ragionamento che ridefiniscono l'interazione uomo-macchina. *GPT-4* introduce multimodalità nativa — la capacità di processare testo e immagini simultaneamente — e *function calling* che permette al modello di invocare strumenti esterni (API, *database*, codice eseguibile). Sistemi concorrenti come *Claude* di Anthropic[23] e *Gemini* di Google[24] ampliano il panorama: *Claude* si distingue per *context window* esteso — fino a 200.000 *token* — e particolare affidabilità in compiti di ragionamento complesso; *Gemini 1.5* (2024) introduce un *context window* da un milione di *token* e una multimodalità nativa più sofisticata, processando simultaneamente testo, immagini, audio e video. Il 2024 segna ulteriori progressi: *GPT-4o* (*omni-modal*) introduce elaborazione in tempo reale di audio, visione e testo; *Sora* di OpenAI[25] genera video ad alta risoluzione da *prompt* testuali.

Principi tecnici delle principali famiglie di modelli generativi

I *Large Language Models* (*GPT*, *Claude*, *Gemini*) sono *Transformer decoder-only* addestrati su *corpora* testuali massicci attraverso obiettivi di *next token prediction*: data una sequenza di *token* — *subword units* ottenuti tramite *Byte-Pair Encoding* o *SentencePiece* — il modello impara a predire la distribuzione di probabilità sul vocabolario per il *token* successivo.

Attraverso questo processo ripetuto su trilioni di *token* con architetture contenenti miliardi di parametri, emergono

21 OpenAI, *Introducing ChatGPT*, blog.openai.com, novembre 2022. Cfr. App. A1, Scheda 30.

22 OpenAI, *GPT-4 Technical Report*, arXiv:2303.08774, 2023.

23 Anthropic, *Introducing Claude*, anthropic.com, marzo 2023. Cfr. App. A1, Scheda 34.

24 Google DeepMind, *Gemini: A Family of Highly Capable Multimodal Models*, Technical Report, arXiv:2312.11805, 2023. Cfr. App. A1, Scheda 33.

25 OpenAI, *Sora Technical Report*, blog.openai.com, febbraio 2024.

capacità di ragionamento, contestualizzazione e generazione coerente su lunghe distanze.

L'applicabilità degli *LLM* all'architettura deriva dalla capacità di tradurre descrizioni verbali in istruzioni formalizzate — codice *Python*, *script Grasshopper*, parametri JSON — e di assistere in compiti di programmazione computazionale attraverso *code generation*, capacità particolarmente potente in *GPT-4* e *Claude 3.5 Sonnet*, documentata nel Cap. 3.1.3 della presente ricerca[26].

I *Diffusion Models* (*Stable Diffusion*, *DALL-E*, *Midjourney*) invertono un processo di degradazione progressiva: durante il *training* il modello osserva come immagini reali vengono progressivamente corrotte da rumore gaussiano attraverso una catena di Markov di *T steps*; durante l'*inference* applica il processo inverso (*denoising*), partendo da rumore casuale e iterativamente predicendo e sottraendo il rumore, guidato dal *prompt* testuale processato da un *encoder* linguistico — tipicamente *CLIP* o *T5*.

I *Latent Diffusion Models* operano questo processo non nello spazio dei *pixel* ma in uno spazio latente compresso ottenuto tramite *VAE*, riducendo drasticamente i costi computazionali. La capacità di condizionamento multimodale — testo, immagini di riferimento, *sketch*, *depth maps*, *segmentation maps* — li rende estremamente flessibili per il *design* iterativo guidato da vincoli visivi e spaziali[27].

Le *Generative Adversarial Networks*, pur meno dominanti rispetto a cinque anni fa a causa della stabilità di *training* superiore dei *diffusion models*, mantengono rilevanza in applicazioni che richiedono generazione in tempo reale — *StyleGAN* genera immagini 1024×1024 in millisecondi su GPU *consumer* — o controllo fine su attributi specifici attraverso manipolazione dello spazio latente. *GauGAN* di NVIDIA per

---

26 Per l'applicazione degli *LLM* al *design* computazionale, in particolare di *ChatGPT* e *Claude* per la generazione di *script GHPython*, cfr. Cap. 3.1.3 della presente ricerca.

27 Cfr. J. Ho, A. Jain, P. Abbeel, *Denoising Diffusion Probabilistic Models*, in *Advances in Neural Information Processing Systems*, NeurIPS, 2020.

la sintesi di paesaggi da mappe di segmentazione semantica rimane stato dell'arte per applicazioni in cui l'utente specifica il *layout* spaziale grossolano e il modello 'riempie' con *texture* e dettagli realistici.

I modelli autoregressivi generano un elemento alla volta in sequenza, offrendo controllo probabilistico esplicito ma con costi di *scaling* proibitivi ad alte risoluzioni. Le *Variational Autoencoders* (VAE), che mappano dati in spazi latenti strutturati attraverso regolarizzazione probabilistica, eccellono nell'interpolazione *smooth* fra esempi esistenti — utile per il *morphing* controllato fra stili architettonici o per transizioni graduali nel *design* iterativo[28].

Ciascuna famiglia di modelli risponde a logiche progettuali diverse: la scelta del modello appropriato costituisce essa stessa una competenza progettuale, parte di quella 'saggezza procedurale' che il Cap. 1.2.4 ha individuato come meta-competenza fondamentale per il progettista contemporaneo.

Prompt engineering e orchestrazione multi-model

L'efficacia dell'IA generativa come strumento progettuale dipende criticamente dalla capacità dell'utente di formulare *prompt* — istruzioni testuali o multimodali — che guidino il modello verso *output* desiderati. Il *prompt engineering* emerge come nuova competenza trasversale, particolarmente rilevante in contesti creativi in cui specificità e controllo sono essenziali ma la sovra-specificazione può soffocare la creatività emergente del modello[29].

La formulazione iniziale raramente produce il risultato ottimale: il processo è intrinsecamente iterativo — analizzare l'*output*, identificare discrepanze rispetto all'intenzione progettuale, modificare il *prompt* incorporando *negative*

28 Cfr. D. P. Kingma, M. Welling, *Auto-Encoding Variational Bayes*, arXiv:1312.6114, 2013.

29 Cfr. B. Liu, *Pre-train, Prompt, and Predict: A Systematic Survey of Prompting Methods in Natural Language Processing*, in «ACM Computing Surveys», 55/9, 2023, pp. 1-35.

prompts (elementi da evitare esplicitamente) e parametri di composizione. L'approccio multimodale amplia ulteriormente il controllo: oltre al testo, si può fornire un'immagine di riferimento (*img2img*) che il modello interpreta come vincolo compositivo o stilistico; tecniche avanzate includono il condizionamento attraverso *depth maps*, *edge detection* o *pose estimation*, trasformando il *prompt engineering* in un'attività progettuale sofisticata che richiede la comprensione tanto delle possibilità tecniche quanto delle limitazioni sistemiche del modello.

L'integrazione di *LLM* come meta-assistenti al *prompt engineering* rappresenta un *layer* ulteriore di notevole interesse: *ChatGPT* o *Claude* possono essere istruiti con *meta-prompt* per generare formulazioni ottimizzate, suggerire vocabolario tecnico appropriato, anticipare le logiche interne del sistema di generazione.

Questa 'IA che assiste nell'utilizzo di IA' riflette una tendenza più ampia verso l'orchestrazione *multi-model*, in cui diversi sistemi specializzati collaborano: un *LLM* genera il *prompt* ottimizzato, un modello *text-to-image* produce l'immagine, un altro modello esegue *upscaling* e *refinement*, mentre un sistema *image-to-3D* estrae la geometria navigabile per l'integrazione in ambienti VR[30].

Per ulteriori approfondimenti sulla realizzazione dei principali *prompt* utilizzati nella presente ricerca cfr. Appendici A2 – B – C.

1.3.2 IA: GENERATORI DI IMMAGINI (TEXT-TO-IMAGE, IMAGE-TO-IMAGE)

I sistemi di generazione di immagini mediante intelligenza artificiale rappresentano probabilmente l'applicazione più visibile e culturalmente pervasiva dell'IA generativa

30 Sul paradigma *multi-model* cfr. H. Chase, *LangChain: Building Applications with LLMs through Composability*, GitHub, 2022. Per il *workflow text-to-image + image-to-3D* cfr. Cap. 3.1.1 della presente ricerca.

contemporanea. La capacità di tradurre descrizioni testuali in rappresentazioni visive sofisticate — processo noto come *text-to-image synthesis* — o di trasformare immagini esistenti secondo nuove direttive semantiche — *image-to-image translation* — ha ridefinito radicalmente i *workflow* creativi in architettura, *design* e arti visive.

Questi sistemi operano attraverso modelli di diffusione latente che, addestrati su miliardi di coppie immagine-testo estratte dal *web*, apprendono correlazioni statistiche complesse fra linguaggio naturale e caratteristiche visive, consentendo generazioni controllate attraverso *prompt* testuali e immagini di riferimento.

Il percorso evolutivo che ha condotto agli attuali sistemi *text-to-image* affonda le radici nella *computer vision* e nel riconoscimento automatico di immagini. Nel 2015 Alexander Mordvintsev, ingegnere di Google, scoprì che una rete neurale convoluzionale addestrata per classificare immagini poteva, invertendo il processo, generarne di nuove a partire da quelle esistenti.

La scoperta portò allo sviluppo di *DeepDream*[31], il primo *software* capace di produrre immagini dal carattere onirico attraverso amplificazione ricorsiva di *pattern* riconosciuti dalla rete. Sebbene limitato come strumento progettuale, *DeepDream* dimostrò la possibilità di un uso creativo delle reti neurali oltre la pura classificazione.

Successivamente, tecniche di *style transfer* permisero di trasferire caratteristiche stilistiche da un'immagine a un'altra[32], anticipando tematiche di ibridazione semantica oggi centrali nell'uso architettonico dell'IA.

Il *breakthrough* decisivo avvenne, come documentato nel Cap. 1.3.1, nel 2014 con l'introduzione delle GAN da parte di Goodfellow. *Style*GAN di NVIDIA (2019) rappresentò

31 A. Mordvintsev, C. Olah, M. Tyka, *Inceptionism: Going Deeper into Neural Networks*, Google Research Blog, 17 giugno 2015.

32 L. A. Gatys, A. S. Ecker, M. Bethge, *A Neural Algorithm of Artistic Style*, arXiv:1508.06576, 2015.

l'apice di questa famiglia architetturale; architetture come *CycleGAN*[33] estesero le capacità delle GAN al *domain transfer*, trasformando *sketch* architettonici in *render* fotorealistici o immagini diurne in notturne senza necessità di coppie di *training* corrispondenti. L'attuale dominanza dei *diffusion models* rispetto alle GAN deriva da vantaggi in stabilità di *training*, diversità di *output* e capacità di condizionamento multimodale.

Un'innovazione cruciale per legare linguaggio e visione è costituita da *CLIP* (*Contrastive Language-Image Pre-training*), sviluppato da OpenAI nel 2021[34]. Addestrato su 400 milioni di coppie immagine-testo, *CLIP* apprende rappresentazioni allineate fra le due modalità, permettendo a descrizioni testuali arbitrarie di guidare generazioni visive senza *fine-tuning* specifico. L'integrazione di *CLIP* con VQGAN[35] produsse i primi sistemi *text-to-image* veramente flessibili e controllabili, e costituisce la base tecnica su cui si sarebbero sviluppate le piattaforme *mainstream* del biennio successivo.

Su queste fondamenta tecniche si svilupparono le tre piattaforme che fra il 2022 e il 2023 hanno reso la generazione di immagini tramite IA accessibile a milioni di utenti. *DALL-E 2* di OpenAI (aprile 2022)[36] utilizzò un'architettura *unCLIP* che inverte *CLIP* per generare immagini da *embeddings* testuali, eccellendo in fotorealismo e aderenza semantica precisa ai *prompt*. *Midjourney* (luglio 2022)[37], pur mantenendo riservati i dettagli architetturali, conquistò rapidamente *designer* e architetti grazie a un'estetica distintiva — composizioni

---

33 J.-Y. Zhu et al., *Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks*, in *Proceedings of ICCV*, Venice 2017, pp. 2242-2251.

34 A. Radford et al., *Learning Transferable Visual Models from Natural Language Supervision (CLIP)*, in *Proceedings of ICML*, 2021, pp. 8748-8763.

35 P. Esser, R. Rombach, B. Ommer, *Taming Transformers for High-Resolution Image Synthesis (VQGAN)*, in *Proceedings of CVPR*, 2021, pp. 12873-12883.

36 A. Ramesh et al., *Hierarchical Text-Conditional Image Generation with CLIP Latents (DALL-E 2)*, arXiv:2204.06125, 2022. Cfr. App. A1, Scheda 27.

37 Midjourney, *Model Versions*, docs.midjourney.com, novembre 2022. Cfr. App. A1, Scheda 29.

pittoriche sofisticate, trattamento atmosferico della luce, sensibilità materica — che bilancia astrazione artistica e leggibilità spaziale. *Stable Diffusion* (agosto 2022)[38], basato su *Latent Diffusion Models*, fu rilasciato in modalità *open source* permettendo l'esecuzione su *hardware consumer* e generando un ecosistema prolifico di varianti, interfacce — AUTOMATIC1111, *ComfyUI* — e integrazioni con *software* di produzione quali *Photoshop* e *Blender*. La possibilità di eseguire *fine-tuning* del modello su *dataset* specifici — opzione resa praticabile proprio dalla natura aperta del rilascio — è una delle ragioni per cui la presente ricerca ha scelto *Stable Diffusion* come piattaforma di sperimentazione documentata nel Cap. 3.1.2.

Il *workflow* operativo su queste piattaforme si articola in fasi iterative di raffinamento. Il *prompt engineering* — competenza trasversale di cui il Cap. 1.3.1 ha documentato i principi generali — assume nella generazione di immagini per architettura una forma specifica: la scelta e il sequenziamento di parole-chiave (nome dell'autore di riferimento, tipologia architettonica, stile rappresentativo, metodo proiettivo, qualità atmosferiche, caratterizzazione materica) determina drasticamente il risultato.

Prompt efficaci bilanciano specificità — per guidare la generazione — e apertura — per preservare varietà creativa — strutturandosi tipicamente come: '[Soggetto architettonico], [Autore/Stile], [Metodo rappresentativo], [Qualità atmosferiche]'. L'integrazione di immagini di riferimento (*image prompts*) permette un controllo più granulare: caricare uno *sketch*, un'immagine di contesto o opere di riferimento indirizza composizione, proporzioni, *palette* cromatica e dettagli morfologici dell'*output*.

Il processo generativo richiede molteplici iterazioni, generando tipicamente 20-50 varianti, selezionando quelle

38 R. Rombach et al., *High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models*, in *Proceedings of CVPR*, New Orleans 2022, pp. 10684-10695. Cfr. App. A1, Scheda 31.

promettenti, raffinando *prompt* e immagini di riferimento, rigenerando, in un dialogo progettuale iterativo fra intenzione umana e interpretazione algoritmica.
Questo *workflow* è quello che il Cap. 3.1.1 documenta operativamente attraverso le sperimentazioni condotte con *Midjourney* per la costruzione del *corpus* visivo del [vIrtuAl museum].
Nonostante risultati visivamente impressionanti, i sistemi *text-to-image* presentano limitazioni significative per applicazioni architettoniche professionali. Le immagini generate, pur alludendo a tridimensionalità architettoniche a prima vista riconoscibili e credibili, celano frequentemente 'incoerenze proiettive e/o costruttive latenti': prospettive impossibili, punti di fuga multipli incoerenti, dettagli strutturali implausibili, discontinuità geometriche. Proprio questo limite — la bidimensionalità intrinseca dell'*output* e l'assenza di controllo sulla terza dimensione — motiva il ricorso ai sistemi di generazione *text-to-3D* e *image-to-3D* che il Cap. 1.3.4 documenta, e che costituiscono il naturale complemento della pipeline progettuale.

1.3.3 IA: GENERATORI DI VIDEO (TEXT-TO-VIDEO, IMAGE-TO-VIDEO)

La generazione di sequenze video mediante intelligenza artificiale rappresenta l'estensione naturale, e più complessa, dei sistemi *text-to-image* alla dimensione temporale. Se la sintesi di immagini statiche richiede coerenza spaziale interna, la generazione video aggiunge il vincolo della *temporal consistency*: ogni *frame* deve non solo essere visivamente plausibile, ma anche coerente con i *frame* precedenti e successivi, preservando identità degli oggetti, continuità di movimento, fisica realistica e *narrative flow*.
La complessità computazionale di questa dimensione ha ritardato la maturazione dei sistemi *text-to-video* rispetto ai *text-to-image*, ma i progressi dal 2023 in poi stanno

rapidamente colmando il divario, aprendo scenari inediti per presentazioni architettoniche, *walkthrough* virtuali e narrazione spaziale dinamica.

Le prime sperimentazioni di video generativo mediante *deep learning* risalgono ai tardi anni Dieci del Duemila, con applicazioni delle GAN alla sintesi video. Architetture come DVD-GAN (*Dual Video Discriminator* GAN, 2019)[39] estesero il *framework* adversariale alla dimensione temporale introducendo discriminatori che valutano sia singoli *frame* — *spatial discriminator* — sia sequenze temporali — *temporal discriminator* — forzando il *generator* a produrre video con movimento realistico. Le limitazioni intrinseche delle GAN (instabilità di *training*, *mode collapse*, difficoltà a scalare ad alte risoluzioni) si amplificarono tuttavia nella sintesi video, risultando in sequenze brevi — tipicamente 1-3 secondi — bassa risoluzione e artefatti temporali come *flickering* e discontinuità di movimento.

Il paradigma dei *diffusion models*, dimostratosi superiore per immagini statiche, fu esteso alla generazione video attraverso architetture che modellano distribuzioni probabilistiche su sequenze temporali. I *Video Diffusion Models* (VDM, 2022)[40] applicarono il processo di *denoising* iterativo non a singole immagini ma a volumi spazio-temporali — tensori 3D con dimensioni altezza × larghezza × tempo — incorporando *temporal attention layers* che permettono a ogni *frame* di 'attendere' a *frame* passati e futuri durante il processo generativo. *Make-A-Video* di Meta (settembre 2022)[41] adottò un approccio innovativo: anziché addestrare da zero su video, sfruttò un modello *text-to-image* pre-addestrato aggiungendo *layer* temporali addestrati specificamente

39 A. Clark, J. Donahue, K. Simonyan, *Adversarial Video Generation on Complex Datasets* [DVD-GAN], arXiv:1907.06571, 2019.

40 J. Ho et al., *Video Diffusion Models*, in *Advances in Neural Information Processing Systems*, NeurIPS, 2022.

41 U. Singer et al., *Make-A-Video: Text-to-Video Generation without Text-Video Data*, arXiv:2209.14430, Meta AI, 2022.

su *dataset* video per apprendere dinamiche di movimento realistiche, raggiungendo generazioni a 768×768 *pixel* e durate fino a 5 secondi. *Imagen Video* di Google (ottobre 2022)[42] adottò una filosofia simile attraverso cascate di modelli che progressivamente aumentano qualità e *frame rate* fino a risoluzioni di 1280×768.

Il biennio 2023-2024 ha visto l'emergere di piattaforme commerciali che hanno reso la generazione video accessibile a utenti non tecnici. *Runway Gen-2* (marzo 2023)[43] permise per la prima volta la generazione di video da *prompt* testuali attraverso un'interfaccia *web*, offrendo controllo via testo, immagini di riferimento o video di *input* per lo *style transfer* temporale. *Pika Labs* (aprile 2023)[44] si distinse per le capacità di *image-to-video*: caricando un'immagine statica e specificando il movimento desiderato — *camera pan left*, *zoom in*, *object rotating* — il sistema anima l'immagine preservandone composizione e stile, modalità particolarmente rilevante per architetti che possono trasformare un *rendering* statico di alta qualità in *walkthrough* o *flythrough* senza ricorrere a complessa animazione 3D tradizionale. Il *breakthrough* più significativo è tuttavia rappresentato da *Sora* di OpenAI (febbraio 2024)[45], già citato nel Cap. 1.3.1: *Sora* genera video fino a un minuto di durata a risoluzione 1920×1080 attraverso *Diffusion Transformers* applicati a *patches* spazio-temporali, generando l'intera sequenza video simultaneamente — non *frame-by-frame* sequenzialmente, approccio che accumulerebbe errori propagandoli nel tempo — e dimostrando una comprensione rudimentale della fisica, della persistenza degli oggetti attraverso occlusioni e di movimenti di camera cinematograficamente plausibili.

---

42 J. Ho et al., *Imagen Video: High Definition Video Generation with Diffusion Models*, arXiv:2210.02303, Google Research, 2022.

43 Runway Research, *Gen-2: Text to Video, Image to Video*, blog.runwayml.com, marzo 2023.

44 Pika Labs, *Pika 1.0: Image-to-Video and Text-to-Video*, pika.art, 2023.

45 OpenAI, *Sora: Creating video from text*, openai.com/sora, febbraio 2024.

Nel contesto architettonico, i generatori video offrono potenzialità specifiche che trascendono l'immagine statica e corrispondono alla vocazione dell'architettura a rappresentare non solo lo spazio ma l'esperienza dello spazio nel tempo. I *virtual walkthrough* generativi permettono di esplorare spazi architettonici attraverso sequenze che simulano il movimento di camera all'interno di ambienti: *prompt* come *first-person walkthrough through a parametric museum with fluid organic forms, natural lighting streaming through skylights* generano sequenze esplorative che comunicano l'esperienza spaziale e le atmosfere in modi che i *rendering* statici non catturano. Le transizioni temporali visualizzano mutazioni di spazi nel tempo: *brutalist housing complex transitioning through seasons* o *ancient Roman forum reconstructed from ruins to original splendor* narrano storie architettoniche attraverso metamorfosi temporali. Le animazioni di concetti progettuali materializzano processi morfogenetici: *parametric façade system responding to sunlight angle, panels opening and closing* illustra comportamenti adattivi difficili da comunicare staticamente. Il *workflow* operativo per il *text-to-video* richiede una maggiore precisione progettuale rispetto al *text-to-image*. La specificazione del movimento di camera è cruciale: *static shot*, *slow pan left*, *dolly forward*, *crane shot ascending*, *handheld shaky camera* determinano la cinematografia risultante. La descrizione di azioni e dinamiche deve essere esplicita: elementi che nelle immagini statiche sono impliciti — *person walking*, *wind blowing curtains*, *water fountain flowing* — devono essere verbalizzati. La durata influenza il *pacing* narrativo: sequenze brevi (2-5 secondi) favoriscono singoli movimenti concentrati, mentre durate maggiori (10-30 secondi) richiedono l'articolazione di azioni multiple. L'approccio *image-to-video*, che parte da *rendering* o fotografie esistenti specificando il movimento, risulta particolarmente produttivo: consente di generare

il *rendering* statico ad alta qualità in *software* tradizionali — *Lumion*, *V-Ray* — e di animarlo successivamente via IA preservando la qualità visiva originale[46].

La generazione video non sostituisce l'animazione 3D tradizionale ma ne complementa le logiche: produce esiti visivamente ricchi da input testuali o da immagini singole, accorciando drasticamente i tempi di produzione in fase di *concept* ma senza produrre geometria effettivamente navigabile. Proprio questo limite — l'assenza di una geometria manipolabile sottostante alla sequenza video — conduce alla soglia dei sistemi *text-to-3D* e *image-to-3D* documentati nel Cap. 1.3.4, in cui l'IA generativa passa dalla rappresentazione bidimensionale dinamica alla produzione di geometrie tridimensionali propriamente intese.

1.3.4 IA: GENERATORI DI MODELLI 3D (TEXT-TO-3D, IMAGE-TO-3D)

La generazione di modelli tridimensionali mediante intelligenza artificiale costituisce la frontiera tecnicamente più complessa e architettonicamente più promettente dell'IA generativa, in quanto produce *output* direttamente utilizzabili in *pipeline* di progettazione CAD/BIM, *rendering engine* e fabbricazione digitale.

A differenza di immagini e video — rappresentazioni bidimensionali di spazi tridimensionali — i sistemi *text-to-3D* e *image-to-3D* generano geometrie vere: manipolabili, interrogabili e computabili. Si tratta di *mesh* poligonali, nuvole di punti, volumi *voxel* e rappresentazioni implicite.

Nella prospettiva della ricerca questi sistemi occupano una posizione strategica: rappresentano il punto di convergenza fra l'IA generativa e il paradigma algoritmico-parametrico analizzato nel Cap. 1.2.4, poiché producono geometria — il substrato materiale su cui operano *Rhinoceros*, *Grasshopper*

46 Per l'applicazione operativa del *workflow image-to-video* nella ricerca cfr. Cap. 3.1.1, in cui la sequenza *Embryological 1-4* documenta l'iterazione *text-image-video-3D*.

e i *workflow* documentati nel Cap. 3 — direttamente da descrizioni linguistiche[47]. Le prime generazioni 3D mediante *deep learning* utilizzarono rappresentazioni *voxel*, griglie tridimensionali regolari analoghe ai *pixel* in 2D. Architetture come 3D-GAN (2016)[48] e 3D-VAE estesero le reti convoluzionali alla terza dimensione, generando volumi *occupancy-based* da rumore casuale o da condizioni latenti. La rappresentazione *voxel* scala tuttavia cubicamente con la risoluzione: passare da 32 a 256 *voxel* per lato moltiplica per 512 il *memory footprint* e il costo computazionale, rendendo impraticabili i dettagli fini. La *point cloud generation* offre una rappresentazione più efficiente: reti come *PointNet* e *PointNet++* (2017)[49] processano direttamente nuvole di punti non ordinate, apprendendo *features* invarianti a permutazioni. *Point-E* di OpenAI (2022)[50] genera nuvole di punti da *prompt* testuali attraverso un processo a due stadi: un modello *text-to-image* genera prima una vista sintetica dell'oggetto desiderato, poi un modello *image-to-point-cloud* predice le coordinate 3D di 1.000-4.000 punti che approssimano la superficie. Le nuvole generate possono essere convertite in *mesh* tramite algoritmi di ricostruzione superficiale — *Poisson*, *Ball-Pivoting* — sebbene questa conversione introduca artefatti che richiedono *cleanup* manuale.

La rivoluzione recente nei sistemi *text-to-3D* deriva dall'integrazione di rappresentazioni implicite, in particolare i *Neural Radiance Fields* (*NeRF*)[51], con modelli di diffusione 2D

---

47 Per la documentazione sistematica dei sistemi *image-to-3D* cfr. Cap. 3.1.1, in particolare le iterazioni *text-image-video-3D* della Fase 3 e la ricostruzione NeRF della Fase 5. Per il *workflow ChatGPT-GHPython-Grasshopper* come alternativa parametrica cfr. Cap. 3.1.3.

48 J. Wu et al., *Learning a Probabilistic Latent Space of Object Shapes via 3D Generative-Adversarial Modeling (3D-GAN)*, in *Advances in Neural Information Processing Systems*, NIPS, 2016.

49 C. R. Qi et al., *PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation*, in *Proceedings of CVPR*, Honolulu 2017, pp. 652-660.

50 A. Nichol et al., *Point-E: A System for Generating 3D Point Clouds from Complex Prompts*, arXiv:2212.08751, OpenAI, 2022.

51 B. Mildenhall et al., *NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis*, in *Proceedings of ECCV*, 2020, pp. 405-421.

pre-addestrati. *NeRF* rappresenta scene 3D come funzioni continue mappate da reti neurali: data una coordinata 3D e una direzione di vista, la rete predice densità volumetrica e colore RGB in quel punto, permettendo un *rendering* fotorealistico tramite *ray marching*. *DreamFusion* (2022)[52] sfrutta questa rappresentazione in modo innovativo: anziché addestrare su *dataset* 3D — scarsi e costosi — utilizza un *diffusion model* 2D pre-addestrato (*Imagen*) come 'prior' visivo per ottimizzare un *NeRF*. Il processo, denominato *Score Distillation Sampling* (SDS), renderizza il *NeRF* corrente da angolazioni casuali, valuta quanto le viste 2D corrispondano al *prompt* testuale secondo il *diffusion model*, e aggiorna il *NeRF* per migliorare l'allineamento: generazione 3D coerente multi-vista senza mai vedere dati 3D durante il *training*, sfruttando la conoscenza visiva acquisita dal modello 2D su miliardi di immagini.

L'approccio *DreamFusion* ha ispirato varianti e miglioramenti significativi. *Magic3D* (NVIDIA, 2022)[53] accelerò il processo attraverso un'ottimizzazione *coarse-to-fine*: una geometria grossolana a bassa risoluzione raffinata progressivamente. *ProlificDreamer* (2023)[54] migliorò qualità e diversità attraverso la *variational score distillation*. Parallelamente, rappresentazioni alternative al *NeRF* emersero per ragioni di efficienza computazionale. Il *3D Gaussian Splatting* (2023)[55] rappresenta scene come collezioni di gaussiane 3D orientate — primitive semplici definite da posizione, covarianza, opacità e colore — renderizzabili in tempo reale tramite rasterizzazione. Sistemi come *DreamGaussian*

---

52 B. Poole et al., *DreamFusion: Text-to-3D using 2D Diffusion*, arXiv:2209.14988, Google Research, 2022.

53 C.-H. Lin et al., *Magic3D: High-Resolution Text-to-3D Content Creation*, in *Proceedings of CVPR*, Vancouver 2023, pp. 300-309.

54 Z. Wang et al., *ProlificDreamer: High-Fidelity and Diverse Text-to-3D Generation with Variational Score Distillation*, arXiv:2305.16213, 2023.

55 B. Kerbl et al., *3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering*, in «ACM Transactions on Graphics», 42/4, 2023.

(2023)[56] applicano l'SDS non al *NeRF* ma alle gaussiane, generando modelli 3D in pochi minuti anziché ore, con qualità competitiva e *mesh* estraibili per l'*editing*.

L'emergere di piattaforme commerciali ha reso accessibile l'accesso al 3D generativo. *Meshy AI*[57] offre un'interfaccia *web* per *text-to-3D* e *image-to-3D*, generando *mesh* texturizzate in 2-3 minuti, esportabili in formati standard — *OBJ*, *FBX*, *GLTF* — compatibili con *Blender*, *Unity* e *Unreal*. *Luma AI*[58] si specializza invece nell'*image-to-3D* da fotografie multiple: caricando 20-50 foto di un oggetto reale, il sistema ricostruisce il modello 3D attraverso *NeRF*, approccio utile per l'*asset scanning* e i *digital twin*. Nella presente ricerca, *Luma AI* è stato utilizzato nella Fase 5 del Cap. 3.1.1 per la ricostruzione NeRF applicata alle sequenze video generate con *Midjourney Animate*, documentate nella serie *Embryological 1-4*. *Spline AI* integra la generazione 3D direttamente in un ambiente di modellazione, permettendo *prompt* come *generate modern chair* con *output* manipolabile attraverso strumenti CAD tradizionali. *Rodin* (2023) si distingue per la generazione di *avatar* umani fotorealistici da descrizioni testuali o da singole fotografie, rilevante per il popolamento di *walkthrough* architettonici.

Le applicazioni architettoniche del 3D generativo spaziano su scale diverse. L'*asset generation* produce elementi ripetibili: *prompt* come *neoclassical column capital*, *art deco railing detail*, *parametric facade panel* generano componenti esportabili in librerie. I *massing studies* esplorano volumetrie: *residential tower with terraced setbacks and green balconies* genera *concept models* rapidamente iterabili. *Furniture* e oggetti d'interno popolano gli spazi: *mid-century modern armchair* o *contemporary pendant light fixture*

56 J. Tang et al., *DreamGaussian: Generative Gaussian Splatting for Efficient 3D Content Creation*, arXiv:2309.16653, 2023.

57 Meshy AI, *Text to 3D and Image to 3D*, meshy.ai, 2023. Cfr. App. A1, Scheda 32.

58 Per *Luma AI* e il suo impiego nella ricostruzione NeRF cfr. App. A1, Scheda 28. Per l'applicazione operativa nella ricerca cfr. Cap. 3.1.1, Fase 5.

forniscono *placeholder* realistici per le visualizzazioni. Le *contextual reconstructions* ricostruiscono edifici storici da documentazione frammentaria: descrivendo stile, periodo e tipologia, il sistema genera interpretazioni plausibili di architetture perdute — applicazione che si colloca nella linea di ricerca dell'eredità digitale e dei musei virtuali come strumenti di conservazione della memoria architettonica, direttamente pertinente alla presente tesi[59].

I limiti architettonici rimangono tuttavia severi. La precisione dimensionale è inadeguata per la documentazione tecnica: i modelli generati raramente rispettano proporzioni metriche esatte, tolleranze costruttive o standard normativi. La topologia è spesso difettosa — *mesh* con buchi, facce *non-manifold*, normali invertite, geometria auto-intersecante — che richiedono un *cleanup* estensivo in *software* come *Blender* o *Rhino* prima dell'utilizzo. Anche la scala architettonica è problematica: sistemi addestrati prevalentemente su oggetti singoli faticano con edifici completi, che richiedono una comprensione di sistemi strutturali, gerarchie spaziali e relazioni funzionali. L'articolazione costruttiva — stratificazione di materiali, dettagli di connessione, sistemi impiantistici — è assente: i modelli generati sono 'sculture' monolitiche piuttosto che assemblaggi tecnici. La semantica BIM — classificazione di componenti, attributi informativi, relazioni gerarchiche — non è supportata: gli *output* sono *mesh* 'mute' senza metadati[60]. Di conseguenza l'uso professionale attuale privilegia le fasi preliminari — *concept development*, *visual brainstorming*, prototipazione morfologica rapida — nella consapevolezza che le geometrie generate richiederanno

---

59 Cfr. M. Unali, *Architettura e tecnocultura «post» digitale*, cit., pp. 17-18, sull'uso del virtuale per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico. Il museo virtuale come strumento di memoria e ricostruzione è tema centrale del Cap. 4 della presente ricerca.

60 Cfr. A. Tedeschi, *Parametric Architecture with Grasshopper*, Le Penseur, Brienza 2010, pp. 12-15, sulla distinzione fra geometria 'muta' e geometria 'intelligente' — parametrica, semanticamente strutturata — come criterio fondamentale nella valutazione degli strumenti di modellazione digitale.

una ricostruzione sostanziale per le applicazioni tecniche. È precisamente per questa ragione che la presente ricerca ha sperimentato il *workflow ChatGPT-GHPython-Grasshopper* accanto alla generazione 3D *end-to-end*: l'integrazione fra *LLM* e progettazione parametrica preserva la qualità geometrica e il controllo progettuale che i sistemi *text-to-3D* ancora non garantiscono. È la declinazione operativa di quella 'delega consapevole' introdotta nel preambolo del Cap. 1.3: delegare all'IA non il risultato finale — la forma costruita — ma la generazione del codice parametrico che, eseguito dal progettista nell'ambiente *Grasshopper*, produce una geometria controllata, riproducibile, modificabile. I sistemi conversazionali basati su *Large Language Models*, che la sezione 1.3.5 approfondirà, diventano in questa prospettiva non strumenti paralleli ai generatori visivi ma la loro necessaria complementazione metodologica.

1.3.5 IA: CHATBOT CONVERSAZIONALI (LARGE LANGUAGE MODELS)

I *chatbot* conversazionali basati su *Large Language Models* (*LLM*) rappresentano un'innovazione qualitativa rispetto ai sistemi generativi di immagini, video e modelli 3D: anziché produrre *output* visivi o geometrici, gli *LLM* generano linguaggio naturale e codice, funzionando come interfacce dialogiche attraverso cui utenti non tecnici possono accedere a conoscenze specialistiche, automatizzare compiti cognitivi complessi e orchestrare *workflow* multi-strumento.

Nel contesto architettonico, la capacità di tradurre descrizioni verbali in istruzioni formalizzate — *script Python*, definizioni *Grasshopper*, documentazione tecnica — trasforma radicalmente l'accessibilità del *design* computazionale. È il presupposto metodologico del Cap. 3.1.3 della presente ricerca, in cui *ChatGPT* assume precisamente questo ruolo di traduttore fra intenzione verbale e codice eseguibile.

Come documentato nel Cap. 1.3.1, gli *LLM* contemporanei — *ChatGPT*[61], *Claude*[62], *Gemini*[63] — sono *Transformer decoder-only* addestrati attraverso *next token prediction* su *corpora* testuali massicci: trilioni di *token* estratti da *web*, libri, codice sorgente, articoli scientifici. *GPT-4* (marzo 2023)[64], con capacità multimodali native e *context window* di 128.000 *token*, dimostra *performance* sovraumane in *benchmark* di ragionamento complesso ed esami professionali, e in particolare nella *code generation*: scrive codice funzionante in decine di linguaggi con un'accuratezza che raggiunge il 67% nel *benchmark HumanEval*[65]. *Claude 3.5 Sonnet* (giugno 2024)[66] si distingue per il *context window* esteso — 200.000 *token* — per capacità analitiche raffinate grazie al *Constitutional AI training* e per una particolare affidabilità nel ragionamento *step-by-step* e nel *debugging* di codice complesso. *Gemini 1.5 Pro* (febbraio 2024)[67] introduce un *context window* da un milione di *token* — sufficiente per l'analisi di interi *repository* di codice o di sessioni di progettazione multi-giornaliere — e una multimodalità nativa più sofisticata che processa simultaneamente testo, immagini, audio e video.

L'assistenza progettuale conversazionale estende questo paradigma oltre il puro *coding*. Gli *LLM* possono analizzare *brief* progettuali identificando vincoli e priorità confliggenti, suggerire precedenti storici e riferimenti tipologici pertinenti, generare alternative programmatiche articolando diverse organizzazioni spaziali, criticare

---

61 OpenAI, *Introducing ChatGPT*, blog.openai.com, novembre 2022. Cfr. App. A1, Scheda 30.

62 Anthropic, *Claude 3.5 Sonnet Model Card*, anthropic.com, giugno 2024. Cfr. App. A1, Scheda 34.

63 Google DeepMind, *Gemini: A Family of Highly Capable Multimodal Models*, Technical Report, arXiv:2312.11805, 2023. Cfr. App. A1, Scheda 33.

64 OpenAI, *GPT-4 Technical Report*, arXiv:2303.08774, 2023.

65 M. Chen et al., *Evaluating Large Language Models Trained on Code (HumanEval)*, arXiv:2107.03374, OpenAI, 2021.

66 Anthropic, *Claude 3.5 Sonnet Model Card*, cit

67 Google DeepMind, *Gemini 1.5: Unlocking multimodal understanding across millions of tokens of context*, arXiv:2403.05530, 2024. Cfr. App. A1, Scheda 33.

proposte progettuali evidenziando incongruenze funzionali o normative, tradurre concetti narrativi in parametri quantitativi — *an intimate*, *contemplative space* in *ceiling height* 2,4-2,7 *m*, *indirect lighting* 150-300 *lux*, *acoustic absorption* >0,6. Questo *design reasoning* supporta le fasi concettuali attraverso l'esternalizzazione del ragionamento progettuale, permettendo un dialogo iterativo che affina le intuizioni iniziali. La capacità di mantenere il contesto su conversazioni lunghe garantisce continuità progettuale: l'*LLM* 'ricorda' decisioni precedenti, vincoli discussi, alternative scartate, assicurando coerenza in sessioni multi-giornaliere. Maurizio Unali descrive questa modalità come «interazione continua» fra progettista e sistema digitale[68] — non una transazione puntuale ma un processo dialogico prolungato che trasforma progressivamente l'intenzione in forma.

Il *prompt engineering* per sistemi visivi rappresenta un'ulteriore meta-applicazione: utilizzando *LLM* per generare *prompt* ottimizzati per *Midjourney*, *Stable Diffusion* o *Runway*, un *meta-prompt* produce *prompt* tecnici strutturati che aiutano la formulazione del *prompt* finale. Questa orchestrazione multi-strumento — *LLM* come *control layer* che coordina la generazione di immagini, la modellazione 3D e il *post-processing* — realizza operativamente il concetto di orchestrazione *multi-model* già descritto nel Cap. 1.3.1. La multimodalità recentemente introdotta amplia ulteriormente le capacità dialogiche: *GPT-4 Vision* (*GPT-4V*) processa immagini oltre al testo, permettendo conversazioni su planimetrie, fotografie e disegni tecnici caricati dall'utente; *Claude* 3 analizza documenti con grafici incorporati, diagrammi e tabelle complesse, estraendo informazioni in modo trasversale

68 M. Unali, *Virtuale: invariante storica del disegno di architettura*, in M. Unali (a cura di), *Abitare Virtuale: Rappresentazioni*, Gangemi, Roma 2022, p. 20: «vedere, toccare, udire, muoverci, modificare in tempo reale» come attributi del «ludico spazio virtuale», attributi che il dialogo con l'*LLM* realizza nella dimensione cognitiva del processo progettuale.

fra modalità; *Gemini* 1.5 processa video architettonici identificando sequenze spaziali, analizzando materiali e illuminazione *frame-by-frame*, generando descrizioni narrative di *walkthrough*.

Nonostante i limiti, gli *LLM* configurano una forma di *augmented intelligence*: non sostituiscono la competenza progettuale umana ma ne amplificano le capacità cognitive, accelerano compiti ripetitivi, abbassano barriere tecniche. L'integrazione critica e consapevole degli *LLM* nel processo progettuale — nel caso specifico della presente ricerca, nel metaprogetto del [vIrtuAl museum] — è ciò che il Cap. 3.1.3 ha sperimentato operativamente: *ChatGPT* come traduttore fra intenzione verbale e codice *Python* eseguibile in *GHPython*, con il progettista che mantiene il controllo della logica generativa, dei parametri architettonici e della valutazione qualitativa del risultato.

Il Cap. 1.3 ha così tracciato la mappa dell'ecosistema dell'IA generativa — immagini, video, geometria 3D, linguaggio — che costituisce il contesto operativo della ricerca e il fondamento tecnico del metaprogetto documentato nella Seconda Parte. Insieme al Cap. 1.1 (genealogia critica dell"abitare virtuale') e al Cap. 1.2 (tecnologie, esperienza e rappresentazione), il Cap. 1.3 chiude la trattazione teorica del Cap. 1. La sintesi visiva e relazionale di tutta questa trama concettuale è affidata al Cap. 2 — *Mappa concettuale sull"abitare virtuale*' — che chiude la Prima Parte come cerniera verso la Seconda.

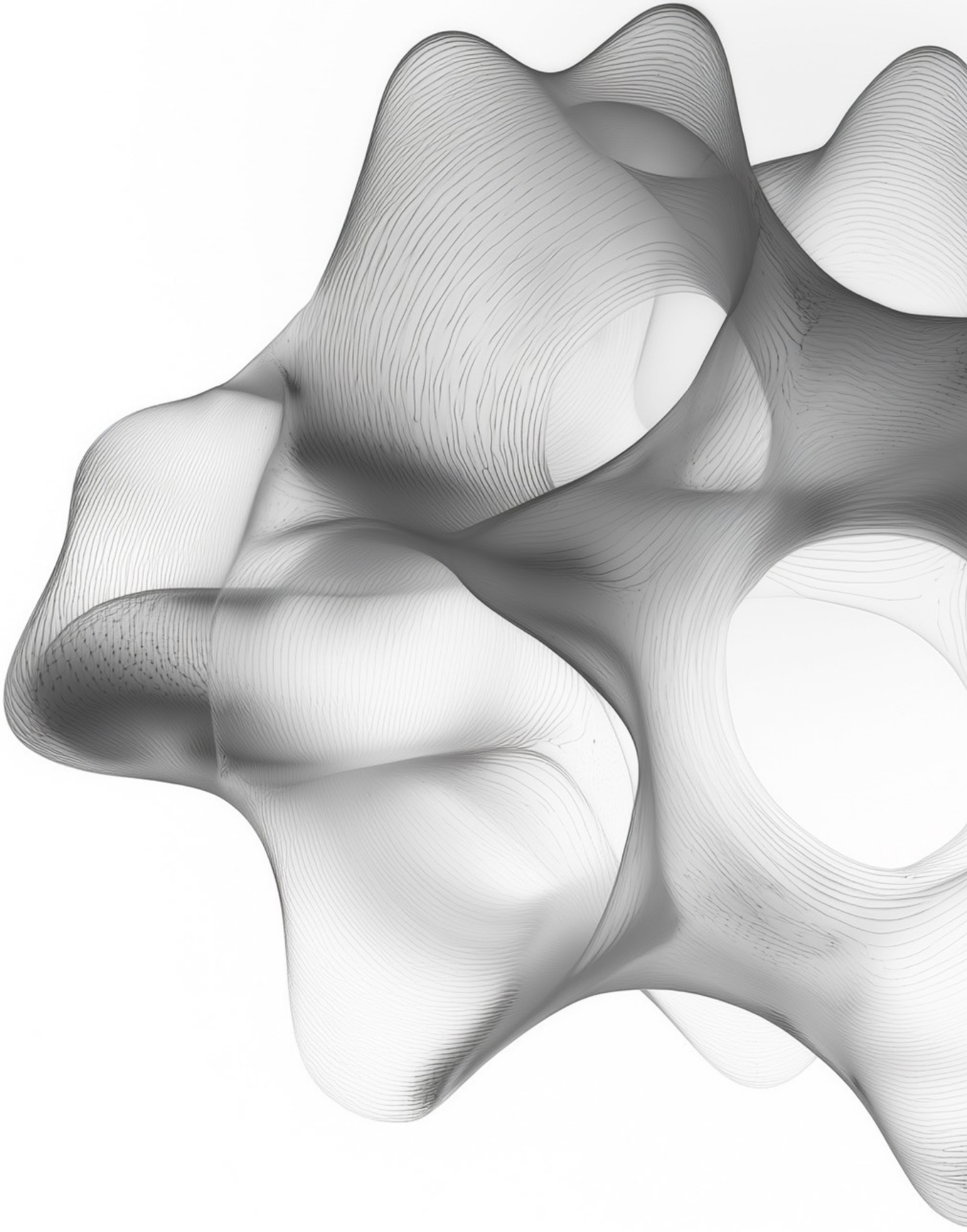


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.





PRIMA PARTE

2 | MAPPA CONCETTUALE SULL''ABITARE VIRTUALE'

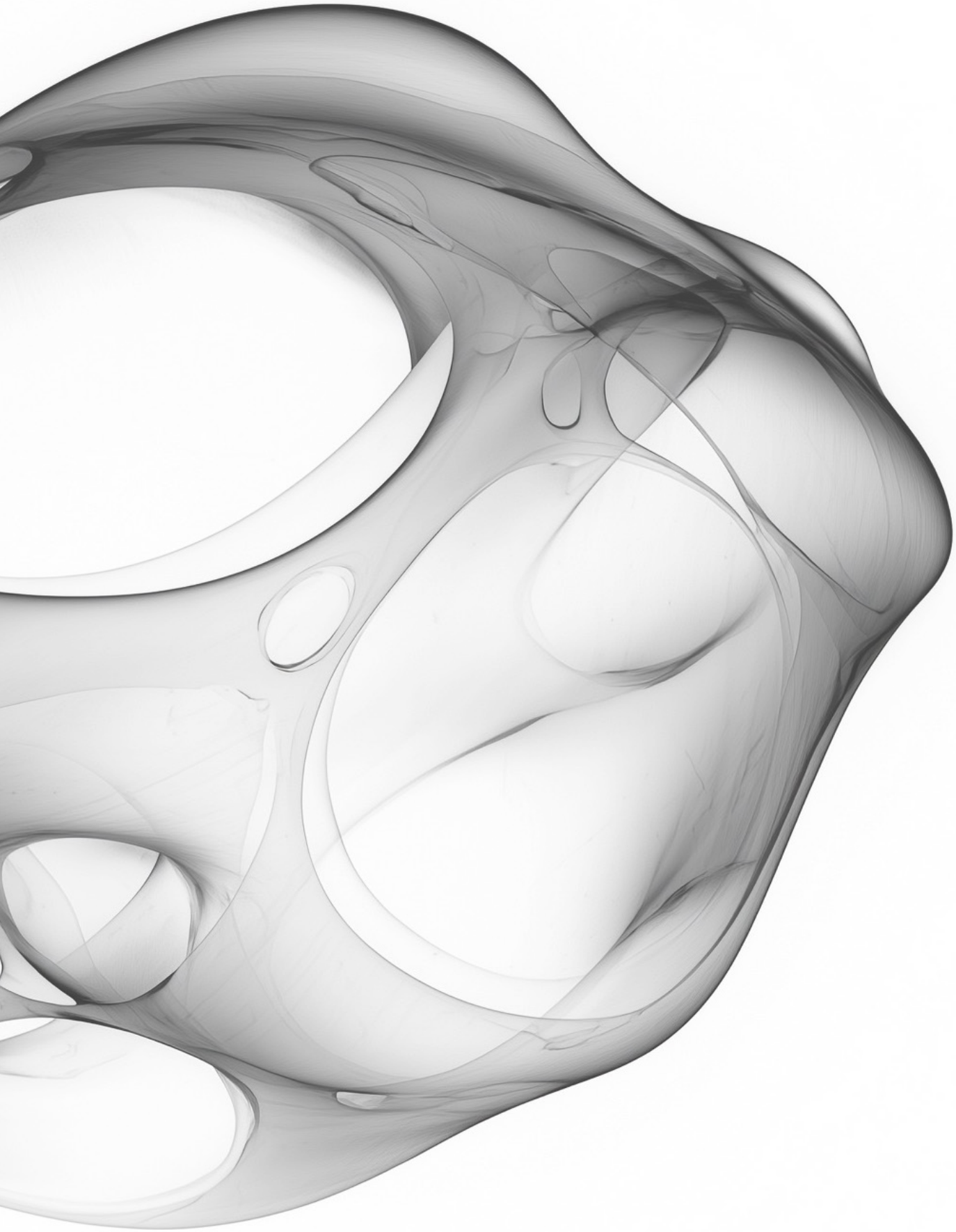


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

2 MAPPA CONCETTUALE SULL"ABITARE VIRTUALE'

La mappa concettuale che chiude la Prima Parte e introduce la Seconda non è un elaborato illustrativo aggiunto per completare visivamente la ricerca: è uno strumento epistemologico autonomo, un dispositivo di conoscenza che produce significati non riducibili al testo che accompagna. La mappa sull"abitare virtuale' è il risultato di un processo di selezione, classificazione e disposizione dei 112 oggetti del catalogo (cfr. App. A1) in uno spazio bidimensionale prima e tridimensionale poi, in cui la posizione di ciascun elemento non è casuale ma carica di significato — temporale, categoriale, relazionale. Leggere la mappa significa comprendere l"abitare virtuale' come sistema di relazioni e non come elenco di eventi.

Questa concezione della mappa come strumento di ricerca è coerente con la tradizione delle 'mappe concettuali' nell'ambito della didattica e della ricerca visiva. La mappa sull"abitare virtuale' non è prodotta a posteriori per comunicare risultati già acquisiti, ma è parte integrante del processo di ricerca stesso. La disposizione dei 112 oggetti nello spazio della mappa ha orientato la costruzione del catalogo, suggerito connessioni non previste fra elementi appartenenti a categorie diverse, evidenziato addensamenti e rarefazioni temporali che il testo del Cap. 1.1 non avrebbe potuto rendere visibili con la stessa immediatezza. La mappa è sia prodotto che strumento della ricerca: un dispositivo che non esegue istruzioni ma apre possibilità.

2.1 LA MAPPA BIDIMENSIONALE

La mappa bidimensionale — elaborata con strumenti di visualizzazione vettoriale e organizzata attorno a una *timeline* orizzontale — articola i 112 elementi del catalogo su due livelli di lettura simultanei (cfr. Fig. 1).

Il primo livello è temporale: la linea del tempo scorre da sinistra a destra lungo la parte centrale della mappa, suddivisa nelle sei fasi storiche identificate nel Cap. 1.1 — *Le origini* (1950-1970), *Personal computing e cyberspace* (1971-1990), *L'architettura digitale* (1991-2000), *Mondi persistenti e social gaming* (2001-2010), *VR consumer e blockchain* (2011-2020), *Metaverso e IA generativa* (2021-2025).

Ogni oggetto del catalogo è posizionato in corrispondenza del proprio anno di riferimento attraverso un sistema di nodi colorati che ne codifica la categoria di appartenenza: azzurro ciano per le *Tecnoculture*: *Hardware*, *Software* e IA (Schede 1-34), grigio per i *Riferimenti Concettuali e Visivi* (Schede 35-72), magenta per l'*Abitare Virtuale* (Schede 73-112). Il codice cromatico è triadico e strutturale — non decorativo ma semantico — capace di rivelare a colpo d'occhio la distribuzione e la densità relativa delle tre categorie nel tempo.

Il secondo livello di lettura è relazionale e tematico, ed è quello che distingue questa mappa da una semplice *timeline*. Nella zona in alto a sinistra della mappa un sistema di nodi tematici più grandi organizza gli oggetti del catalogo attorno a macro-categorie trasversali rispetto alla periodizzazione temporale: Letteratura, Esposizioni, *Gaming*, Cinematografia, Architettura, *Software*, *Hardware*, Intelligenza Artificiale, Eventi.

Questi nodi non coincidono con le tre macro-categorie del catalogo: le attraversano trasversalmente, mostrando come un oggetto possa appartenere contemporaneamente alla categoria *Tecnoculture* per il suo valore storico e alla categoria Cinematografia per la sua natura mediale.

Al centro della mappa campeggia il nodo più grande, quello che rappresenta la destinazione e il punto di convergenza di tutte le traiettorie: *Virtual World/Virtual Museum* — il luogo verso cui l'intera genealogia documentata si orienta, e che il metaprogetto della Seconda Parte intende costruire.
Sempre in alto, un secondo grande nodo connette le voci più recenti: *Piattaforme/Metaverso*, il campo in cui l'IA generativa e l"abitare virtuale' si incontrano nel presente della ricerca.
La lettura della mappa 2D rivela *pattern* che il testo da solo non potrebbe rendere con uguale immediatezza. Il primo è l'accelerazione temporale visibile nell'addensamento dei nodi verso destra: da quattro o cinque oggetti per fase nel primo ventennio a oltre quaranta nel quinquennio 2021-2025. Questo addensamento non riflette un'espansione del catalogo per inclusività enciclopedica ma una trasformazione reale nel ritmo di produzione culturale e tecnologica dell"abitare virtuale': la densità della mappa è un dato storiografico. Il secondo *pattern* è la progressiva contaminazione fra le tre categorie: nelle prime fasi esse rimangono relativamente separate — le *Tecnoculture* dominano il primo periodo, i *Riferimenti* il secondo — e nelle ultime si intrecciano densamente, con oggetti che appartengono simultaneamente a tutte e tre le categorie e le cui relazioni non possono essere catturate da nessuna singola voce del catalogo.

2.2 LA MAPPA TRIDIMENSIONALE

La decisione di sviluppare una versione tridimensionale della mappa (cfr. Figg. 2-6) non è emersa da un'esigenza estetica — non si trattava di rendere più 'spettacolare' una visualizzazione già efficace — ma da un limite strutturale della rappresentazione bidimensionale emerso nell'analisi del quinquennio 2021-2025.
La concentrazione di quasi quaranta oggetti del catalogo in

un arco temporale di soli cinque anni produceva sulla mappa 2D un addensamento di nodi sovrapposti e illeggibili, in cui la ricchezza del catalogo si traduceva paradossalmente in una perdita di informazione visiva.

In una rappresentazione planare, la densità eccessiva di dati in una zona limitata dell'asse temporale può essere gestita solo attraverso semplificazione — riduzione degli oggetti rappresentati — o attraverso *zoom* che spezzano la continuità della *timeline*. Nessuna delle due soluzioni era accettabile: la prima avrebbe tradito la completezza del catalogo, la seconda ne avrebbe rotto la leggibilità complessiva.

La soluzione tridimensionale risolve questo problema strutturale introducendo un terzo asse — quello verticale, Z — che consente di distribuire i nodi nello spazio senza sovrapporre quelli temporalmente contemporanei. In una rappresentazione 3D navigabile, due oggetti dello stesso anno e della stessa categoria possono occupare posizioni diverse lungo l'asse Z senza perdere la loro collocazione temporale sull'asse X né la loro appartenenza categoriale sull'asse Y. Il terzo asse non porta informazione semantica aggiuntiva — l'altezza di un nodo nella nuvola tridimensionale non rappresenta un valore misurabile — ma svolge una funzione fondamentale di *jitter*: distribuisce visivamente gli oggetti che altrimenti si sovrapporrebbero, preservando la leggibilità del sistema anche nelle zone di massima densità.

Il workflow di costruzione: Gemini, Google AI Studio, Google Colab

Il processo di costruzione della mappa tridimensionale costituisce esso stesso un caso di studio del *workflow* di co-progettazione uomo-IA documentato nella Seconda Parte, e in questo senso la mappa non è solo un oggetto della ricerca ma una dimostrazione anticipata del suo metodo. Il processo ha seguito un percorso iterativo documentato attraverso *Google AI Studio* — ambiente di sviluppo basato su *Gemini*

3.1 *Pro* — in cui il dialogo conversazionale con il sistema di IA generativa ha guidato la progressiva costruzione del codice *Python* per la visualizzazione tridimensionale interattiva.

Come nel *workflow* documentato nel Cap. 3.1.3, non si è scritto direttamente il codice di visualizzazione: si sono descritte in linguaggio naturale le caratteristiche estetiche e funzionali desiderate, ricevendo implementazioni successive da raffinare attraverso il dialogo.

Il processo iterativo ha attraversato circa dodici versioni successive, documentate nella trascrizione del dialogo con *Gemini*. Le prime versioni utilizzavano *Plotly Express* — l'API che genera grafici a dispersione 3D con parametri minimi — producendo visualizzazioni funzionali ma esteticamente generiche. Le versioni successive hanno progressivamente adottato *Plotly Graph Objects*, l'API che consente il controllo granulare di ogni elemento della scena: i binari cromatici longitudinali (tre linee colorate che corrono parallele alla *timeline* per ciascuna categoria), gli steli che collegano ciascun nodo al piano di base, il pulviscolo ambientale di 1.200 particelle che riempie lo spazio circostante senza invadere il 'tunnel dei dati', la griglia trasversale bianca con i numeri degli anni a intervalli di cinque, le annotazioni delle sei fasce temporali.

Ogni elemento è stato negoziato con il sistema generativo attraverso richieste specifiche — «rimuovi le pareti del box, lascia solo il pavimento», «sposta i numeri degli anni sul lato opposto alle fasce temporali», «rendi il pulviscolo intelligente: non deve sovrapporsi ai dati» — e implementato in codice *Python* compatibile con *Google Colab*[1].

Il risultato finale — un *file HTML* di circa tre megabyte, navigabile in qualsiasi *browser* senza installazioni ed

1 Il dialogo iterativo con *Gemini 3.1 Pro* è condotto attraverso *Google AI Studio* (aistudio.google.com), ambiente di sviluppo che consente la generazione e il *debugging* di codice *Python* in modalità conversazionale con supporto nativo per librerie di visualizzazione come *Plotly*. *Google Colab* (colab.research.google.com) è l'ambiente di esecuzione che consente di eseguire il codice generato su infrastruttura *cloud* Google, aggirando i limiti *hardware* del sistema locale.

esportabile come PNG ad alta risoluzione per la stampa — non sarebbe stato raggiungibile in tempi compatibili con il ritmo della ricerca senza questo *workflow* ibrido. La mappa 3D è quindi contemporaneamente un oggetto della ricerca e una sua dimostrazione: la prova che il metodo proposto nella Seconda Parte funziona, anticipata nella Prima.

Scelte estetiche e funzionali

La struttura estetica della mappa tridimensionale è il risultato di scelte progettuali precise, ciascuna motivata da ragioni funzionali e culturali. Il fondo nero — ottenuto impostando `paper_bgcolor=black` e disabilitando tutti gli sfondi degli assi — non è una scelta puramente decorativa: crea il contrasto massimo con i tre colori dei nodi (ciano, grigio, magenta), rende i dati immediatamente leggibili anche in proiezione e in stampa ad alta risoluzione, e instilla nella visualizzazione un'atmosfera che richiama esplicitamente l'immaginario del *cyberspace* degli anni Ottanta-Novanta — *Tron*, *Neuromancer*, *The Matrix* — che costituisce il referente culturale fondamentale del primo periodo della genealogia documentata. L'estetica della mappa è coerente con il suo contenuto: una visualizzazione sull"abitare virtuale' che adotta il vocabolario visivo degli spazi virtuali storici non è citazionismo decorativo ma scelta metodologicamente fondata.

I tre binari cromatici longitudinali — tre linee spesse che corrono parallele alla *timeline* sul piano di base della scena, ciascuna nel colore della propria categoria — svolgono una funzione strutturale analoga alle corsie: orientano lo sguardo lungo l'asse temporale, distinguono visivamente le tre categorie anche quando i nodi si addensano in zone di alta densità, e creano un sistema di riferimento spaziale che permette di navigare la scena tridimensionale senza perdere l'orientamento.

Il sistema degli steli risolve il problema classico della

visualizzazione 3D interattiva — capire dove si trova nello spazio un punto sospeso — disambiguando la posizione temporale del nodo anche quando l'angolazione di vista non permette di leggere direttamente la sua posizione sull'asse X. La griglia bianca trasversale — linee sottili che attraversano i tre binari ogni cinque anni, con i numeri degli anni in carattere *monospace* sul lato opposto alle fasce temporali — aggiunge il riferimento quantitativo che i binari da soli non possono fornire[2].

Il pulviscolo ambientale — 1.200 particelle bianche semitrasparenti distribuite attorno alla scena con un algoritmo di esclusione che preserva libero da interferenze il 'tunnel dei dati' — introduce la dimensione atmosferica che distingue la mappa da una visualizzazione puramente tecnica. Le particelle occupano lo spazio esterno alla nuvola di nodi, creando un effetto di nebbia o di polvere stellare che contestualizza i dati in un ambiente spaziale anziché presentarli su uno sfondo neutro. Questa scelta evoca direttamente i mondi virtuali immersivi che la mappa documenta: la scena tridimensionale non è uno spazio di rappresentazione dei dati ma un piccolo ambiente da esplorare, in cui i nodi non sono icone ma oggetti che occupano un volume, e il navigatore non è un lettore passivo ma un esploratore attivo.

La scelta di produrre la mappa come *file HTML* interattivo ha implicazioni che trascendono la semplice usabilità. Un *file HTML* che contiene una scena *Plotly* tridimensionale è accessibile senza installazioni attraverso qualsiasi *browser*, condivisibile via *link* o allegato, incorporabile in pagine *web* o in presentazioni digitali, e soprattutto navigabile in modo non lineare: ciascun utente sceglie la propria traiettoria di

2 Per le specifiche tecniche della mappa tridimensionale: tre binari colorati (width=4 px), steli semitrasparenti (opacity=0.5, width=1 px), griglia trasversale ogni 5 anni (opacity=0.3, colore bianco), numeri degli anni in *font Courier New* (size=11), annotazioni delle fasce temporali in grigio chiaro (#A5A5A5, size=9). Tutti i parametri sono configurabili nel codice sorgente (cfr. App. A2).

esplorazione, il proprio angolo di vista, il proprio livello di *zoom*. Non esiste una sequenza di lettura predeterminata, così come non esiste una sequenza predeterminata di visita in un museo virtuale.

La struttura aperta della mappa rispecchia la struttura aperta dell'esperienza immersiva che il [vIrtuAl museum] intende offrire. Questa analogia fra mappa e museo non è forzata: entrambi sono ambienti nei quali oggetti culturali vengono disposti nello spazio secondo logiche curatoriali esplicite, nei quali il visitatore-lettore costruisce il proprio percorso attraverso scelte di navigazione, nei quali la relazione fra gli oggetti è tanto significativa quanto gli oggetti stessi.

La mappa concettuale sull"abitare virtuale' è in questo senso un museo virtuale: i 112 nodi sono le 'opere', i binari cromatici sono le 'sale', le fasce temporali sono i 'piani'. La navigazione interattiva è un'esperienza di abitare virtuale nel senso più letterale del termine. Il *popup* che appare al passaggio del cursore su ciascun nodo — mostrando titolo, autore, luogo e anno — trasforma ciascun punto della nuvola in un elemento consultabile, non in un dato anonimo.

Le due mappe come rappresentazioni complementari

Le due mappe non si escludono ma si completano, rispondendo a esigenze conoscitive diverse con strumenti diversi. La mappa 2D è ottimale per la lettura delle relazioni tematiche trasversali: i nodi di Letteratura, Esposizioni, *Gaming*, Architettura, Intelligenza Artificiale che organizzano il campo dell"abitare virtuale' attorno al polo centrale del *Virtual World/Virtual Museum* sono visibili solo in una rappresentazione planare, in cui la struttura a grafo delle relazioni non è disturbata dalla profondità.

La mappa 3D è invece ottimale per la lettura della distribuzione temporale e della densità per periodo: la tridimensionalità risolve il problema dell'addensamento nel quinquennio 2021-2025 e rende navigabile una nuvola

di punti che in 2D risulterebbe illeggibile. La coesistenza di rappresentazioni eterogenee è una risposta matura alla complessità dell'oggetto studiato.

La mappa come dimostrazione anticipata del metodo

Il processo di costruzione della mappa 3D — il dialogo iterativo con *Gemini 3.1 Pro* attraverso *Google AI Studio*, l'esecuzione del codice su *Google Colab*, il progressivo raffinamento estetico e funzionale attraverso dodici versioni successive — costituisce esso stesso un caso di studio del metodo che la Seconda Parte documenta sistematicamente. La mappa non è un'illustrazione della metodologia: è una sua prima applicazione concreta, condotta sugli stessi dati che la Prima Parte ha raccolto e organizzato, con gli stessi strumenti che la Seconda Parte utilizzerà per le sperimentazioni più avanzate.

Le mappe generate nelle due versioni 2D e 3D sono documentate nell'apparato grafico allegato al presente capitolo (cfr. Figg. 1-6). I prompt utilizzati per la costruzione del corpus della mappa tridimensionale e gli script generati sono trascritti integralmente in Appendice A2.

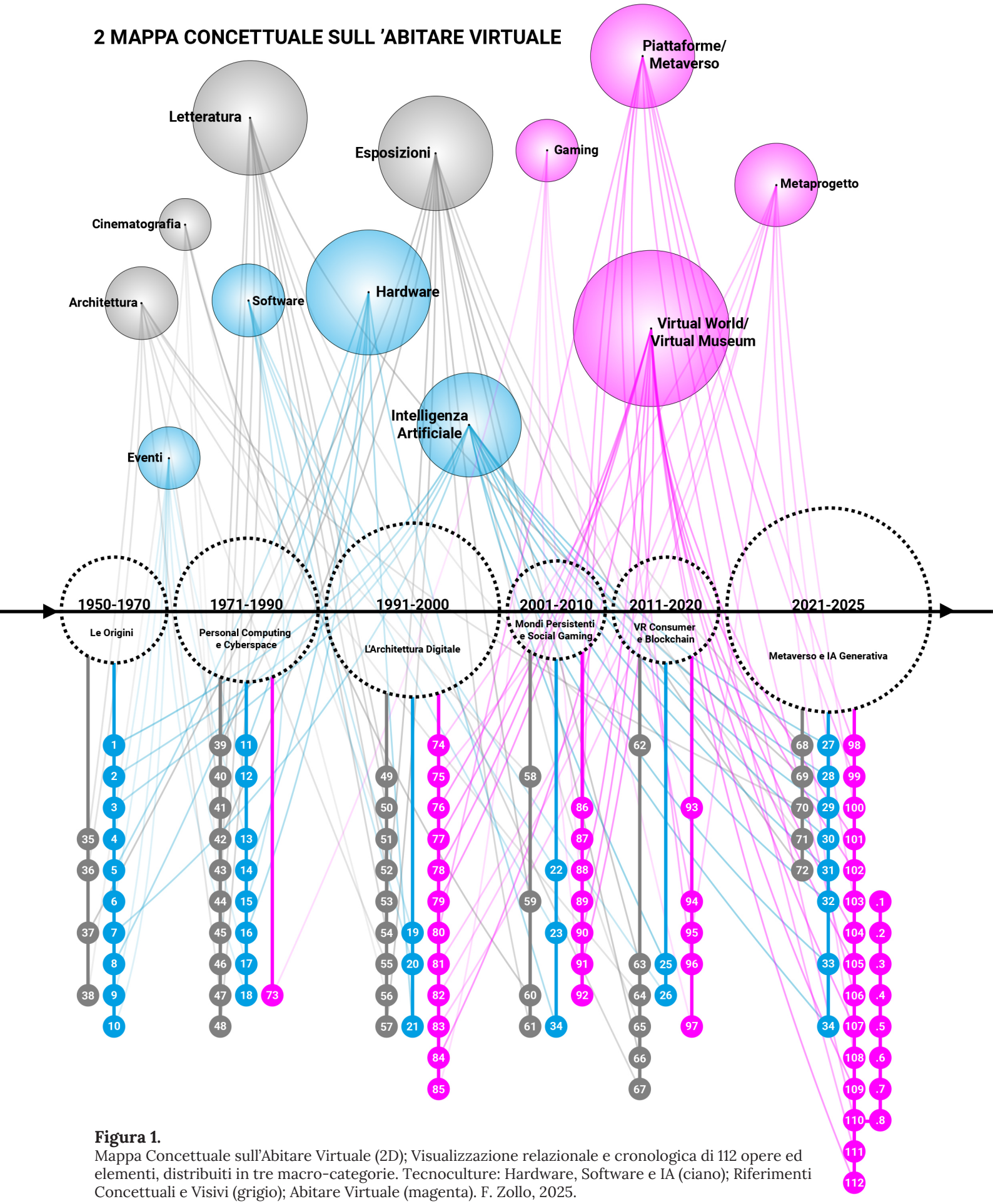


Figura 1.
Mappa Concettuale sull'Abitare Virtuale (2D); Visualizzazione relazionale e cronologica di 112 opere ed elementi, distribuiti in tre macro-categorie. Tecnoculture: Hardware, Software e IA (ciano); Riferimenti Concettuali e Visivi (grigio); Abitare Virtuale (magenta). F. Zollo, 2025.

Tecnoculture Hardware, Software e IA

1 Alan Turing, Computing Machinery and Intelligence
2 Marvin Minsky, Snarc,
3 Frank Rosenblatt, Perceptron
4 Yuri Gagarin, Primo Uomo nello Spazio
5 Ibm, Ibm system/360
6 Luigi Broglio, San Marco 1: Primo Satellite Italiano
7 Joseph Weizenbaum, Eliza, Mit, Usa, 1965
8 Ivan Sutherland & Bob Sproull, The Sword of Damocles
9 Nasa, Apollo 11 / Primo Uomo sulla Luna, Usa, 1969
10 Arpanet, Advanced Research Projects Agency Network
11 Intel, Intel 4004
12 Robert Metcalfe, Ethernet
13 Nasa, Space Shuttle Columbia: Primo volo Shuttle
14 Ibm, Ibm Personal Computer
15 Autodesk, Autocad
16 Apple, Macintosh
17 CNR, Primo Collegamento a Internet in Italia
18 Tim Berners-Lee, World Wide Web
19 Epic Games, Unreal Engine
20 Robert Mcneel & Associates, Rhino 1.0
21 Autodesk, Revit
22 Unity Technologies, unity
23 Robert Mcneel & Associates, Grasshopper 3D
24 Oculus VR, Oculus Rift
25 Google, Bert
26 Epic Games, Twinmotion
27 Openai, Dall·e e Clip
28 Luma Lab, Luma AI
29 Midjourney, Midjourney
30 OpenAI, ChatGPT
31 Stability AI, Stable Diffusion
32 Ethan Hu & Team, Meshy AI
33 Google Deepmind, Gemini 1.5
34 Anthropic, Claude 3.5

Riferimenti Concettuali e Visivi

35 Le corbusier & Iannis Xenakis, Padiglione Philips
36 Frank Lloyd Wright, Solomon R. Guggenheim Museum
37 Biennale di Venezia, La Rivoluzione della Pop Art
38 Stanley Kubrick, 2001: Odissea nello Spazio
39 Biennale di Venezia, Fondazione della sezione Architettura
40 Charles Jencks, The Language of Post-Modern Architecture
41 Renzo Piano & Richard Rogers,Centre Pompidou
42 Paolo Portoghesi, prima Biennale di Architettura "La Presenza del Passato"
43 Ridley Scott, Blade Runner
44 William Gibson, Burning Chrome
45 Steven Lisberger, Tron
46 William Gibson, Neuromancer
47 Toyo Ito, Torre dei venti, Yokohama
48 Donna Haraway, A Cyborg Manifesto
49 Neal Stephenson, snow crash
50 William J. Mitchell, City of Bits
51 Robert Longo, Johnny Mnemonic
52 Nicholas Negroponte, Being Digital
53 Hans Hollein, Biennale di Venezia "Sensori del Futuro"
54 Derrick de Kerckhove, Global Village Square
55 Frank Gehry, Guggenheim Museum Bilbao
56 Lana e Lilly Wachowski, The Matrix
57 Massimiliano Fuksas, Biennale di Architettura "Less Aesthetics, More Ethics"
58 Diller Scofidio + Renfro, Blur Building
59 Richard Burdett, Biennale di Venezia "cities, architecture and Society"
60 James Cameron, Avatar
61 Expo 2010 Shanghai, "Better City, Better Life", Shanghai, Cina, 2010
62 Ernest Cline, Ready Player One
63 Refik Anadol Studio, Wdch Dreams
64 Snøhetta, Under, Lindesnes
65 Refik Anadol Studio, Machine Hallucination / Unsupervised
66 Ian Cheng, Life After Bob
67 Kevin Roose, Futureproof
68 Hashim Sarkis, Biennale di Venezia "how will we live together?"
69 Matthew Ball, The Metaverse: and how it will revolutionize Everything
70 Populous, Sphere at The Venetian Resort
71 Lesley Lokko, Biennale di Venezia "The laboratory of the future"
72 Carlo Ratti, Biennale di Venezia "intelligens. Natural. Artificial. Collective"

Abitare Virtuale

73 Will Wright, Simcity
74 Markos Novak, Liquid Architectures in Cyberspace
75 Greg Lynn, Blob Architecture
76 Mark Pesce & Tony Parisi, vrml / labyrinth browser
77 Paul Reilly, Dudley Castle Virtual Reconstruction
78 Nicholas Pioch, Webmuseum
79 Lin Hsin Hsin, Lin Hsin Hsin Art Museum
80 Active Worlds inc., Active Worlds
81 Eboy, Pixel Art Cities
82 Peter Heisenman, The Virtual House Competition
83 Fumio Matsumoto, Infotube & Ginga
84 Asymptote, Museo Guggenheim Virtuale
85 Maxis/EA, The Sims
86 Linden Lab, Second Life
87 Mark Zuckerberg, Facebook
88 Google, Google Street View
89 Ubisoft, Assassin's Creed
90 Cao Fei, Rmb City
91 Google, Google Art Project
92 Mojang, Minecraft
93 Fullbright Company, Gone Home
94 Anand Agarawala & Jinha Lee, Spatial
95 Fumio Matsumoto, Memories of Architecture
96 Decentraland, Metaverso Decentralizzato
97 Epic games, Fortnite
98 Zaha Hadid Architects, Liberland Metaverse
99 Mark Zuckerberg, Meta
100 Coop Himmelb(l)au, Deep Himmelblau
101 Radiohead, Kid a mnesia exhibition
102 Krista Kim, Mars House
103 Beeple, Everydays: The first 5000 days
104 Zaha Hadid Architects, Nftism
105 Space Popular, Galleria Virtuale Fundación Arquia
106 BIG + Vice Media, Viceverse
107 Joshua Chaplin, Thecore World
108 OMA, The Underwater Sculpture
109 The Unbuilt Gallery, The Architecture of Virtual Space
110 Metaverse Architecture Biennale, "Presence of the Future"
- **110.1** iheartblob, Proscenium
- **110.2** IL PRISMA, Mirror Worlds
- **110.3** LAVA, Lava World
- **110.4** Leonardo Marchesi, Uplifting Spiral
- **110.5** Mariana Cabugueira, Your Digital-Footprint
- **110.6** OBMI, Absence and Presence, Luminal Conflux
- **110.7** LABVAPRO, SVET, PROm7
- **110.8** Maria Touloupou, Untitled Cyber Sanctum

111 Mstylelab, Mstylelab Metaverse
112 Saul Kim, Flappy Box

Categorie
Anni
Opere

id Tecnoculture Hardware, Software e IA
id Riferimenti Concettuali e Visivi
id Abitare Virtuale

Per un approfondimento cfr. schede catalografiche in Appendice A1.

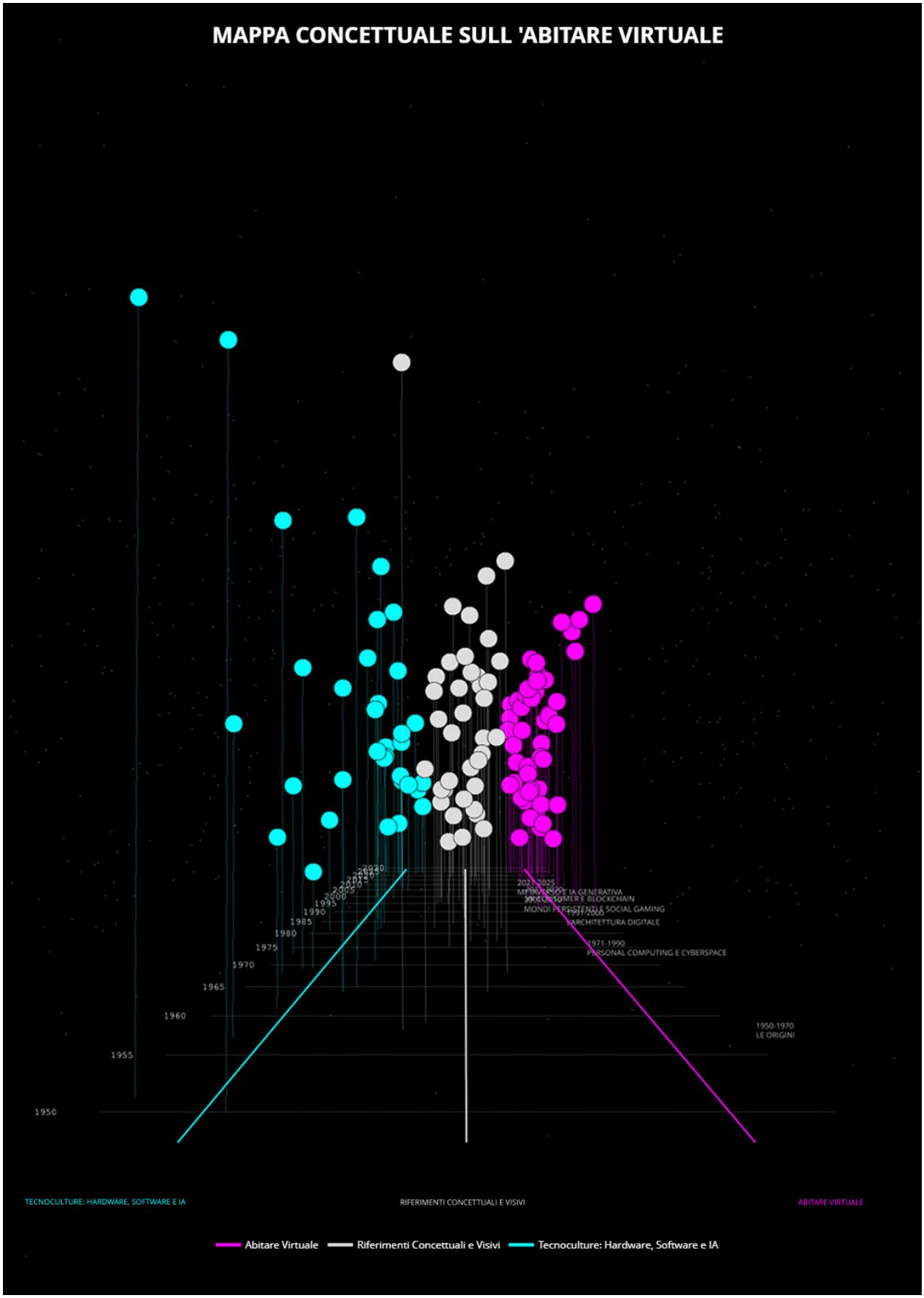


Figura 2.
Mappa Concettuale sull'Abitare Virtuale (3D) — vista prospettica centrale; Visualizzazione tridimensionale interattiva dei 112 oggetti del catalogo distribuiti su tre binari cromatici longitudinali. Realizzata con Google AI Studio (Gemini 3.1 Pro), Google Colab e Plotly Graph Objects. F. Zollo, 2025.

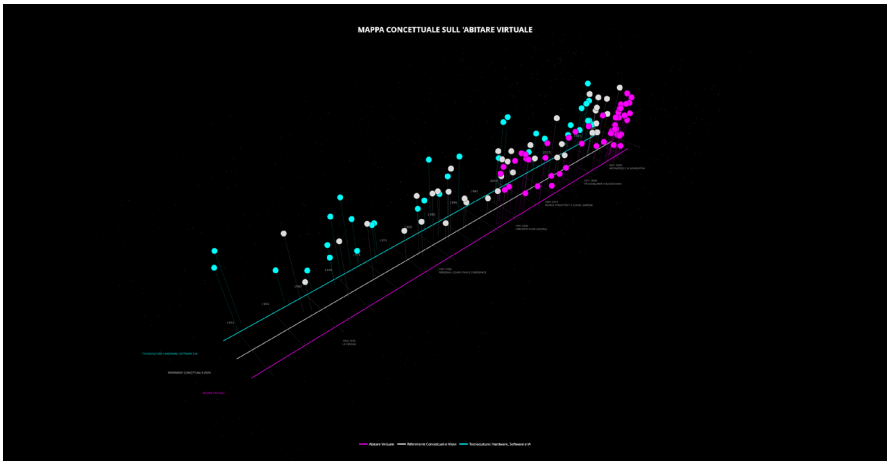


Figura 3.
Mappa Concettuale sull'Abitare Virtuale (3D) — vista dall'alto destra; La nuvola di punti mostra l'addensamento progressivo degli oggetti verso il quinquennio 2021-2025, risolto dalla tridimensionalità che distribuisce sull'asse Z i nodi temporalmente sovrapposti. F. Zollo, 2025.

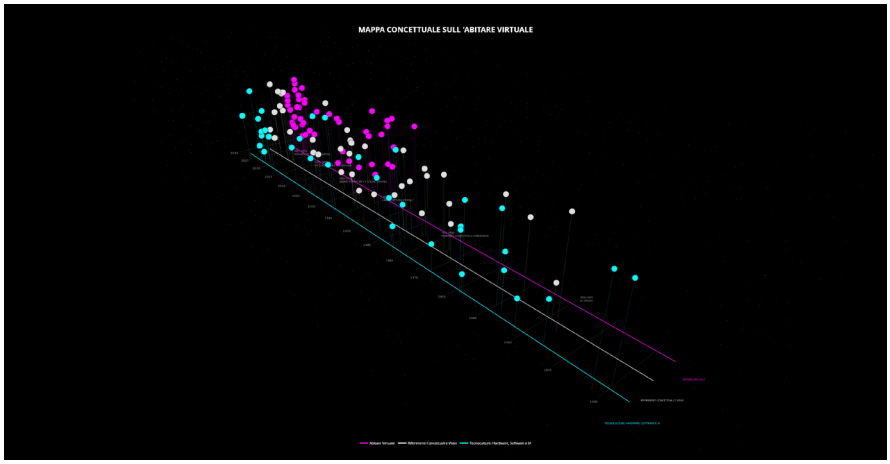


Figura 4.
Mappa Concettuale sull'Abitare Virtuale (3D) — vista laterale; I tre binari colorati paralleli alla timeline e il pulviscolo atmosferico di 1.200 particelle con no-fly zone attorno al corridoio dei dati. F. Zollo, 2025.

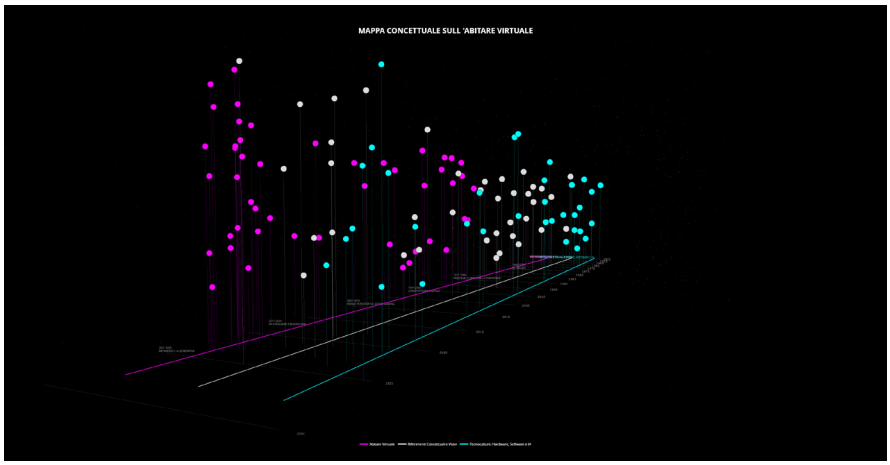


Figura 5.
Mappa Concettuale sull'Abitare Virtuale (3D) — vista obliqua; La distribuzione delle tre categorie cromatiche evidenzia la progressiva contaminazione tra Tecnoculture, Riferimenti e Abitare Virtuale nelle fasi più recenti. F. Zollo, 2025.

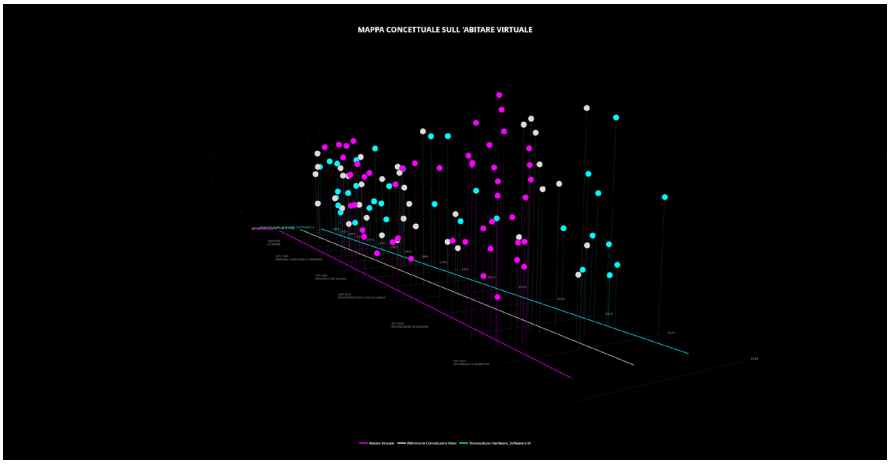


Figura 6.
Mappa Concettuale sull'Abitare Virtuale (3D) — vista frontale; La griglia trasversale bianca a intervalli di cinque anni e le annotazioni delle sei fasce temporali storiche orientano la lettura cronologica della nuvola tridimensionale. F. Zollo, 2025.





SECONDA PARTE

METAPROGETTO DI UN MUSEO VIRTUALE

3 | METODOLOGIA DI SPERIMENTAZIONE

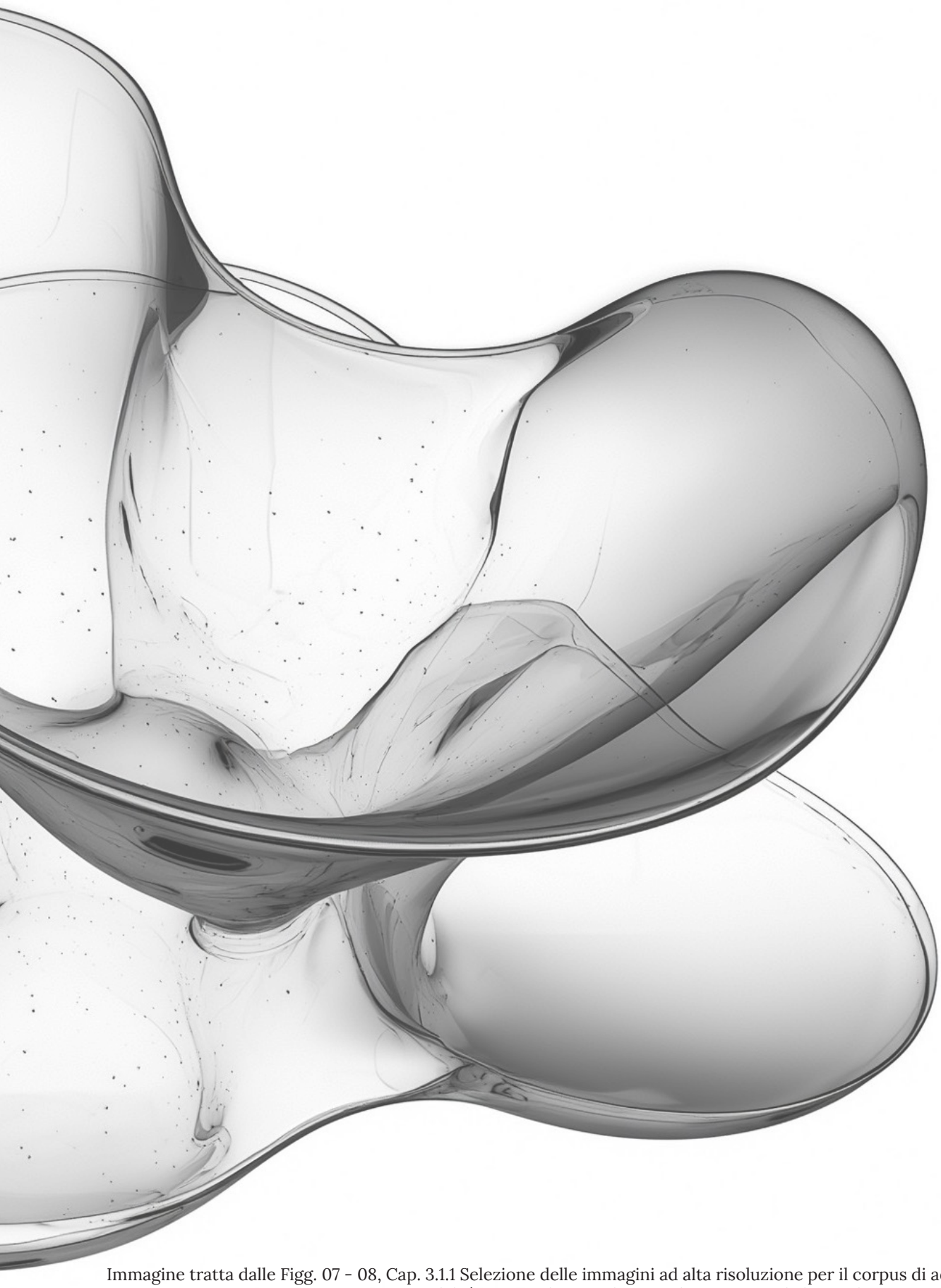


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

3 METODOLOGIA DI SPERIMENTAZIONE

La Prima Parte di questa ricerca ha costruito un sapere: una genealogia critica dell"abitare virtuale' articolata in settantacinque anni di storia, un catalogo ragionato di 112 opere e strumenti, una mappa concettuale delle relazioni fra paradigmi apparentemente distanti. Quel sapere non era fine a sé stesso, né decorativo rispetto alla sperimentazione che lo segue: era la condizione di possibilità di questa Seconda Parte. Non è possibile progettare uno spazio espositivo virtuale senza conoscere la genealogia dell"abitare virtuale' ricostruita nel Cap. 1.1; non è possibile scegliere consapevolmente fra logiche generative alternative senza aver compreso la distinzione fra modellazione parametrica e modellazione algoritmica articolata nel Cap. 1.2.4; non è possibile valutare criticamente gli *output* degli strumenti di IA generativa senza la prospettiva storica fornita dal Cap. 1.3. La Seconda Parte non inaugura una nuova ricerca: attiva, in modo operativo, il sapere che la Prima Parte ha costruito.

Il presente capitolo documenta la metodologia di sperimentazione adottata per il metaprogetto del [vIrtuAl museum]: il sistema di principi, procedure e strumenti attraverso cui la ricerca ha tradotto ipotesi teoriche in *output* verificabili, intenzioni progettuali in geometrie manipolabili, descrizioni verbali in ambienti spaziali.

L'uso del termine 'metodologia' non è convenzionale accademismo ma riflette una scelta epistemologica precisa: una metodologia non è un insieme di istruzioni operative, un flusso da seguire per ottenere risultati predeterminati, bensì un sistema di principi che orienta le scelte in condizioni di incertezza, che rende le decisioni giustificabili e i risultati replicabili, che trasforma l'esperienza accumulata in sapere trasmissibile.

Documentare la metodologia significa documentare non

soltanto ciò che si è fatto ma perché lo si è fatto, quali alternative sono state considerate e scartate, quali limiti hanno orientato le scelte, quali principi hanno governato le transizioni fra un passaggio e il successivo.

Il capitolo si articola in due sezioni complementari che corrispondono a due momenti distinti ma inseparabili del processo di ricerca.

Il Cap. 3.1 — *Integrazione tra strumenti di intelligenza artificiale generativa* — documenta la dimensione operativa della metodologia: è la descrizione del laboratorio dall'interno, articolata nei tre approcci sperimentati, nelle procedure tecniche adottate, nei parametri configurati e nei criteri di selezione applicati agli *output* generativi.

Il Cap. 3.2 — *Sfide e opportunità dell'intelligenza artificiale generativa* — documenta la dimensione critica: le questioni etiche che quegli strumenti sollevano, i limiti tecnici che ne vincolano le prestazioni, le traiettorie di sviluppo verso cui essi si muovono.

La sequenza non è casuale. La riflessione critica sugli strumenti ha senso soltanto dopo averli usati: l'identificazione precisa dei limiti tecnologici documentata nel Cap. 3.2 è possibile perché i limiti sono stati incontrati concretamente nelle sperimentazioni del Cap. 3.1, non ipotizzati in astratto; la posizione etica sull'autorialità e sul *copyright* è fondata sull'esperienza diretta del processo di costruzione del *corpus* di addestramento, non su considerazioni generali sull'IA; le prospettive di sviluppo sono rilevanti perché confrontate con la metodologia concretamente sperimentata, di cui possono misurare l'evoluzione e identificare le direzioni di superamento.

Il rapporto fra le due sezioni non è quindi di sequenza logica — prima il fare, poi il pensare — ma di reciprocità dinamica: l'operatività del 3.1 produce materiale per la riflessione del 3.2, e la riflessione del 3.2 retroalimenta i principi metodologici che hanno orientato le scelte del 3.1.

3.1 INTEGRAZIONE TRA STRUMENTI DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA

La metodologia di sperimentazione adottata per il metaprogetto del [vIrtuAl museum] si basa su un principio operativo fondamentale: l'integrazione strategica e complementare di molteplici strumenti di intelligenza artificiale generativa, ciascuno specializzato in specifiche modalità rappresentative ma orchestrati all'interno di *workflow* ibridi che ne amplificano le potenzialità creative e tecniche.

Come emerso dall'analisi dello stato dell'arte condotta nella Prima Parte, nessuna singola tecnologia di IA generativa — si tratti di sistemi *text-to-image*, *text-to-video*, *text-to-3D* o *Large Language Models* — possiede autonomamente tutte le capacità necessarie per affrontare la complessità progettuale della conformazione di spazi architettonici virtuali[1].

Ciascuna famiglia di strumenti manifesta punti di forza ed economie specifiche, bilanciati da limiti altrettanto specifici. I generatori di immagini eccellono nella sintesi visiva bidimensionale ma producono *output* statici privi di geometria manipolabile; i sistemi video introducono la dimensione temporale ma mantengono limitazioni di *temporal coherence* e di controllo cinematografico; i generatori 3D producono geometrie, ma spesso poco rispondenti agli *input* di riferimento; i *chatbot* conversazionali traducono il linguaggio naturale in codice parametrico ma richiedono interfacce di modellazione per materializzare le geometrie descritte.

Di fronte a questa frammentazione, la ricerca ha sperimentato tre approcci metodologici distinti ma complementari, ciascuno volto a superare i limiti individuali degli strumenti

1 Per l'analisi delle capacità e delle limitazioni di ciascuna famiglia di strumenti cfr. Cap. 1.3.2 (generatori di immagini), 1.3.3 (generatori di video), 1.3.4 (generatori 3D), 1.3.5 (*LLM chatbot*).

attraverso sinergie fra di essi. Il primo, documentato nel Cap. 3.1.1, sperimenta *workflow* sequenziali e ciclici — *text-to-image-to-video-to-3D* — che attraversano modalità generative multiple in progressione controllata, sfruttando le eccellenze di ciascuno strumento nella propria modalità specifica.

Il secondo, documentato nel Cap. 3.1.2, affronta il limite di generalità dei modelli pre-addestrati attraverso la specializzazione su un *corpus* curatoriale definito — l'*Embryological House* di Greg Lynn — mediante la tecnica LoRA di *fine-tuning* di *Stable Diffusion*.

Il terzo, documentato nel Cap. 3.1.3, integra le capacità linguistiche dei *Large Language Models* con l'infrastruttura parametrica di *Grasshopper*, producendo geometrie manipolabili attraverso la traduzione di descrizioni verbali in codice *Python* eseguibile.

Nel loro insieme, questi tre approcci metodologici configurano un ecosistema integrato in cui strumenti eterogenei vengono selezionati strategicamente in funzione di obiettivi progettuali specifici: il *workflow text-image-video-3D* per l'esplorazione morfologica rapida e la creatività visiva aperta; il *fine-tuning* di modelli per la coerenza stilistica e il controllo estetico su produzioni seriali; l'integrazione IA-parametrico per la precisione geometrica e la manipolabilità tecnica.

La sperimentazione condotta dimostra che la potenza dell'IA generativa in architettura non risiede nell'automazione completa del processo progettuale attraverso singoli strumenti, ma nell'orchestrazione intelligente di strumenti complementari i cui *output* si alimentano reciprocamente in cicli iterativi guidati dal giudizio critico umano — che seleziona, combina, raffina e finalizza le generazioni intermedie verso obiettivi compositivi e tecnici definiti. È la declinazione operativa di quel principio di 'delega consapevole' introdotto nel preambolo del Cap. 1.3 e che

attraversa come spina dorsale metodologica tutta la Seconda Parte: l'IA fornisce la potenza computazionale e linguistica, il progettista conserva l'autorità della decisione formale e la responsabilità della valutazione critica[2].

3.1.1 WORKFLOW TEXT-IMAGE-VIDEO-3D: CINQUE FASI SEQUENZIALI

Il primo approccio metodologico sperimentato si configura come *workflow* sequenziale e iterativo che attraversa quattro modalità generative progressive — testo, immagine, video, modello tridimensionale — trasformando descrizioni linguistiche iniziali in geometrie *mesh* manipolabili attraverso transizioni mediali controllate.

Questo processo multi-fase consente di sfruttare i punti di forza specifici di ciascuna tecnologia: la capacità dei *Large Language Models* di raffinare e ottimizzare *prompt* testuali attraverso dialogo conversazionale; la qualità estetica e la varietà morfologica dei generatori *text-to-image* nella sintesi visiva bidimensionale; l'introduzione di informazione volumetrica implicita mediante animazione *image-to-video*; l'estrazione di geometrie esplicite attraverso ricostruzione 3D multi-vista e ricostruzione volumetrica neurale.

La logica che attraversa l'intero *workflow* è quella che Unali, Caffio e Zollo (2023) hanno definito come produzione di «transizioni di senso alimentate dalle ibridazioni culturali»[3]: non semplice conversione fra formati, ma arricchimento progressivo di un'intenzione progettuale che attraverso ciascun passaggio mediale acquisisce dimensioni — visiva, temporale, geometrica — non riducibili alle altre.

La metodologia implementata articola il *workflow* in

---

2 Cfr. Cap. 1.2.4, in particolare il concetto di 'saggezza procedurale' come meta-competenza del progettista contemporaneo che orchestra paradigmi classici, algoritmici e IA in funzione degli obiettivi progettuali specifici. Il principio della 'delega consapevole' è introdotto nel preambolo del Cap. 1.3 come *stance* metodologica fondativa della presente ricerca.

3 M. Unali, G. Caffio, F. Zollo, *Transizioni d'immagini e architetture al tempo dell'IA. Modelli semantici in cerca di autore*, in M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di), *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, FrancoAngeli, Milano 2023, p. 3228.

cinque fasi operative sequenziali, ciascuna caratterizzata da strumenti specifici, parametri tecnici definiti e cicli di raffinamento iterativo. Le prime tre fasi (*prompt engineering*, generazione delle immagini, animazione) producono materiale bidimensionale e sequenze video; le ultime due (ricostruzione 3D su *mesh* e ricostruzione volumetrica NeRF) traducono quel materiale in due tipologie complementari di rappresentazione tridimensionale — la prima ottimizzata per la manipolabilità tecnica, la seconda per la qualità visiva e l'immersività percettiva.

3.1.1.1 Fase 1: Prompt engineering conversazionale mediante LLM

Il processo generativo inizia con la formulazione collaborativa di *prompt* testuali ottimizzati attraverso interazione dialogica fra designer e *Large Language Model* (*Claude 3.5 Sonnet*)[4]. Partendo da basi testuali iniziali fornite dal progettista — descrizioni verbali di morfologie target, riferimenti concettuali, atmosfere spaziali desiderate — e da immagini di riferimento caricate come *input* visivo — ad esempio l'*Embryological House* di Greg Lynn, paradigma storico di architettura *blob* organica — il *chatbot* conversazionale assiste nella traduzione dell'intento progettuale in *prompt* strutturati ottimizzati per le piattaforme *text-to-image*.

Questo processo di *co-authorship* linguistica sfrutta le capacità dell'LLM di analizzare semanticamente descrizioni verbali informali estraendo caratteristiche salienti, riconoscere in immagini di riferimento attributi morfologici, materici e compositivi traducibili in *keywords* efficaci, conoscere sintassi e convenzioni specifiche delle piattaforme target — sintassi *Midjourney*, *weight modifiers*, *parameter flags* — e suggerire varianti linguistiche che amplificano o modulano aspetti specifici: maggiore

4 Per *Claude 3.5 Sonnet* cfr. App. A1, Scheda 34.

organicità, traslucenza materica, astrazione formale. Attraverso iterazioni dialogiche — in cui il *designer* valuta i *prompt* proposti, richiede modifiche (*more emphasis on suspended floating quality*, *reduce complexity*, *smoother surfaces*), testa generazioni preliminari — si converge verso formulazioni testuali calibrate che bilanciano specificità, per guidare la generazione verso morfologie target, e apertura, per preservare varietà creativa nelle varianti generate.

3.1.1.2 Fase 2: Generazione delle immagini mediante Midjourney

I *prompt* raffinati alimentano *Midjourney*[5], piattaforma *text-to-image* basata su *diffusion models*, configurata con parametri tecnici specifici per massimizzare qualità e coerenza delle generazioni. I *settings* adottati includono: *Raw mode* attivato — che disabilita il *post-processing* estetico automatico preservando maggiore fedeltà al *prompt* e controllo tonale; *aspect ratio* 1:1 — formato ottimale per le successive conversioni video e 3D che richiedono inquadrature centrate senza *crop* asimmetrici; *Model Standard* — bilanciamento fra qualità visiva e velocità generativa appropriato per iterazioni esplorative rapide[6].

I *prompt* utilizzati nelle sperimentazioni esemplificano una struttura linguistica ottimizzata, articolata sistematicamente in quattro componenti. *Morfologia generale — floating organic architecture*, *levitating parametric blob form*, *abstract biomorphic volume floating* — che definisce tipologia formale e carattere spaziale. *Qualità superficiali — embryological biomorphic form*, *smooth matte opaque surface*, *smooth surface with organic cavities*, *complex undulating form* — che specifica *texture*, articolazione geometrica e complessità topologica. *Relazioni spaziali — suspended in void*, *floating in*

5 Per *Midjourney* cfr. App. A1, Scheda 29.

6 Per la documentazione tecnica dei parametri adottati nelle sperimentazioni cfr. le tavole comparative allegate (Figg. 7–65).

black void, *no ground plane no base* — che eliminano elementi contestuali distraenti isolando l'oggetto architettonico. *Caratteristiche materiche* e *finalità rappresentativa* — *solid colored material pearl white*, *translucent grey material*, *pure sculptural volume*, *black background*, *digital architectural study* — che definiscono proprietà visive di opacità e traslucenza e contestualizzano l'immagine come studio formale astratto anziché *rendering* contestualizzato.

La sistematicità di questa struttura non è casuale: traduce operativamente il principio del *prompt engineering* come forma di *authorship*. I quattro macrotemi di sperimentazione che la ricerca precedente (Unali, Caffio, Zollo 2023) ha identificato come *Esercizi di Stile*, *Ibridazioni architettoniche*, *Morfemi e Coppie Duali*[7] si manifestano ora come *prompt patterns* ricorrenti: la selezione del lessico che descrive l'oggetto architettonico è già un atto progettuale.

Ogni *prompt* genera tipicamente quattro varianti iniziali, valutate comparativamente dal *designer* secondo criteri morfologici — complessità topologica, equilibrio fra organicità e leggibilità formale — estetici — qualità del *rendering*, efficacia del *lighting* implicito — e relativi al potenziale tridimensionale — forme che suggeriscono volumetrie coerenti visualizzabili da angolazioni multiple. Le varianti selezionate vengono raffinate mediante *upscaling* — incremento della risoluzione da 1024×1024 a 2048×2048 o superiore — e variazioni parametriche (*subtle/strong variations*) che generano mutazioni controllate preservando le caratteristiche salienti. Questo processo iterativo produce per ogni *prompt* un *set* di 3-6 immagini finali ad alta risoluzione che costituiscono la base per le fasi successive, dimostrando la diversità morfologica ottenibile mantenendo coerenza semantica: variazioni

7 M. Unali, G. Caffio, F. Zollo, *Transizioni d'immagini e architetture al tempo dell'IA*, cit., pp. 3228-3233: i quattro macrotemi strutturano la seconda fase della ricerca — *Sperimentazioni* — organizzata attorno a «transizioni semantiche di immagini piane» e «transizioni di conformazioni spaziali tridimensionali».

nella complessità delle cavità organiche, nell'articolazione delle protuberanze, nella *smoothness* superficiale, nella distribuzione di masse e vuoti (cfr. Figg. 9-12).

3.1.1.3 Fase 3: Animazione mediante Midjourney Animate

Le immagini statiche selezionate vengono animate attraverso la funzionalità integrata *Midjourney Animate*, che genera sequenze video direttamente dalla piattaforma senza necessità di trasferimento a *software* esterni. Il comando *Animate* produce video in formato MP4 con durata base di 3-5 secondi, mantenendo i *settings* precedentemente configurati. La sperimentazione ha esplorato due tipologie di movimento cinematografico che rispondono a finalità progettuali distinte.

La prima tipologia implementa rotazioni dell'oggetto architettonico: la forma biomorfica appare ruotare su sé stessa rivelando progressivamente la propria volumetria da angolazioni multiple. Questo movimento è particolarmente efficace per la successiva ricostruzione 3D: la sequenza circolare fornisce viste distribuite uniformemente attorno all'oggetto, permettendo agli algoritmi di *structure-from-motion* di triangolare accuratamente le posizioni 3D dei *feature points* e ricostruire geometrie complete senza zone occluse[8]. La seconda tipologia esplora un *movement* di camera immersivo, simulando un avvicinamento progressivo nello spazio virtuale: anziché ruotare l'oggetto statico, la camera appare muoversi attraverso l'ambiente — avvicinandosi alla forma sospesa, circumnavigandola con traiettorie fluide, o 'entrando' virtualmente nel mondo rappresentato. Questa tipologia, pur meno ottimale per la ricostruzione 3D tecnica — le viste non sono uniformemente distribuite — è preziosa per la validazione percettiva: verificare che le morfologie

8 Per i fondamenti tecnici degli algoritmi *Structure-from-Motion* nel contesto della ricostruzione 3D da video cfr. J. L. Schönberger, J.-M. Frahm, *Structure-from-Motion Revisited*, in *Proceedings of CVPR*, Las Vegas 2016.

generate 'funzionino' come spazi esperibili e non solo come forme astratte.

In numerosi casi le sequenze video vengono estese mediante la funzionalità *Extend Video* di *Midjourney*, configurata con parametro *Low Motion* per preservare la *temporal coherence*. L'estensione incrementa la durata da 3-5 secondi a 10-15 secondi, fornendo maggiore informazione temporale e angolare senza introdurre artefatti eccessivi. Le sequenze estese sono particolarmente utili quando singole immagini statiche risultano insufficienti: forme architettoniche con geometrie complesse, cavità profonde, articolazioni multiple richiedono numerose viste per disambiguare le volumetrie; un'immagine singola lascia ambiguità interpretative sulla profondità effettiva delle cavità, sulla convessità contro concavità delle protuberanze, sull'articolazione delle superfici occluse. I video multi-vista risolvono queste ambiguità, fornendo *constraint* geometrici sufficienti per gli algoritmi di ricostruzione 3D.

I video risultanti vengono esportati in *MP4 — codec H.264*, risoluzione 1280×720 o 1920×1080 — archiviati come *asset* intermedi ma valutati autonomamente come prefigurazioni di *walkthrough* virtuali: questa duplice funzionalità, tecnica e percettiva, posiziona la fase di animazione non come semplice passaggio intermedio ma come momento progettuale significativo in cui morfologie statiche acquisiscono temporalità e spazialità, trasformandosi da immagini in prototipi di ambienti abitabili (cfr. Figg. 9-12).

3.1.1.4 Fase 4: Ricostruzione 3D mediante Meshy AI e validazione delle geometrie

Il processo di conversione tridimensionale inizia con l'*import* dell'immagine principale generata da *Midjourney* — tipicamente la variante *upscaled* selezionata come

morfologicamente più interessante — in *Meshy AI*[9]. L'efficacia della ricostruzione 3D è significativamente facilitata dalle scelte di *prompt engineering* implementate in Fase 2: la specificazione sistematica di termini come *black background*, *suspended in void*, *no ground plane no base* ha prodotto immagini con sfondi uniformemente neri che ottimizzano drasticamente i processi di segmentazione automatica dell'oggetto target. I sistemi *image-to-3D* operano mediante identificazione e isolamento dell'oggetto dal *background* circostante: la presenza di sfondi neutri uniformi permette agli algoritmi di segmentazione di distinguere nettamente figura da sfondo attraverso semplici *threshold* cromatici o *edge detection*, eliminando le ambiguità che sfondi complessi, contestualizzati o graduati introdurrebbero[10].

Per risolvere l'ambiguità volumetrica intrinseca di una singola vista bidimensionale — infinite configurazioni tridimensionali differenti possono proiettare sulla medesima immagine 2D — *Meshy AI* offre la funzionalità *Multi-view* (*Beta*) che permette di integrare viste aggiuntive estratte dai video generati nella fase precedente. Il *workflow Multi-view* richiede di caricare, oltre all'immagine primaria, un *set* di 2-6 *frame* chiave estratti dalle sequenze video, viste angolari distribuite strategicamente — frontale, laterale destra e sinistra, posteriore, *top*, *bottom* — che forniscono informazione geometrica complementare. Per i video con rotazione dell'oggetto i *frame* vengono campionati a intervalli regolari, ogni 60-90° di rotazione, per massimizzare la copertura angolare; per i video con *camera movement* vengono selezionati manualmente *frame* che mostrano angolazioni distintive non coperte dalla vista primaria. *Meshy* processa questo *multi-view set* mediante algoritmi che

9 Per *Meshy AI* cfr. App. A1, Scheda 32.

10 Cfr. G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI for the Extension of the Virtual Museum of Intangible Cultural Heritage*, in «SCIRES-IT», Vol. 15, n. 2, 2025, p. 186, DOI 10.2423/i22394303v15n2p181: il principio del «livello di controllo autoriale e curatoriale» come criterio metodologico che orienta tutte le scelte operative della ricerca.

identificano *feature points* corrispondenti fra viste multiple, stimano le pose relative di camera, triangolano le posizioni 3D dei punti superficiali e generano una rappresentazione volumetrica consistente che riproduce accuratamente tutte le viste di *input*.

La sperimentazione ha testato multiple versioni della piattaforma (*Meshy v4*, *v5*, *v6*), convergendo sulla versione 6 che ha dimostrato qualità superiore nella ricostruzione di geometrie organiche complesse, migliore gestione di superfici translucide e cavernose, e maggiore robustezza nel trattamento di forme sospese prive di base di appoggio. Il processo di conversione produce inizialmente *mesh* poligonali triangolate ad alta densità (~2 milioni di facce). Questa risoluzione estrema è impraticabile per la manipolazione interattiva o per l'integrazione in *pipeline downstream*: si rende necessario un processo articolato di decimazione progressiva e ottimizzazione topologica attraverso una *pipeline* di *remeshing multi-stage* implementata direttamente in *Meshy AI*.

Il primo *remesh* riduce la densità poligonale a 100.000 facce mediante algoritmi di decimazione *edge-collapse* basati su *quadric error metrics*; il secondo *remesh* riduce ulteriormente a 30.000 facce, implementando anche una conversione da *mesh* triangolare a *mesh quad-dominant*. Le *mesh quad* offrono vantaggi significativi per il *modeling* organico: le *subdivision surfaces* (*Catmull-Clark*) operano più naturalmente su topologie *quad*, producendo superfici *smooth* senza artefatti triangolari; molti *software* di *sculpting* e deformazione lavorano più efficacemente con *quad flow*; gli *export* verso *game engines* o *software* di animazione privilegiano la topologia *quad* per il *rigging* e la deformazione[11].

11 Per un confronto tecnico fra topologie *mesh* triangolare e *quad* nel contesto della modellazione organica cfr. A. Tedeschi, *Parametric Architecture with Grasshopper*, Le Penseur, Brienza 2010, pp. 45-52.

Raggiunte densità poligonali manipolabili, il *workflow* si estende alla texturizzazione mediante PBR (*Physically Based Rendering*) *mapping*: il sistema genera automaticamente mappe standard — *Albedo/Diffuse*, *Normal Map*, *Roughness*, *Metallic*, *Ambient Occlusion* — con attivazione della funzionalità di rimozione dell'illuminazione (*delighting*). Poiché le immagini *source Midjourney* incorporano *lighting* implicito, il *delighting* separa l'*albedo* intrinseco dallo *shading*, producendo mappe compatibili con re-illuminazione dinamica in *engine real-time* o in *renderer* fisici. I modelli finali — decimati, convertiti a *quad*, texturizzati — vengono esportati in *FBX* o *OBJ* e importati in *Rhinoceros 7* per le verifiche dimensionali e la riparazione topologica residua (cfr. Figg. 9-12).

La validazione delle geometrie *quad* costituisce una fase cruciale del processo di verifica della catena generativa adottata. Ciascun modello prodotto è stato valutato secondo due criteri distinti e indipendenti: la pulizia della topologia *quad* e la sua capacità di preservare il dettaglio formale; la rispondenza fra il modello generato e le immagini fornite in *input*, sia nella vista principale, sia nel flusso *MultiImage*. L'insieme di queste valutazioni consente di determinare il grado di affidabilità del processo di ricostruzione e di individuare le condizioni in cui l'*output* generativo si dimostra adeguato a un utilizzo nell'ambito del progetto. I modelli ricostruiti sono stati classificati in tre versioni qualitative decrescenti — *A* (ottima), *B* (buona con riserve), *C* (problematica) — ciascuna definita sui due criteri in modo indipendente.

Pulizia delle geometrie quad senza perdita di dettaglio.

Nella versione A la topologia *quad* risultante è regolare e ben distribuita, con *loop* di *edge* coerenti e privi di poli anomali nelle zone di curvatura complessa; i dettagli plastici della forma — torsioni, sporgenze e rientranze — sono mantenuti

con fedeltà senza degenerazioni del reticolo quadrangolare. Nella versione B la struttura *quad* è globalmente coerente, ma si registrano irregolarità localizzate nella distribuzione dei poligoni — in particolare nelle zone di maggiore complessità morfologica — in cui la densità del reticolo non segue con uniformità la curvatura della superficie, richiedendo interventi mirati di *retopology*. Nella Versione C la topologia *quad* presenta criticità evidenti: *loop* di *edge* interrotti, poli con valenza anomala o addensamenti irregolari che compromettono la leggibilità della superficie; il dettaglio formale risulta sacrificato a favore di una risoluzione geometrica insufficiente.

Rispondenza con le immagini di input.
Nella versione A il modello *quad* mostra una corrispondenza elevata con l'immagine principale fornita in *input*: il profilo generale, la distribuzione volumetrica e le articolazioni formali principali sono riconoscibili e coerentemente tradotti nella struttura tridimensionale, e il flusso *MultiImage* ha contribuito a stabilizzare la lettura dei lati meno definiti nel riferimento fotografico. Nella versione B la forma recupera correttamente la *silhouette* e l'impostazione volumetrica generale, ma alcune specificità morfologiche dell'immagine di *input* — in particolare nelle zone di transizione o nelle appendici — risultano semplificate o reinterpretate, con un contributo del *MultiImage* apprezzabile ma non risolutivo. Nella versione C la ricostruzione si discosta in misura rilevante dall'immagine di *input*: la lettura volumetrica appare generica e scarsamente fedele agli elementi caratterizzanti della forma originale, e il flusso *MultiImage* non ha compensato l'ambiguità della vista principale.
I modelli che hanno superato positivamente la validazione — quelli classificati in fascia A su entrambi i criteri, e selettivamente quelli in fascia B quando l'immagine di riferimento manteneva priorità progettuale — sono stati

selezionati come base per l'addestramento del modello *LoRA* su *Stable Diffusion* 1.5 documentato nel Cap. 3.1.2. La qualità della topologia *quad* e la fedeltà al riferimento visivo di *input* hanno costituito i parametri discriminanti nella selezione del *dataset* di addestramento, garantendo una coerenza morfologica fra le immagini generate da *Midjourney*, le geometrie ricostruite in *Meshy AI* e il modello generativo risultante dall'addestramento (cfr. Fig. 13).

3.1.1.5 Fase 5: Ricostruzione volumetrica mediante Neural Radiance Fields in Luma AI

La Fase 4 del *workflow* ha prodotto geometrie *mesh* manipolabili mediante la *pipeline Meshy AI*: superfici poligonali decimabili, texturizzabili, esportabili in formati compatibili con ambienti 3D e motori *real-time*. Questa tipologia di *output* risponde a esigenze progettuali precise — la manipolabilità, la verifica dimensionale — ma comporta una perdita qualitativa misurabile nel passaggio dalla rappresentazione bidimensionale alla ricostruzione tridimensionale: il processo di segmentazione, ricostruzione volumetrica e decimazione introduce semplificazioni geometriche nelle zone ad alta frequenza morfologica, e le *mesh* risultanti, pur tecnicamente manipolabili, non raggiungono la qualità visiva e la ricchezza materica delle immagini *Midjourney* che le hanno generate.

La quinta fase del *workflow* affronta questo limite attraverso un approccio radicalmente diverso alla tridimensionalizzazione: non la ricostruzione di una superficie poligonale approssimata, ma la generazione di una rappresentazione volumetrica neurale dell'oggetto mediante la tecnologia dei *Neural Radiance Fields* (*NeRF*), implementata attraverso la piattaforma *Luma AI*[12] e il suo ambiente *Luma Fields Dashboard*. La distinzione fra i due

12 Per *Luma AI* cfr. App. A1, Scheda 28.

approcci alla tridimensionalizzazione — *Meshy AI* per la generazione di *mesh* e *Luma AI* per la generazione di *NeRF* — non è meramente tecnica ma metodologicamente fondativa. Una *mesh* poligonale è una rappresentazione esplicita della geometria: descrive la superficie dell'oggetto attraverso un insieme finito di vertici, spigoli e facce, ciascuno con posizione e normale noti. Una rappresentazione *NeRF* è invece una rappresentazione implicita e continua: una funzione neurale che, dato un punto nello spazio e una direzione di osservazione, predice il colore e la densità volumetrica in quel punto, consentendo di sintetizzare da qualsiasi angolazione l'immagine corrispondente di quella scena con qualità fotorealistica[13]. La *mesh* eccelle nella manipolabilità tecnica e nell'integrazione con *pipeline* 3D; il *NeRF* eccelle nella qualità visiva, nella ricchezza delle riflessioni e dei materiali translucidi, e nella capacità di restituire l'atmosfera dell'oggetto con una fedeltà che la semplificazione poligonale non può raggiungere. I due approcci sono quindi non concorrenti ma complementari: rispondono a esigenze diverse del processo progettuale e producono *output* che si sostengono reciprocamente nella costruzione dell'ambiente virtuale.

I *Neural Radiance Fields* sono stati introdotti da Mildenhall e colleghi nel 2020 come metodo per la sintesi di nuove viste di scene complesse a partire da un insieme di immagini di *input* con pose di camera note[14]. Il principio fondamentale è la rappresentazione della scena come un campo continuo nello spazio 5D — posizione (x, y, z) e direzione di osservazione (θ, φ) — approssimato da una rete neurale profonda, tipicamente un *MLP* (*Multilayer Perceptron*) che apprende a mappare ogni coordinata spaziale e direzione di vista al colore *RGB* e alla densità volumetrica σ corrispondenti. Il

13 B. Mildenhall, P. P. Srinivasan, M. Tancik, J. T. Barron, R. Ramamoorthi, R. Ng, *NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis*, in *Proceedings of ECCV 2020*, Springer, Cham 2020, pp. 405-421.

14 Ibid.

rendering di nuove viste avviene attraverso *ray marching* volumetrico: per ogni *pixel* dell'immagine sintetizzata un raggio viene lanciato dalla camera, campionando il campo lungo la propria traiettoria e accumulando colore e densità secondo le equazioni del *rendering* volumetrico classico. Il risultato è una rappresentazione che cattura effetti di luce complessi — riflessioni speculari, materiali translucidi, ombre volumetriche, *scattering* subsuperficiale — impossibili da replicare con fedeltà equivalente attraverso la sola texturizzazione PBR di una *mesh* poligonale. Per le morfologie organiche generate nella presente ricerca — forme biomorfe con superfici translucide, cavità interne, articolazioni complesse, lucidità perlescenti — la rappresentazione NeRF si è rivelata qualitativamente superiore alla *mesh Meshy AI* nella cattura dell'identità visiva delle immagini *Midjourney* originali.

La piattaforma *Luma AI* e il suo ambiente *Luma Fields Dashboard* implementano le tecnologie NeRF e *Gaussian Splatting* in un sistema accessibile via *browser*, progettato per la cattura e la visualizzazione di scene tridimensionali a partire da sequenze video[15]. Il *workflow* adottato nella presente ricerca sfrutta la compatibilità fra la *pipeline* video già documentata nella Fase 3 — le sequenze MP4 generate da *Midjourney Animate* — e il sistema di elaborazione NeRF di *Luma AI*, creando un collegamento diretto fra la fase di animazione e la fase di ricostruzione volumetrica che non richiede acquisizioni aggiuntive (cfr. Fig. 14). I video *Midjourney* — selezionati fra le sequenze con movimento di rotazione dell'oggetto, tipologicamente più adatte alla ricostruzione multi-vista — vengono caricati direttamente nell'interfaccia *Luma Fields Dashboard* tramite la funzionalità di importazione video. Il sistema estrae automaticamente i

15 *Luma AI, Luma Fields Dashboard*, lumalabs.ai: piattaforma per la cattura, elaborazione e condivisione di scene *NeRF* e *Gaussian Splatting* da sequenze video. L'account @FabioZollo_1989 sul portale *Luma AI* documenta le scene generate nel corso della ricerca, inclusa la serie *Embryological 1-4* utilizzata come *corpus* di riferimento per la Fase 5 del *workflow* 3.1.1.

frame dalla sequenza, stima le pose di camera per ciascun fotogramma mediante algoritmi di *Structure-from-Motion*, e avvia il processo di addestramento della rete neurale *NeRF* sulla sequenza di *input*. Il processo di addestramento, che *Luma AI* esegue sui propri *server cloud* — rendendo la procedura accessibile senza requisiti *hardware* specializzati — richiede tipicamente fra i dieci e i trenta minuti a seconda della durata e della complessità del video di *input*.

Al completamento, il sistema produce una scena *NeRF* navigabile accessibile via *browser* attraverso un *link* condivisibile: l'utente può muoversi liberamente all'interno della scena generata, modificando il punto di vista e la direzione di osservazione con comandi di navigazione intuitivi, esplorando la volumetria dell'oggetto da qualsiasi angolazione senza i limiti di una sequenza video predeterminata (cfr. Fig. 15). Le scene generate possono essere scaricate in formati compatibili con applicazioni di visualizzazione avanzata, incorporate in pagine *web* attraverso *iframe*, o visualizzate in modalità immersiva attraverso visori VR compatibili. Nei test condotti, le scene *NeRF* delle morfologie *embryological* hanno dimostrato una qualità visiva significativamente superiore alle *mesh Meshy AI* equivalenti, con particolare efficacia nella restituzione delle proprietà traslucide delle superfici, della profondità delle cavità organiche e delle lucidità perlescenti che caratterizzano l'estetica delle generazioni *Midjourney* di riferimento.

La rappresentazione *NeRF* prodotta da *Luma AI* presenta tuttavia limitazioni specifiche che ne definiscono il perimetro di applicabilità nel *workflow* complessivo. Il limite più rilevante è la non manipolabilità diretta della rappresentazione: una scena *NeRF* non è una geometria esplicita ma una funzione neurale approssimata, e non può essere modificata, deformata, misurata o integrata in *pipeline* 3D con la stessa immediatezza di una *mesh* poligonale. Non

è possibile applicare operazioni booleane, estrarre sezioni, misurare distanze reali, o collegare la rappresentazione *NeRF* a componenti *Grasshopper* come si farebbe con una *mesh* importata in *Rhinoceros*. Il secondo limite riguarda la qualità della ricostruzione nelle zone scarsamente coperte dalle viste di *input*: aree dell'oggetto visibili solo da poche angolazioni nei video *Midjourney* — spesso le zone inferiori delle forme sospese in *void* — producono artefatti di ricostruzione riconoscibili come 'nebbiosità' o fluttuazioni di densità nella scena *NeRF*. Questo limite è strutturalmente legato alla qualità delle viste di *input* e si riduce significativamente utilizzando sequenze video con rotazione completa a 360° dell'oggetto, o combinando più video con traiettorie di camera complementari[16].

Alla luce di questi limiti, la Fase 5 si posiziona nel *workflow* complessivo non come alternativa alla Fase 4 ma come sua integrazione con finalità distinte. La *mesh Meshy AI* rimane lo strumento di riferimento per le applicazioni che richiedono manipolabilità tecnica: l'integrazione con *Grasshopper*, la verifica dimensionale in *Rhinoceros*, l'esportazione verso *game engines* con geometria ottimizzata. La scena *NeRF* di *Luma AI* è lo strumento di riferimento per le applicazioni che richiedono qualità visiva e immersività percettiva: la validazione dell'identità materica e atmosferica dell'oggetto generato, la produzione di *walkthrough* fotorealistici per la presentazione progettuale, la costruzione di esperienze immersive in VR. La genealogia tecnologica che conduce dal *NeRF* ai sistemi di *spatial intelligence* discussi nel Cap. 3.2.3 è del resto diretta e tracciabile: Ben Mildenhall, co-autore del paper fondativo del *NeRF*, è anche co-fondatore di World Labs insieme a Fei-Fei Li, Justin Johnson e Christoph Lassner.

16 Per i fondamenti tecnici della stima di pose di camera mediante *Structure-from-Motion* nel contesto della ricostruzione *NeRF* cfr. J. L. Schönberger, J.-M. Frahm, *Structure-from-Motion Revisited*, cit.

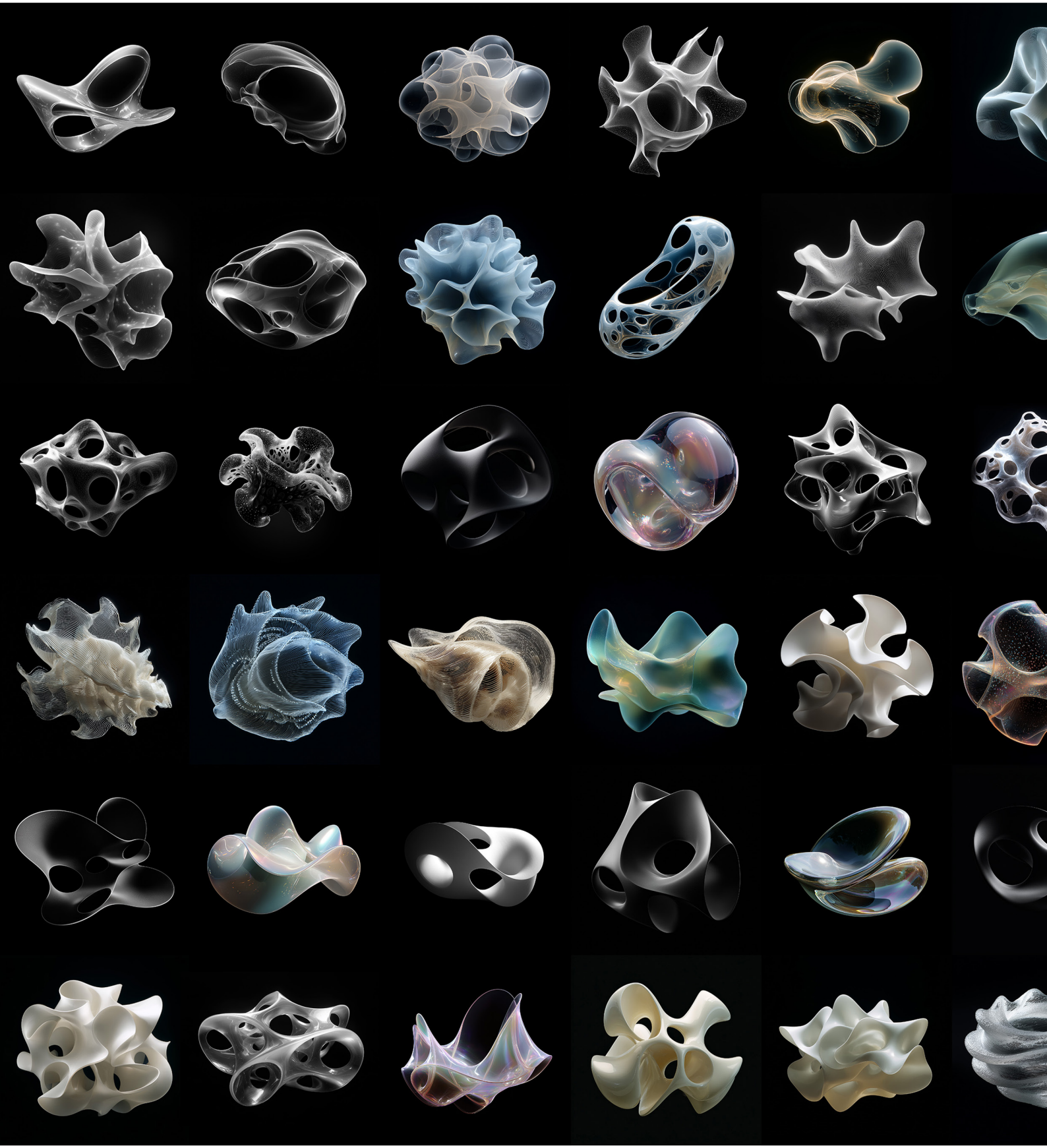
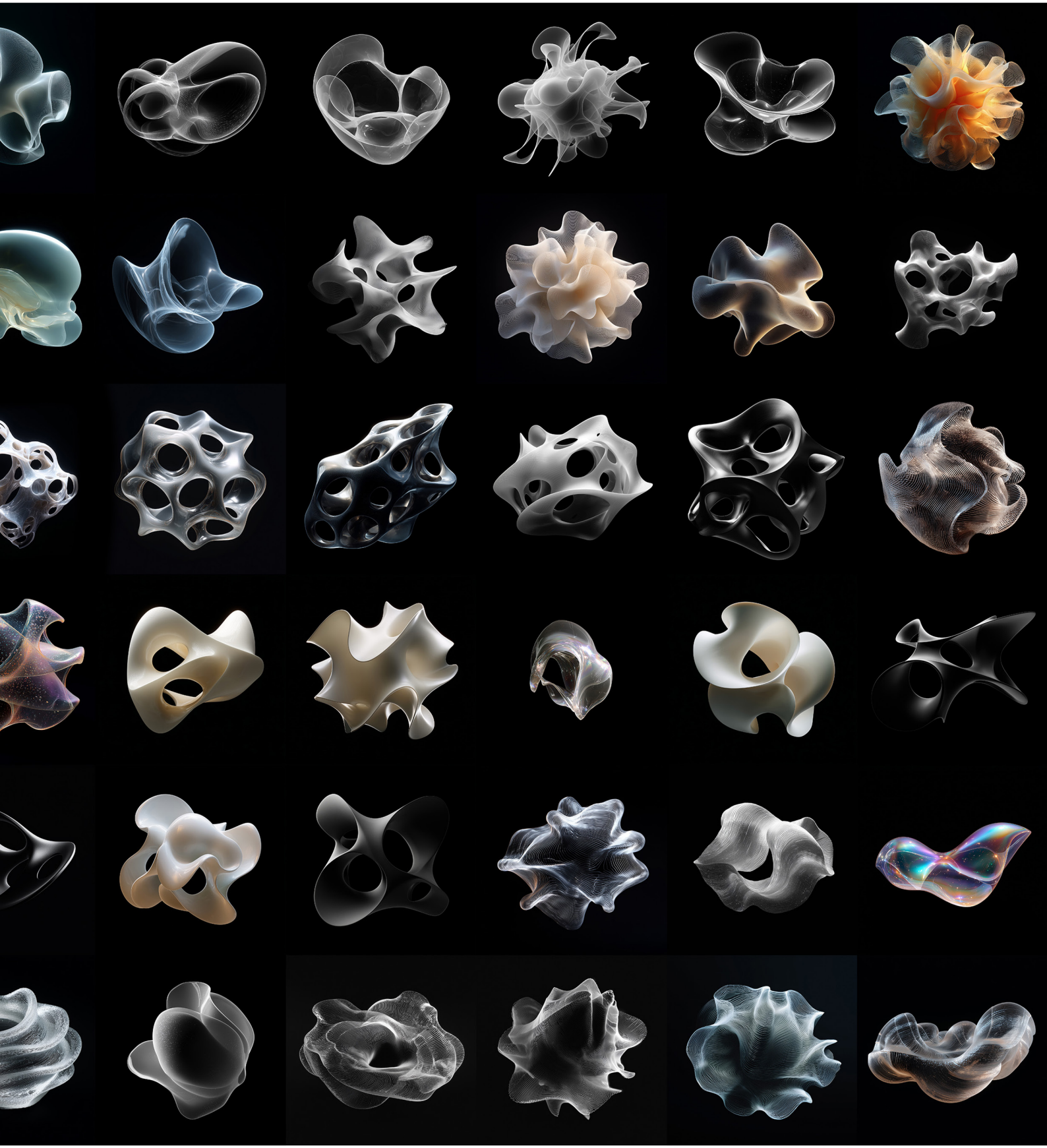


Figura 7.
Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA, prima tavola (immagini 1-66); generate con Midjourney V7 in modalità Raw (aspect ratio 1:1) che costituiscono il dataset curatoriale per il fine-tuning del modello Stable Diffusion v1.5. F. Zollo, 2025.



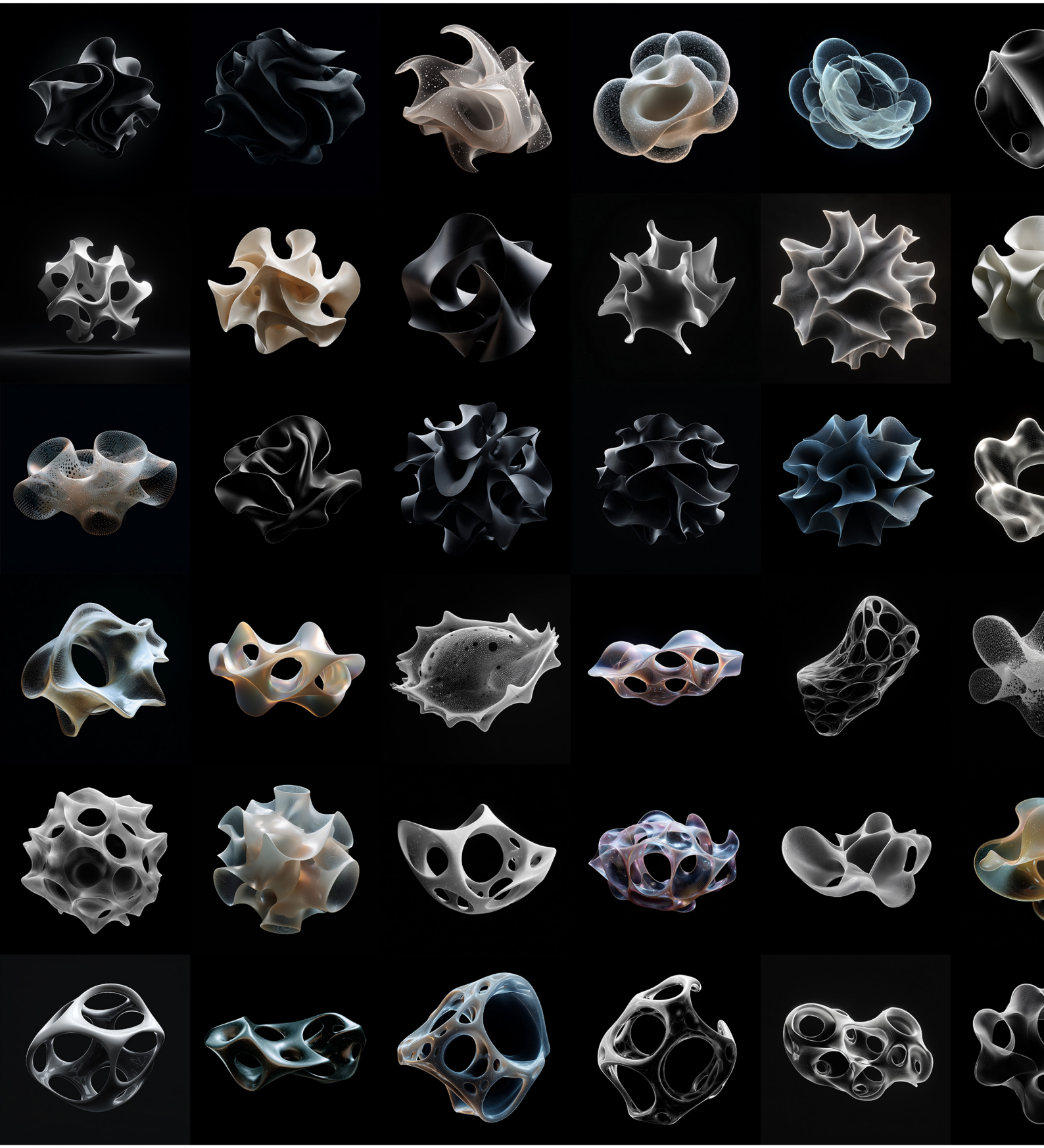


Figura 8.
Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA, seconda tavola (immagini 67-132); generate con Midjourney V7 in modalità Raw (aspect ratio 1:1) che costituiscono il dataset curatoriale per il fine-tuning del modello Stable Diffusion v1.5. F. Zollo, 2025.

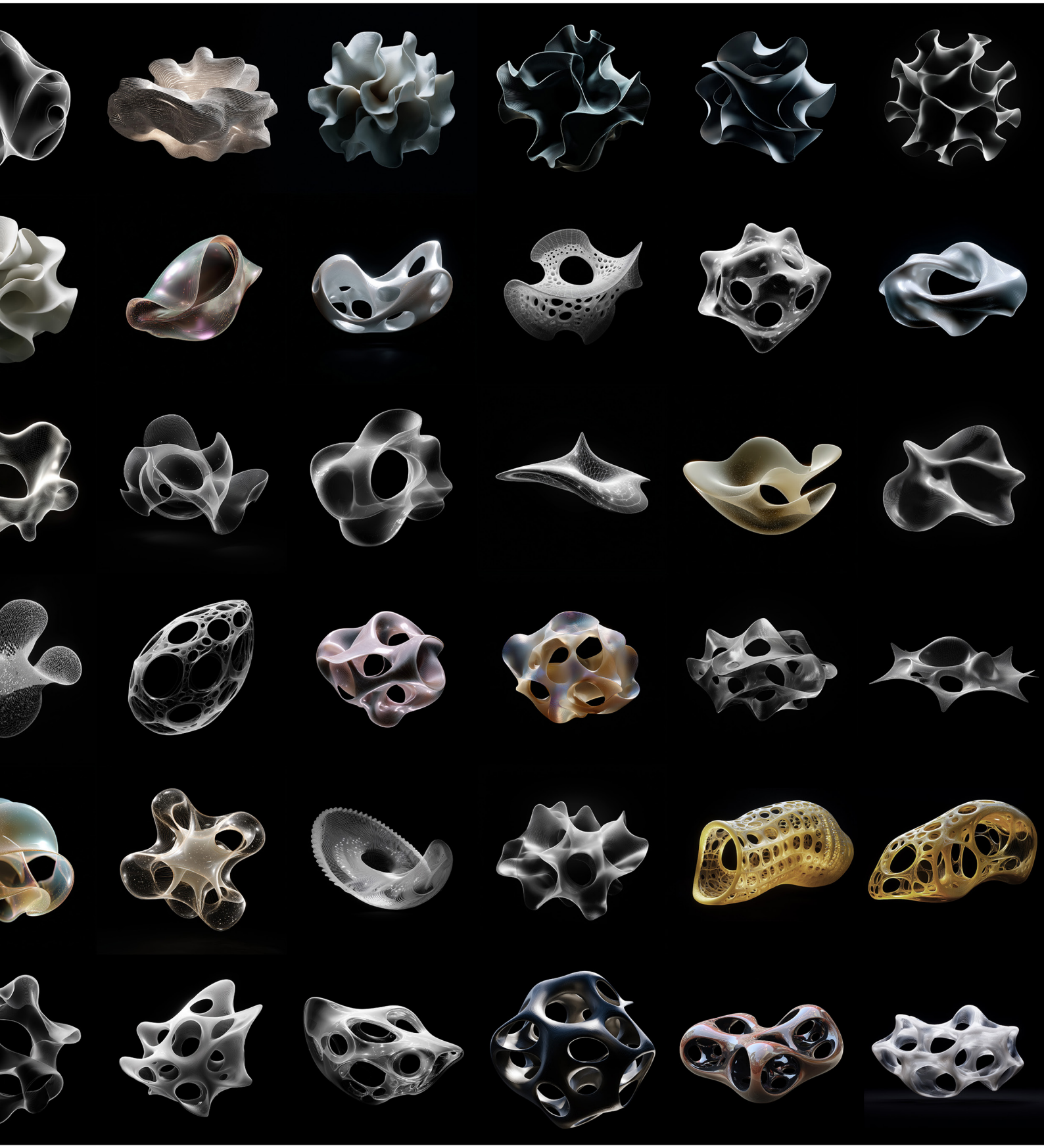
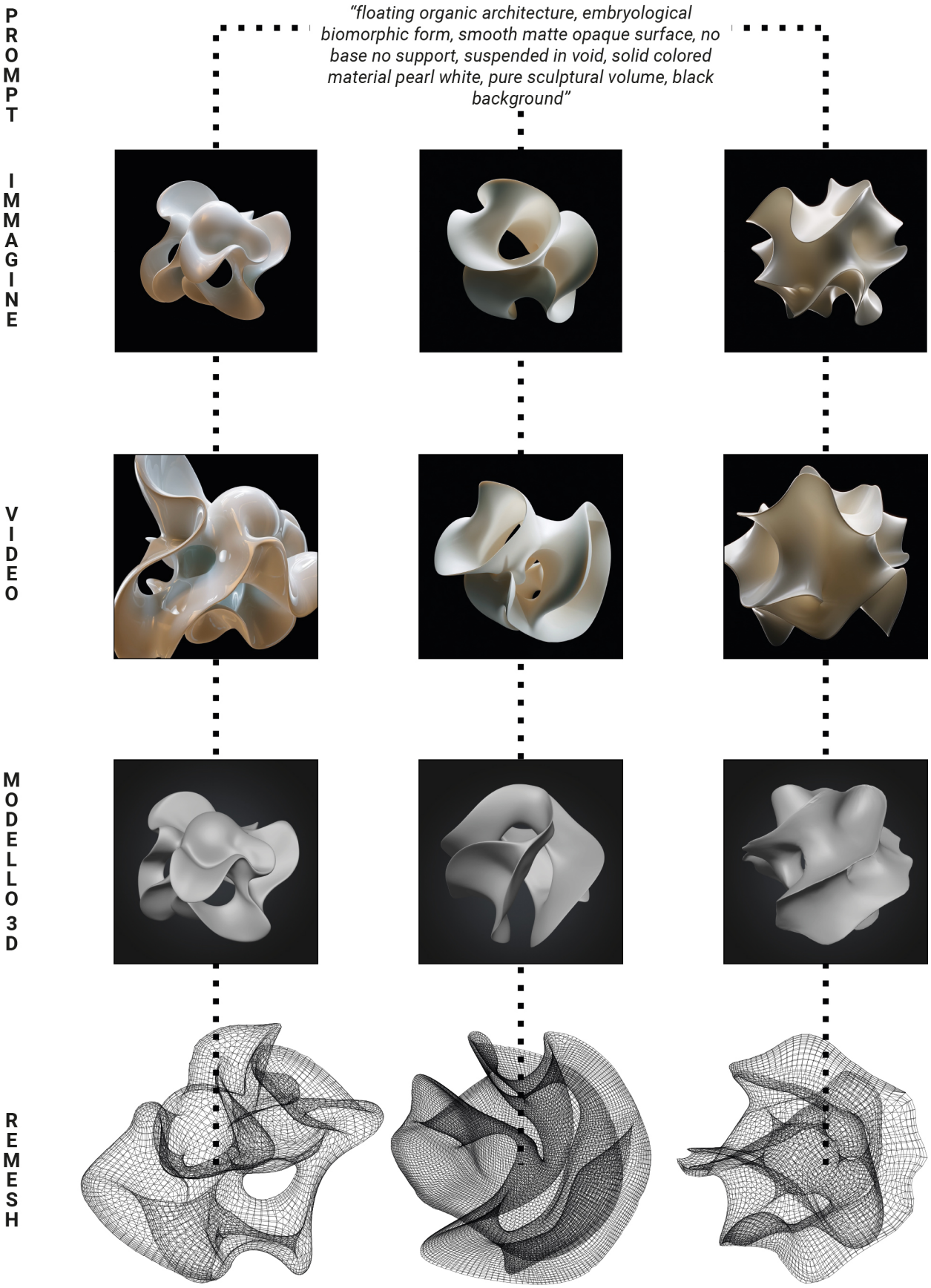


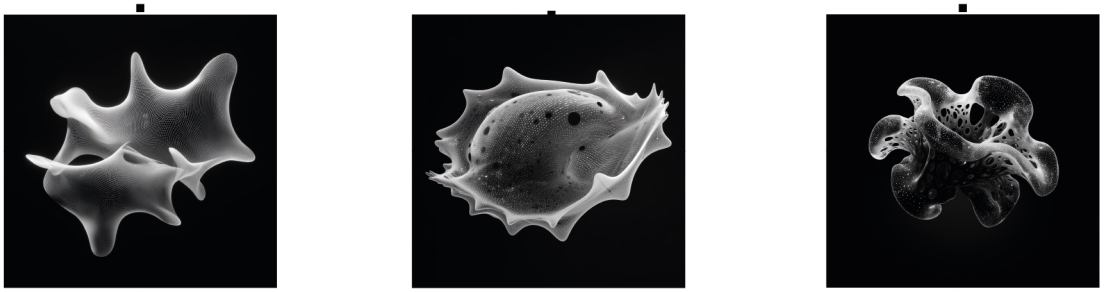
Figura 9.
Tavola dei Morfemi I; Documentazione comparata di due pipeline complete del workflow text-image-video-3D (Cap. 3.1.1): Fase 1 (prompt testuale), Fase 2 (immagine Midjourney), Fase 3 (frame estratto dalla sequenza video Midjourney Animate), Fase 4 (modello 3D renderizzato da Meshy AI) e remesh quad-dominant finale. La documentazione completa dei prompt e delle iterazioni conversazionali è raccolta nell'Appendice B. F. Zollo, 2025.



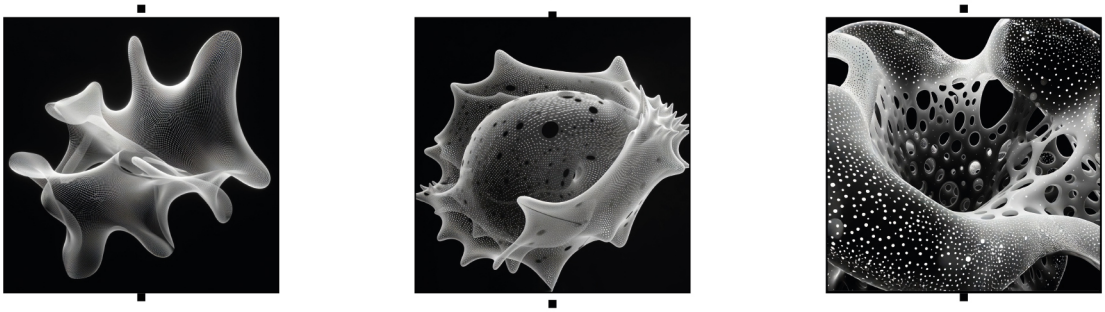
PROMPT

"levitating parametric blob form, organic embryological architecture, natural surface, floating in black void, no ground plane no base, translucent grey material, digital architectural study"

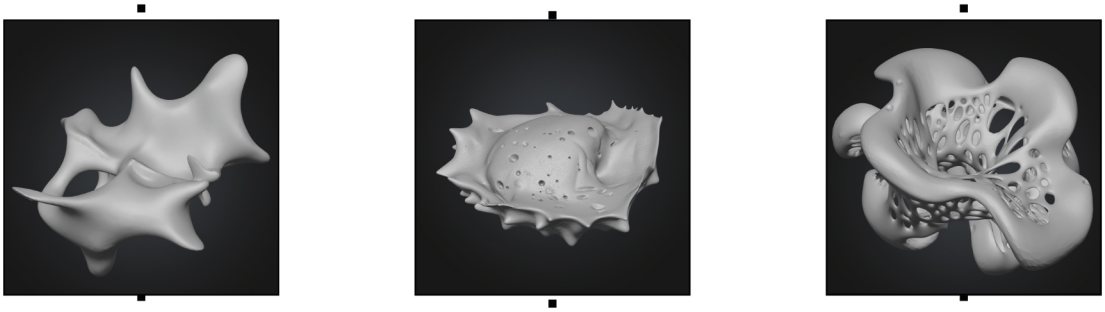
IMMAGINE



VIDEO



MODELLO 3D



REMESH

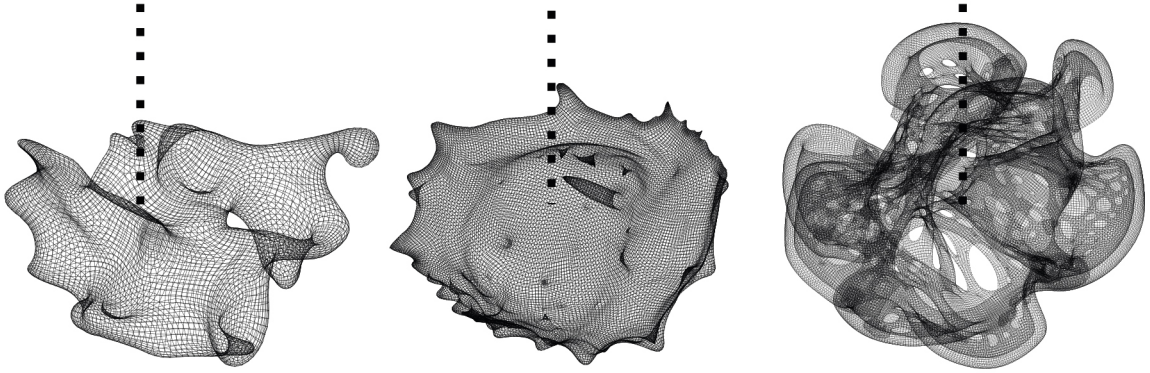
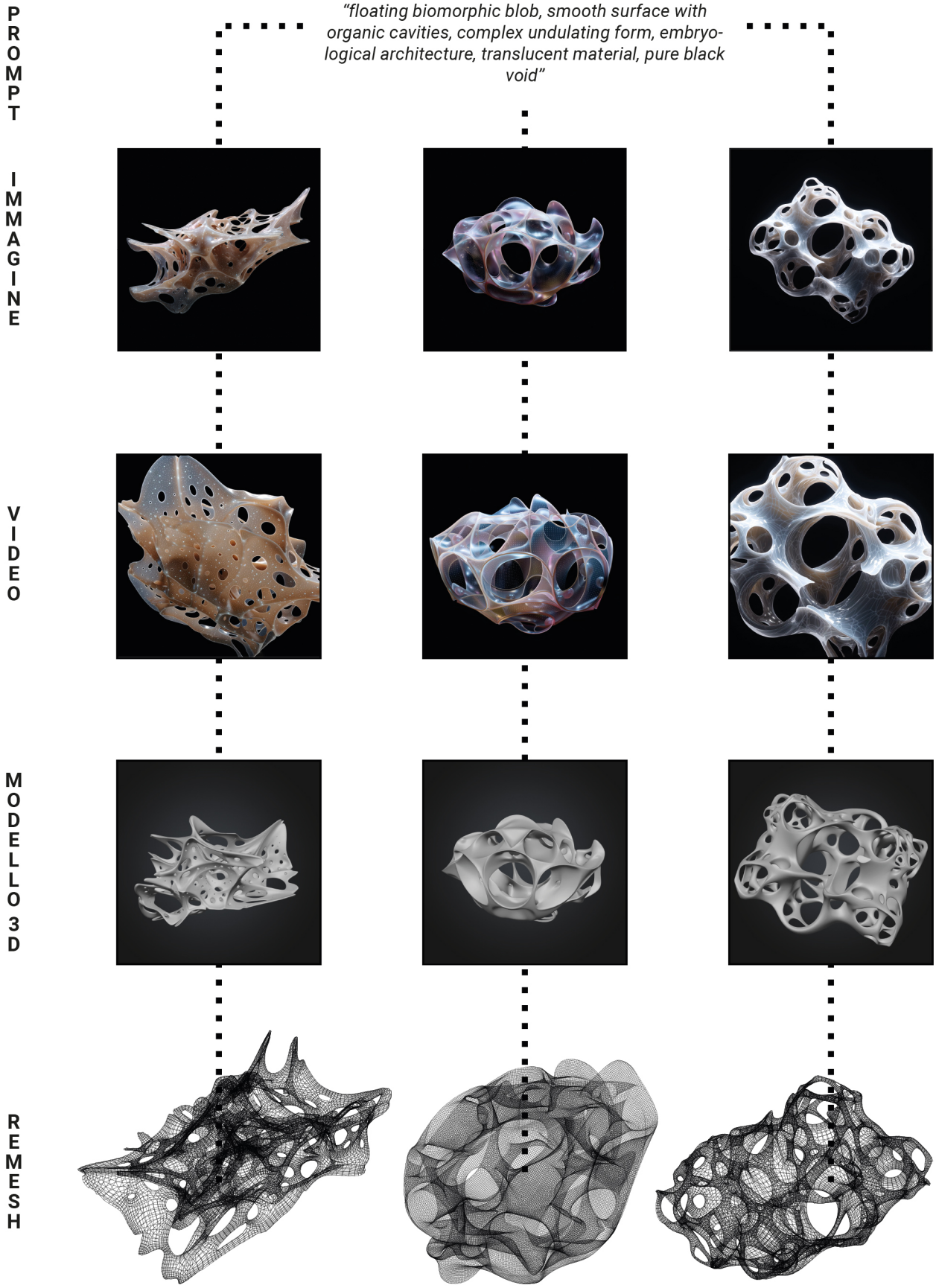


Figura 10.
Tavola dei Morfemi II; Documentazione comparata di due pipeline complete del workflow text-image-video-3D (Cap. 3.1.1): Fase 1 (prompt testuale), Fase 2 (immagine Midjourney), Fase 3 (frame estratto dalla sequenza video Midjourney Animate), Fase 4 (modello 3D da Meshy AI) e remesh quad-dominant finale. La documentazione completa dei prompt e delle iterazioni conversazionali è raccolta nell'Appendice B. F. Zollo, 2025.



PROMPT

"floating biomorphic blob, smooth surface with organic cavities, complex undulating form, continuous twisted volume, translucent material, pure black void"

IMMAGINE



VIDEO



MODELLO 3D



REMESH

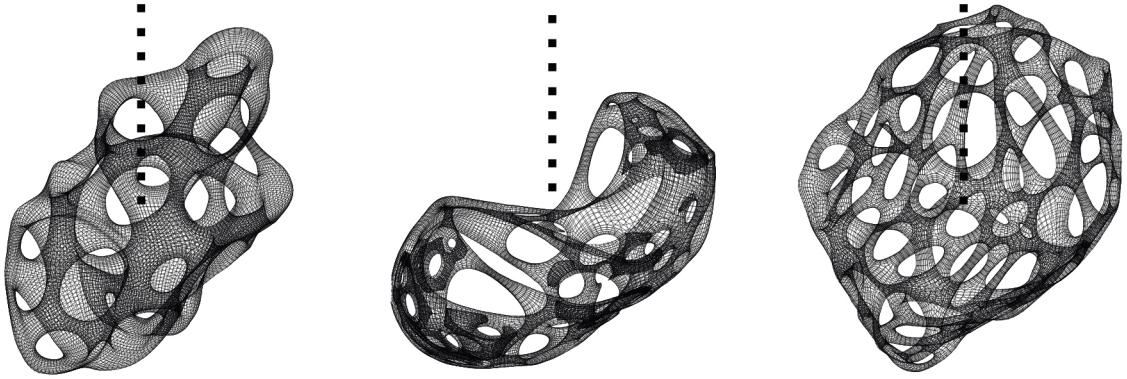
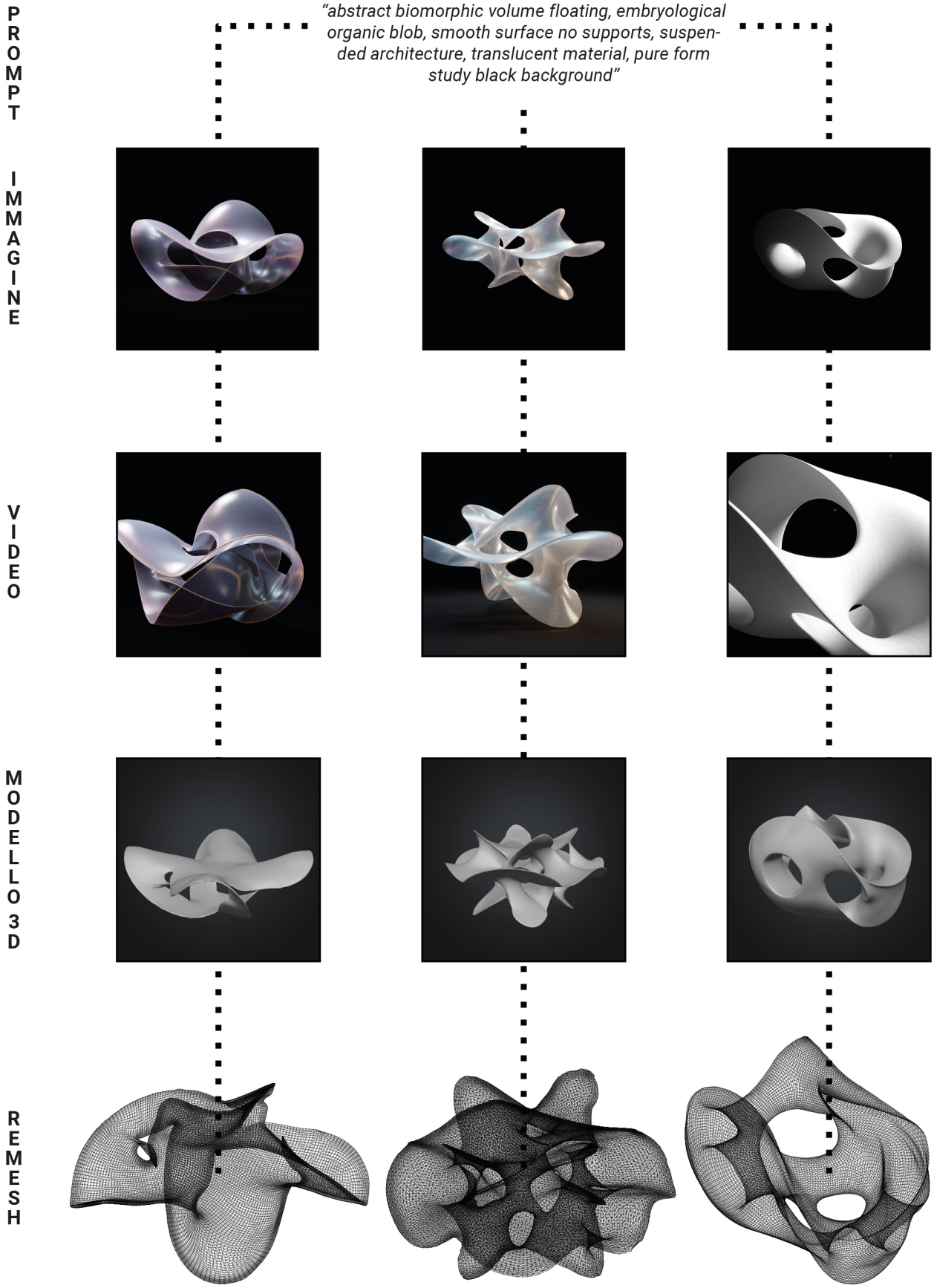


Figura 11.
Tavola dei Morfemi III; Documentazione comparata di due pipeline complete del workflow text-image-video-3D (Cap. 3.1.1): Fase 1 (prompt testuale), Fase 2 (immagine Midjourney), Fase 3 (frame estratto dalla sequenza video Midjourney Animate), Fase 4 (modello 3D da Meshy AI) e remesh quad-dominant finale. La documentazione completa dei prompt e delle iterazioni conversazionali è raccolta nell'Appendice B. F. Zollo, 2025.



PROMPT

"abstract biomorphic volume floating, embryological organic nebula, smooth surface no supports, suspended architecture, translucent material, pure form study black background"

IMMAGINE



VIDEO



MODELLO 3D



REMESH

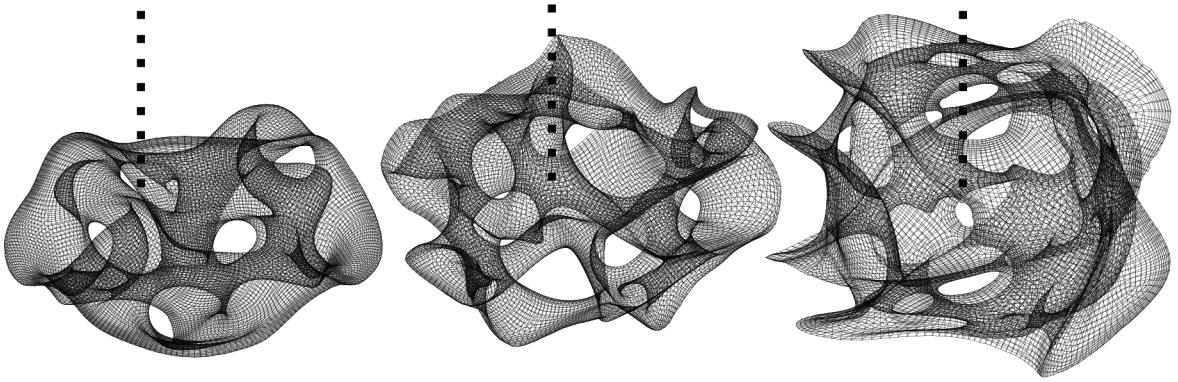
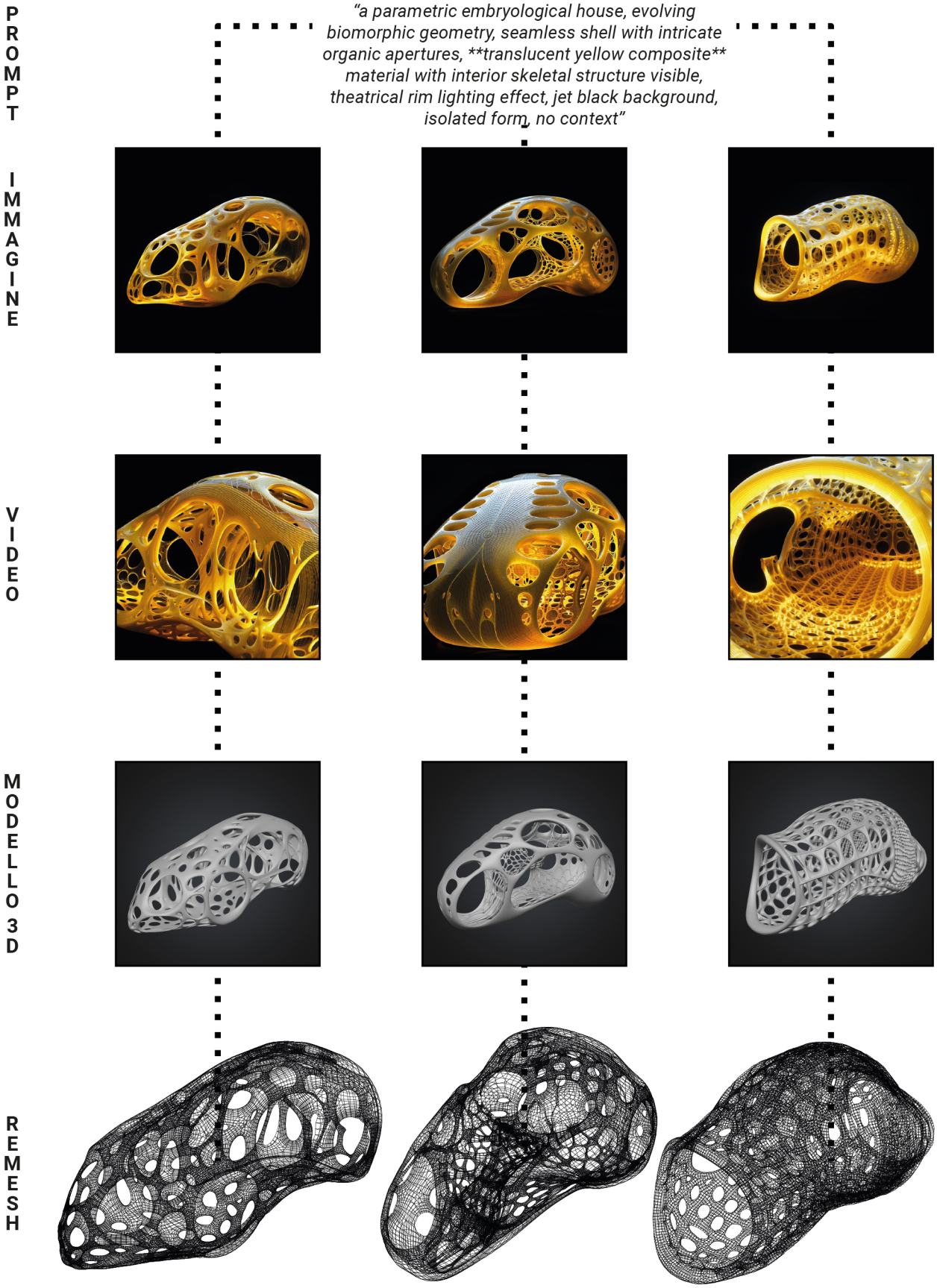


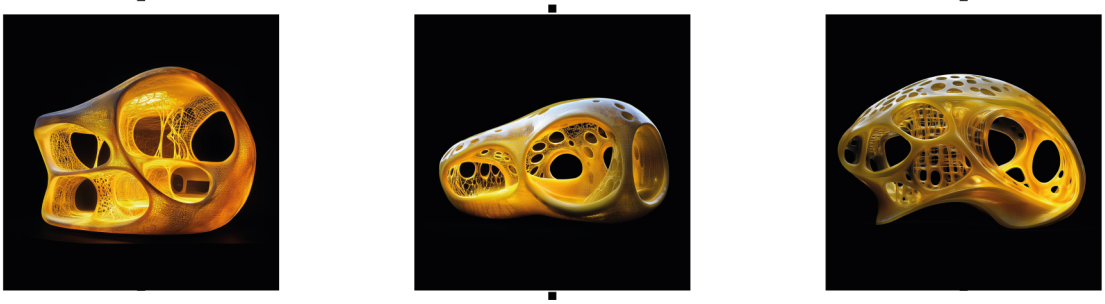
Figura 12.
Tavola dei Morfemi IV; Documentazione comparata di due pipeline complete del workflow text-image-video-3D (Cap. 3.1.1): Fase 1 (prompt testuale), Fase 2 (immagine Midjourney), Fase 3 (frame estratto dalla sequenza video Midjourney Animate), Fase 4 (modello 3D da Meshy AI) e remesh quad-dominant finale. La documentazione completa dei prompt e delle iterazioni conversazionali è raccolta nell'Appendice B. F. Zollo, 2025.



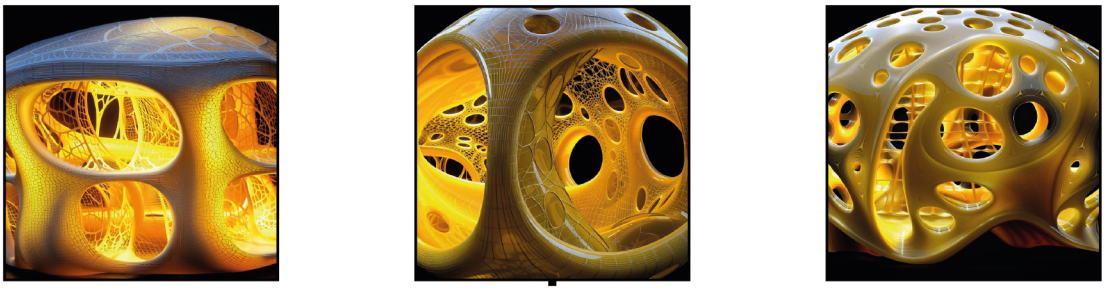
PROMPT

*"a parametric embryological house, evolving biomorphic geometry, seamless shell with intricate organic apertures, **translucent yellow composite** material with interior skeletal structure visible, theatrical rim lighting effect, jet black background, isolated form, no context"*

IMMAGINE



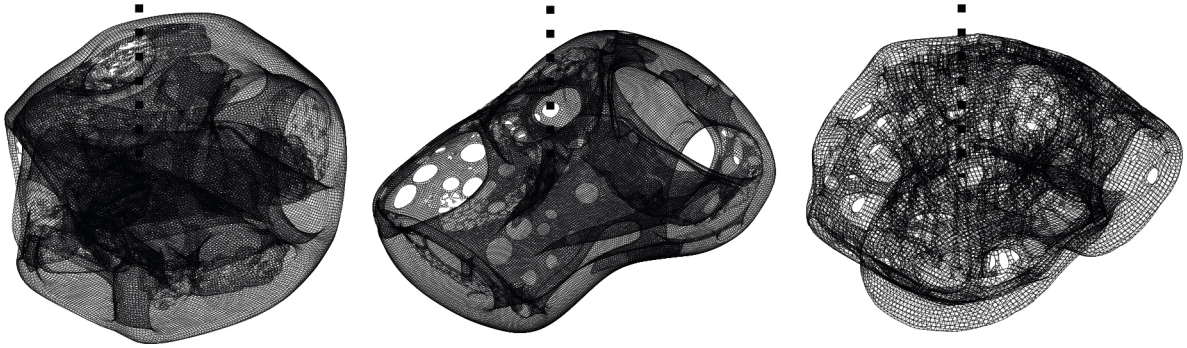
VIDEO



MODELLO 3D



REMESH



Validazione delle Geometrie

1. Pulizia delle geometrie quad
Versione A – ottima
Versione B – buona con riserve
Versione C – problematica

2. Rispondenza con le immagini inserite in Meshy
Versione A – alta corrispondenza
Versione B – corrispondenza parziale
Versione C – bassa corrispondenza

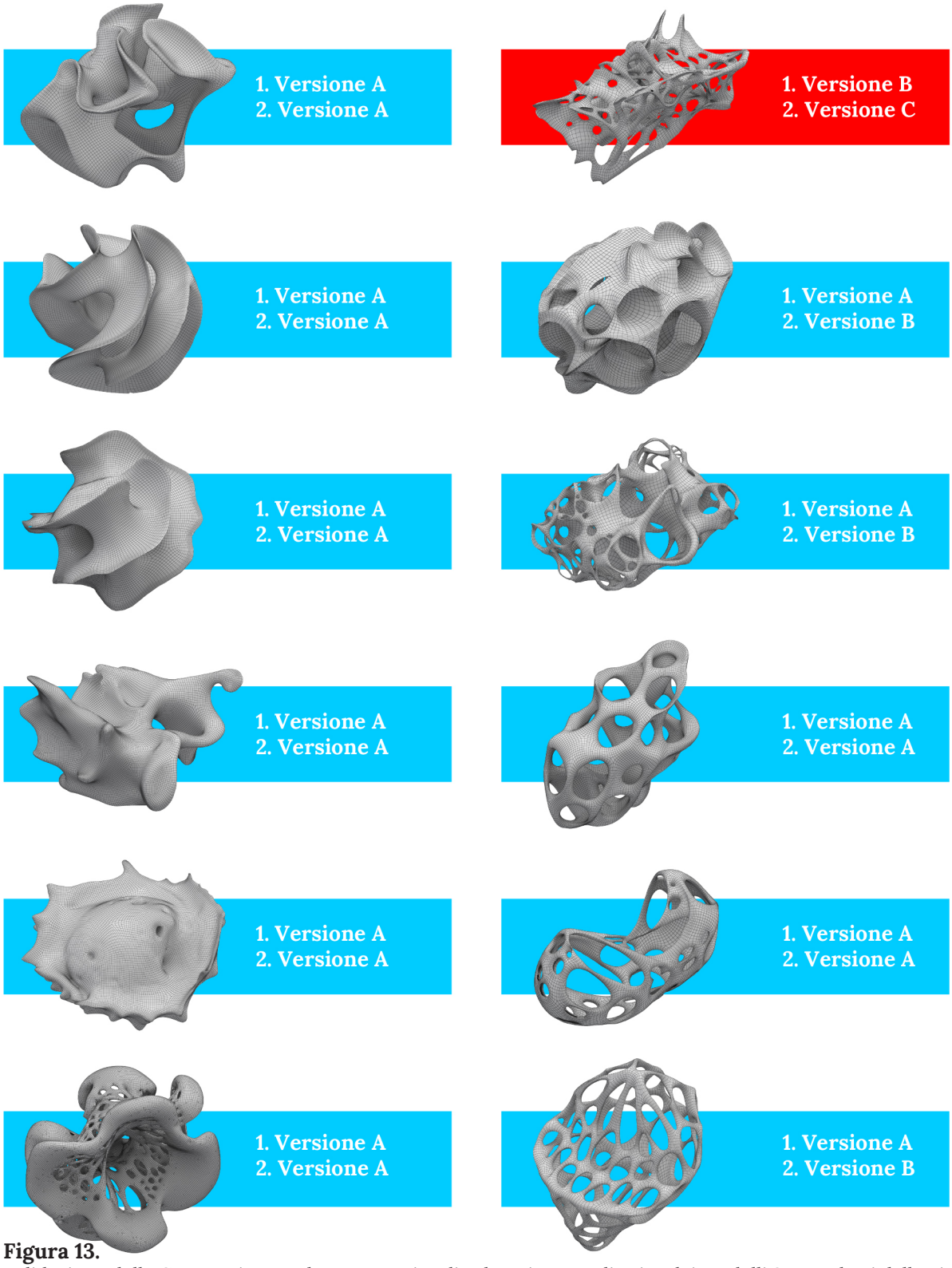
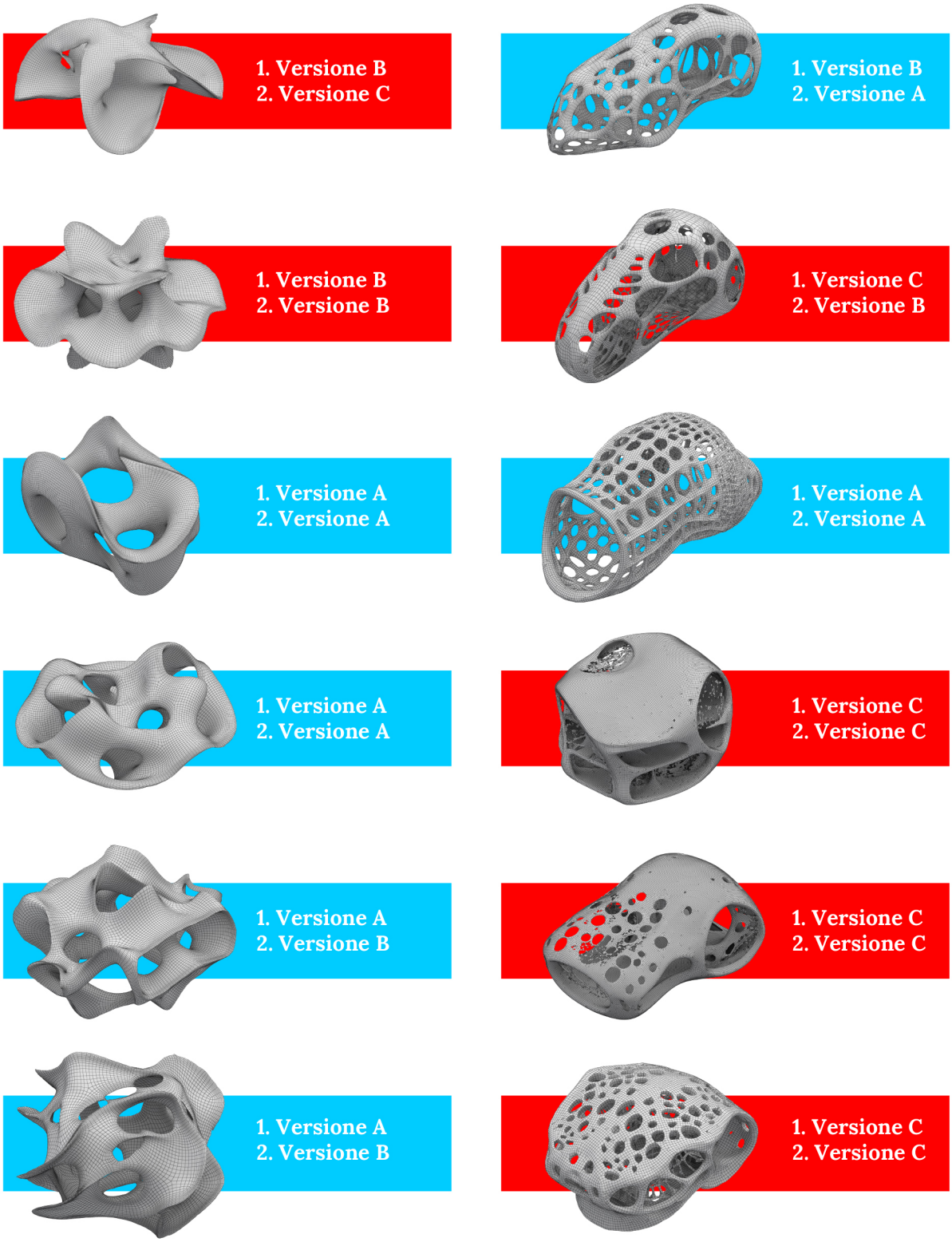


Figura 13.
Validazione delle Geometrie; Tavola comparativa di valutazione qualitativa dei modelli 3D prodotti dalla pipeline Meshy AI secondo i due criteri sopra elencati. Le geometrie con esito positivo (azzurro) hanno costituito la base del dataset per l'addestramento del modello LoRA su Stable Diffusion v1.5. F. Zollo, 2025.

I casi validati positivamente hanno costituito la base del dataset utilizzato per l'addestramento del modello LoRA su Stable Diffusion 1.5, definendo così il collegamento tra la fase di ricostruzione geometrica e quella di affinamento del processo generativo.

Positiva
Negativa



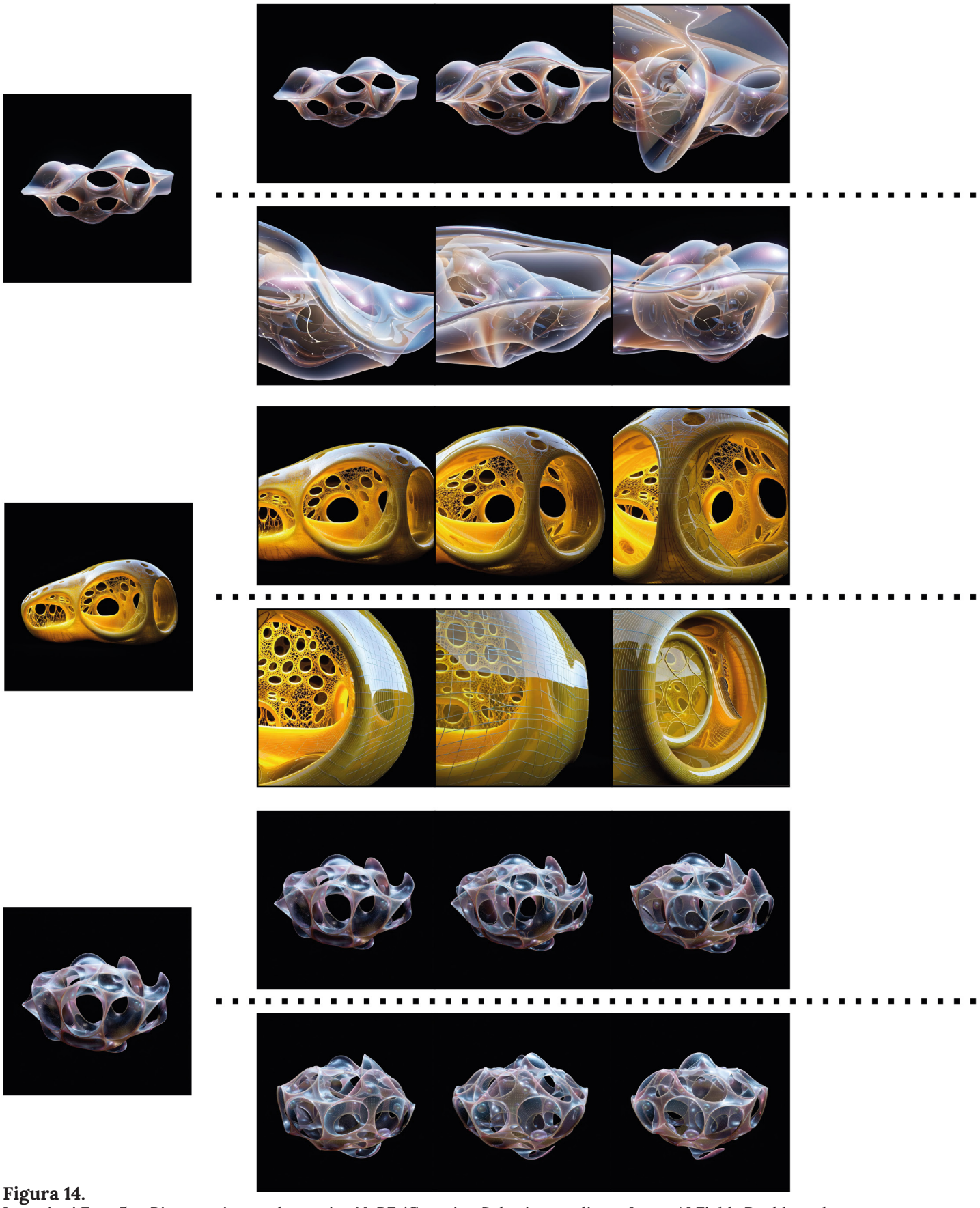
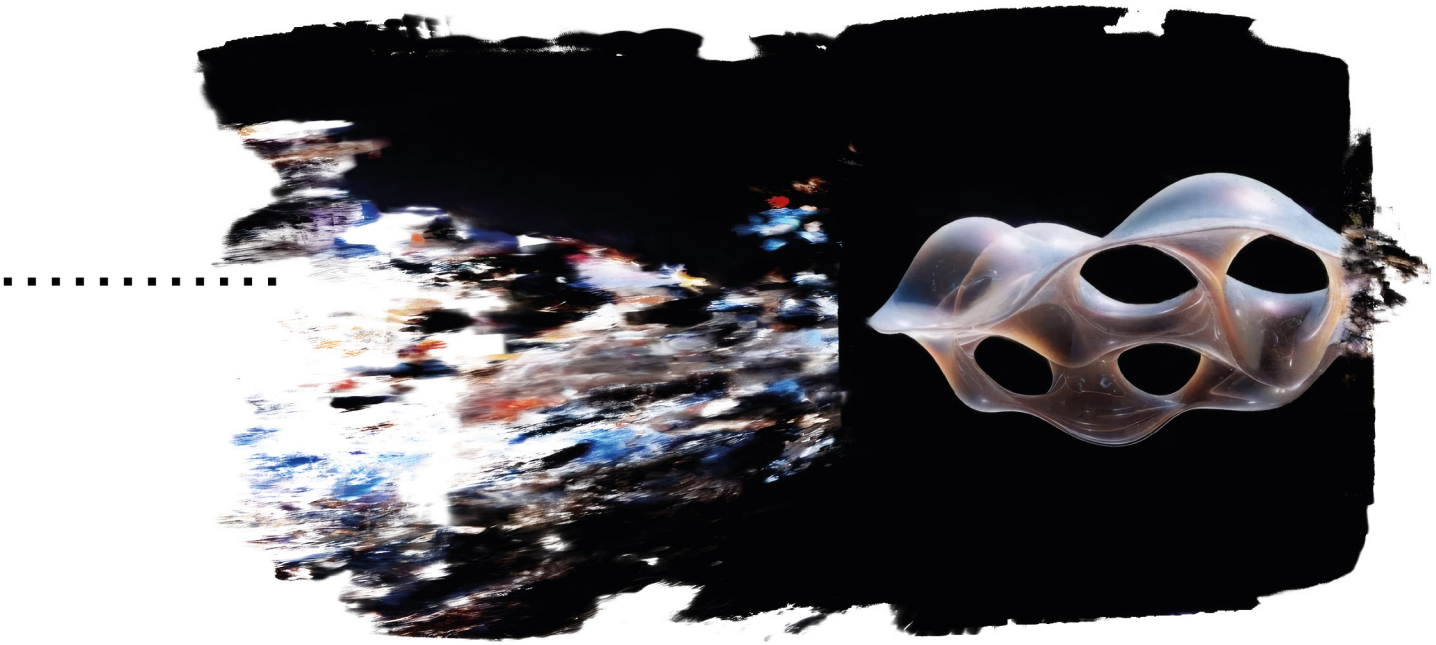
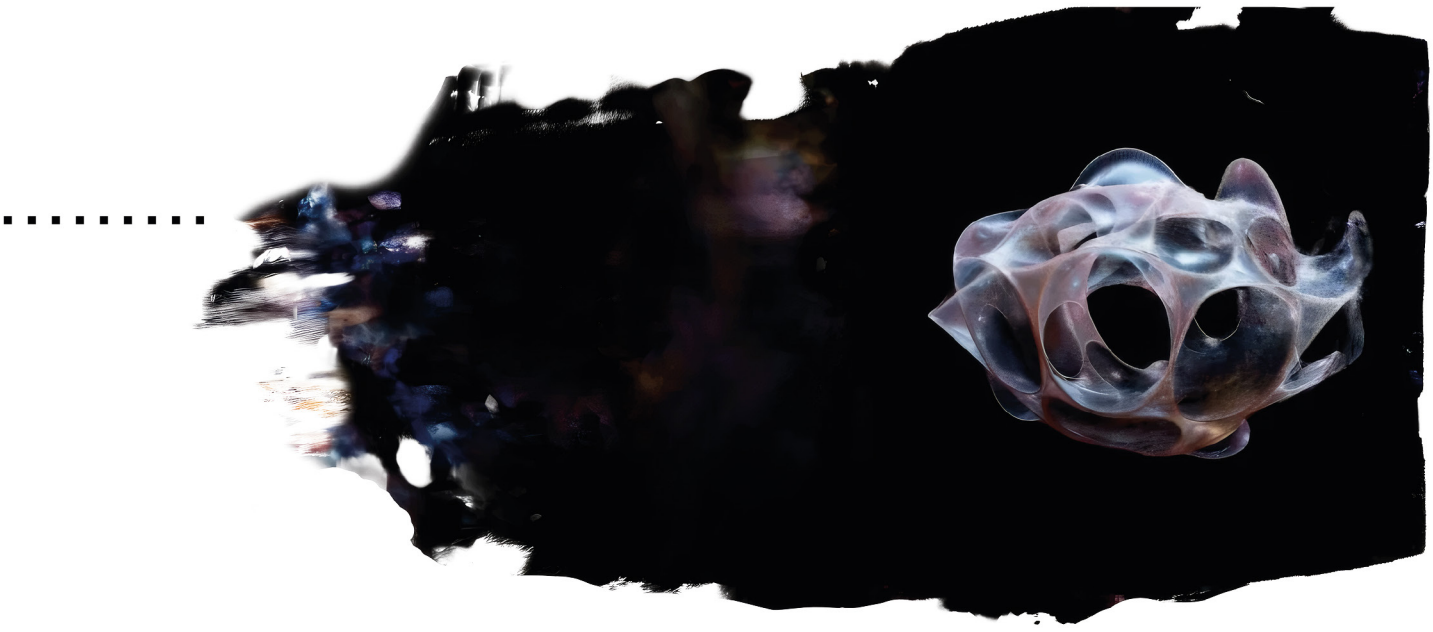


Figura 14.
Iterazioni Fase 5 — Ricostruzione volumetrica NeRF/Gaussian Splatting mediante Luma AI Fields Dashboard; Per ciascuna delle tre morfologie documentate, da sinistra: immagine sorgente Midjourney, sequenza di sei frame estratti dal video Midjourney Animate utilizzati come input multi-vista per la ricostruzione, e scena Gaussian Splatting esportata da Luma AI Fields Dashboard (@FabioZollo_1989). F. Zollo, 2025.







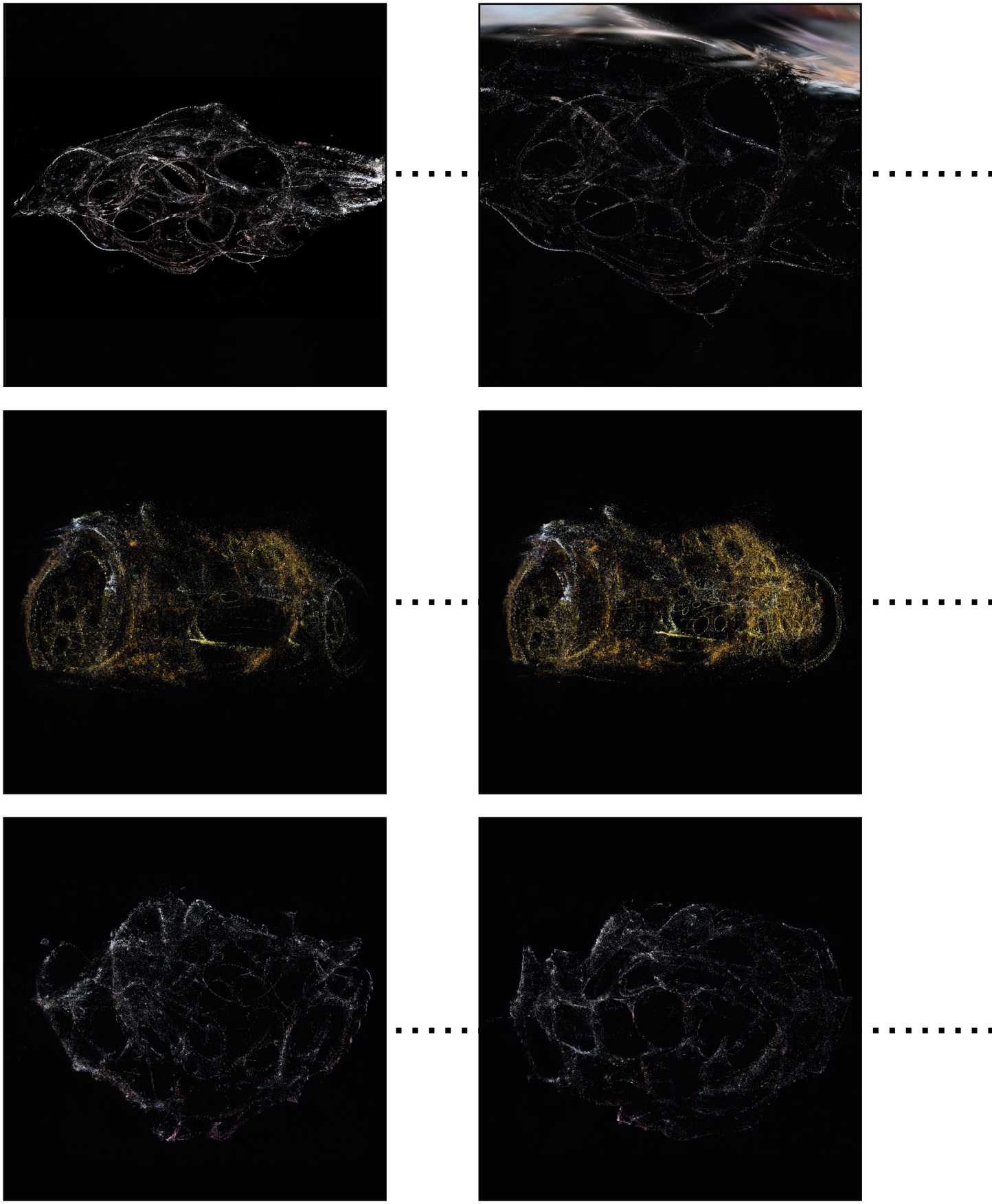
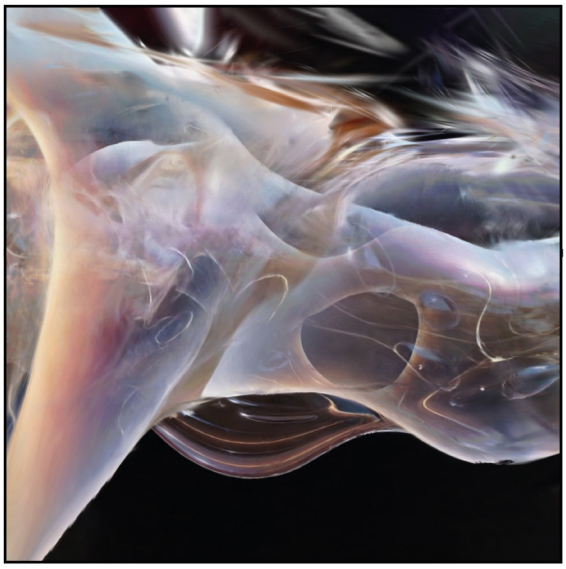
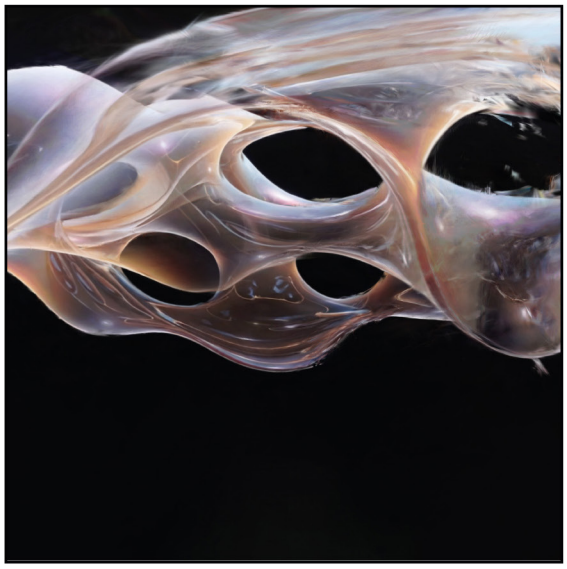
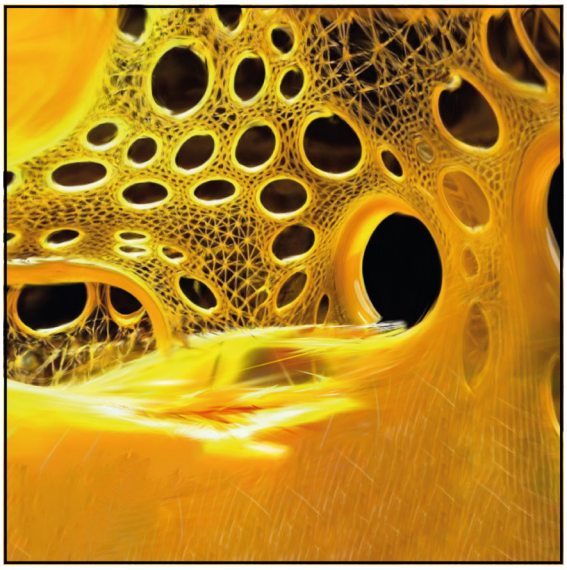


Figura 15.
Navigazione delle scene in Luma AI Fields Dashboard; Per ciascuno dei tre progetti, da sinistra: visualizzazione della nuvola di punti Gaussian Splatting in fase di caricamento nel dashboard. A destra: dettagli esplorativi ravvicinati delle tre morfologie navigate in tempo reale. F. Zollo, 2025.

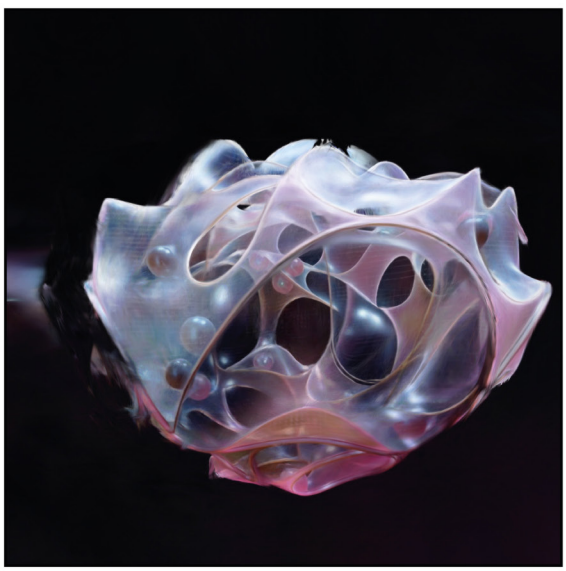












3.1.2 ADDESTRAMENTO DI UN MODELLO DI GENERAZIONE IMMAGINI: FINE-TUNING LoRA SU STABLE DIFFUSION

La generazione di immagini attraverso modelli di intelligenza artificiale pre-addestrati — come *Midjourney*, *DALL·E* o *Stable Diffusion* nel suo utilizzo standard — restituisce inevitabilmente *output* che appartengono a un immaginario collettivo e diffuso, costruito sulla vastità enciclopedica dei *dataset* con cui questi sistemi sono stati istruiti.
La qualità visiva di tali *output* è spesso notevole, ma la loro pertinenza rispetto a un linguaggio architettonico specifico, a una poetica progettuale precisa, a un repertorio morfologico riconoscibile e coerente, rimane strutturalmente limitata: il modello non conosce il progettista, non ha memoria del processo, non abita lo stesso immaginario.
Genera secondo parametri statistici estratti da miliardi di immagini, approssimando una risposta che è, per sua natura, mediana rispetto alla complessità del reale.
Questa constatazione non è una critica ai modelli generativi generalisti — la cui utilità per le fasi esplorative del processo progettuale è ampiamente documentata nel Cap. 3.1.1 — ma il riconoscimento di un limite costitutivo che apre a una questione metodologica fondamentale: è possibile addestrare un sistema di generazione immagini affinché apprenda un linguaggio architettonico specifico, acquisendo la capacità di generare *output* coerenti con una poetica progettuale definita? E, in caso affermativo, quale ruolo assume tale sistema nel *workflow* co-progettuale uomo-IA che questa ricerca intende costruire?
La risposta a queste domande si articola attorno al concetto di modello personalizzato, o più precisamente, di adattamento fine (*fine-tuning*) di un modello pre-addestrato attraverso tecniche di apprendimento per trasferimento (*transfer learning*).
Il presente capitolo documenta in modo sistematico e critico

il processo di addestramento di un modello *LoRA* (*Low-Rank Adaptation*) su un *corpus* di immagini architettoniche generate specificamente per questa ricerca, interrogando non soltanto le procedure tecniche ma le implicazioni teoriche e progettuali di tale operazione nel contesto del metaprogetto del [vIrtuAl museum].

L'addestramento di un modello personalizzato costituisce, in questa prospettiva, un atto progettuale in sé: non la semplice taratura di uno strumento, ma la definizione di un agente co-progettuale situato, capace di rispondere in modo coerente alle sollecitazioni del processo creativo perché ha appreso, attraverso l'esposizione ripetuta a un *corpus* selezionato, i tratti caratteristici di un linguaggio architettonico.

Il modello addestrato non è una copia del riferimento, né una riproduzione meccanica dello stile: è una proiezione latente, una comprensione statistica di *pattern* morfologici, materici e compositivi che il sistema ha interiorizzato e che è in grado di ricombinare secondo nuove sollecitazioni testuali.

Il paradigma di riferimento: l'Embryological House di Greg Lynn. La scelta del linguaggio architettonico su cui addestrare il modello personalizzato non è casuale né arbitraria: si inserisce in una precisa traiettoria teorica che attraversa l'intera struttura della ricerca e trova nel lavoro di Greg Lynn, e specificamente nel progetto dell'*Embryological House* (1997-2002), uno dei paradigmi fondativi dell'architettura digitale cui questa tesi si riferisce costantemente.

L'*Embryological House* non è un edificio costruito ma un sistema generativo: un insieme di regole parametriche capaci di produrre una famiglia di forme variabili ma riconoscibili, accomunate da una logica morfologica condivisa pur nella loro inesauribile differenza individuale.

Lynn concepisce la casa non come tipo fisso ma come popolazione di varianti — superfici *NURBS* continue, pelli

deformabili, volumi *blob* che rispondono a campi di forze invisibili — applicando alla progettazione architettonica i principi della biologia evolutiva e della morfogenesi digitale. Ogni istanza dell'*Embryological House* è unica, ma appartiene inequivocabilmente alla stessa genealogia formale.

Questo principio — la variazione controllata all'interno di un sistema generativo coerente — trova nella tecnica *LoRA* una traduzione computazionale straordinariamente pertinente. Come l'*Embryological House* definisce uno spazio morfologico latente da cui estrarre infinite variazioni, il modello *LoRA* addestrato su immagini di questa famiglia formale apprende la logica generativa sottostante, acquisendo la capacità di produrre nuove istanze che appartengono alla stessa genealogia visiva pur differenziandosi in ogni generazione.

Il modello personalizzato diventa, in questa lettura, uno strumento di attualizzazione del paradigma lynniano: la logica parametrica degli anni Novanta, tradotta nel linguaggio dei modelli di diffusione contemporanei.

L'operazione non è semplicemente imitativa: il dialogo fra il *corpus* di riferimento — le immagini generate su *Midjourney* ispirate all'*Embryological House* — e il modello di diffusione pre-addestrato produce una sintesi che eccede entrambi i termini — forme che condividono la grammatica morfologica lynniana ma la abitano in un contesto tecnologico, visivo e culturale profondamente mutato. È questa capacità di attualizzazione critica — non mimesi passiva ma rielaborazione generativa — che giustifica la scelta metodologica e ne fonda la pertinenza teorica nel contesto del metaprogetto del [vIrtuAl museum].

3.1.2.1 Fondamenti tecnici: Stable Diffusion e la tecnica LoRA

Stable Diffusion — il sistema su cui si basa il presente lavoro — appartiene alla categoria dei *Latent Diffusion Models* (*LDM*), modelli generativi che operano non direttamente

nello spazio dei *pixel* ma in uno spazio latente compresso, rendendo il processo di generazione computazionalmente accessibile anche su *hardware consumer*[17].

Il funzionamento di un modello di diffusione si articola in due fasi complementari: una fase di *forward diffusion*, in cui immagini reali vengono progressivamente perturbate aggiungendo rumore gaussiano fino a ottenere rumore puro; e una fase di *reverse diffusion*, in cui il modello impara a invertire questo processo, deducendo l'immagine originale a partire dal rumore.

Durante il *training*, il modello apprende a predire il rumore aggiunto a ogni *step* della catena di diffusione, ottimizzando i propri pesi attraverso la minimizzazione di una funzione di perdita (*loss function*) che misura la discrepanza fra il rumore predetto e quello effettivamente aggiunto.

La guida testuale — la capacità del modello di generare immagini corrispondenti a descrizioni verbali — è resa possibile dall'integrazione di un *encoder* linguistico (nel caso di *Stable Diffusion v1.5*, il *CLIP ViT-L/14* di *OpenAI*) che traduce i testi in vettori semantici utilizzati per condizionare il processo di *denoising* attraverso un meccanismo di *cross-attention*.

Questo consente al modello di orientare la generazione verso contenuti visivi coerenti con il *prompt* testuale, senza che tale coerenza si riduca a una corrispondenza meccanica ma passi attraverso la comprensione semantica profonda che il sistema ha acquisito durante il pre-addestramento su vasta scala.

L'architettura *U-Net* del modello di diffusione — il componente centrale responsabile della predizione del rumore — è organizzata in blocchi *encoder-decoder* simmetrici connessi da *skip connections*, con strati di attenzione che permettono

17 Per il *paper* fondativo dei *Latent Diffusion Models* cfr. R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz, P. Esser, B. Ommer, *High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models*, in *Proceedings of CVPR*, New Orleans 2022, pp. 10684-10695. Per *Stable Diffusion* cfr. App. A1, Scheda 31.

la cattura di dipendenze a lungo raggio nell'immagine.
È precisamente su questa architettura che agisce la tecnica *LoRA*, modificando in modo selettivo e parametricamente efficiente i pesi del modello durante il *fine-tuning*.
La tecnica LoRA: adattamento a basso rango come strategia di fine-tuning.
La tecnica *LoRA* (*Low-Rank Adaptation*), originariamente proposta da Hu e colleghi (2021) nel contesto dell'adattamento di modelli linguistici di grandi dimensioni[18], è stata successivamente applicata con grande successo al *fine-tuning* di modelli di diffusione per immagini, divenendo lo standard *de facto* per la personalizzazione di *Stable Diffusion* in contesti professionali e di ricerca.
Il principio fondamentale di *LoRA* si basa su un'osservazione empirica: la variazione dei pesi di un modello durante il *fine-tuning* tende ad avere un rango intrinseco basso, cioè può essere approssimata come il prodotto di due matrici di rango inferiore senza perdita significativa di qualità.
Anziché aggiornare direttamente le matrici di pesi del modello pre-addestrato — operazione computazionalmente costosa che richiede memoria proporzionale al numero totale di parametri — *LoRA* decompone la variazione come prodotto di due matrici A e B di rango ridotto r, dove r è il rango della decomposizione.
Durante il *forward pass*, l'*output* del *layer* modificato diventa W'x = Wx + BAx, dove W sono i pesi originali congelati e BA è l'adattamento a basso rango.
Al momento dell'inferenza i pesi possono essere fusi (W' = W + BA) eliminando qualsiasi *overhead* computazionale rispetto al modello originale.
Il numero di parametri addestrabili si riduce drasticamente: per un *layer* con dimensioni 1024×1024 e rango 32 si passa da oltre un milione di parametri a circa 65.000, una riduzione

18 E. Hu, Y. Shen, P. Wallis, Z. Allen-Zhu, Y. Li, S. Wang, L. Wang, W. Chen, *LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models*, arXiv:2106.09685, 2021.

di circa 16 volte. Nel contesto dei modelli di diffusione, *LoRA* viene tipicamente applicato ai *layer* di attenzione della *U-Net* — specificamente alle proiezioni Q (*query*), K (*key*), V (*value*) e alle proiezioni di *output* — e ai *layer* del *text encoder*.
Il parametro di rango (denominato *Network Rank* o *Dimension* nell'interfaccia di *Kohya_ss*) controlla la capacità espressiva del modello: valori bassi (4-8) sono sufficienti per adattamenti stilistici leggeri, valori medi (16-32) permettono l'apprendimento di linguaggi visivi più articolati, valori elevati (64-128) consentono adattamenti molto specifici ma richiedono *dataset* più ampi e rischiano l'*overfitting*.
Il parametro *alpha*, complementare al rango, scala il contributo dell'adattamento *LoRA* durante l'addestramento: convenzionalmente impostato alla metà del valore di rango, agisce come fattore di regolarizzazione che bilancia il contributo del *fine-tuning* rispetto alla conoscenza pre-addestrata del modello base.
Questa relazione alpha = rango/2 garantisce che gli adattamenti appresi si integrino con il modello pre-addestrato senza sovrascriverne le rappresentazioni generaliste.

3.1.2.2 Costruzione del corpus e preparazione del dataset

Il *corpus* di immagini su cui il modello *LoRA* è stato addestrato rappresenta il primo e più determinante atto progettuale dell'intero processo. La qualità, la coerenza e la varietà del *dataset* condizionano direttamente la qualità degli *output* del modello addestrato: un *corpus* povero produce un modello rigido e poco generalizzabile; un *corpus* incoerente produce un modello confuso; un *corpus* troppo omogeneo produce un modello capace di replicare ma non di variare.
La costruzione del *corpus* ha richiesto una serie di scelte metodologiche consapevoli che vengono qui documentate nella loro sequenza logica e giustificate rispetto agli obiettivi della ricerca.

Definizione del linguaggio visivo di riferimento.
Il *corpus* è stato costruito attorno al linguaggio morfologico dell'*Embryological House* di Greg Lynn, caratterizzato da volumi *blob* organici, superfici continue NURBS, assenza di elementi strutturali visibili, pelle continua e deformabile, estetica computazionale che tradisce l'origine digitale della forma. Questo linguaggio si distingue nettamente tanto dalle forme ortogonali dell'architettura convenzionale quanto dalle geometrie decostruttiviste di Gehry o Hadid: è un'estetica della continuità e della fluidità, del passaggio senza discontinuità fra concavo e convesso, del volume che respira e si deforma secondo logiche interne invisibili.

Generazione delle immagini su Midjourney V7.
Le 128 immagini che compongono il *corpus* definitivo (cfr. Figg. 7-8) sono state generate attraverso la piattaforma *Midjourney* V7, utilizzando una famiglia di *prompt* sistematicamente raffinati attraverso un processo iterativo di generazione, valutazione e revisione.
La scelta di *Midjourney* V7 — versione più recente al momento della ricerca — è motivata dalla superiore capacità di questa versione nel gestire forme organiche complesse e nel mantenere coerenza formale attraverso variazioni controllate del *prompt*. Il processo di definizione dei *prompt* ha attraversato diverse fasi di ottimizzazione.
Le prime generazioni hanno prodotto forme eccessivamente simili a strutture fisiche reali — con pilastri, basi di appoggio, elementi strutturali visibili — che contraddicevano l'estetica di sospensione e leggerezza caratteristica del riferimento lynniano.
Successive iterazioni hanno introdotto nel *prompt* elementi di negazione esplicita — *no base*, *no support*, *no pedestal*, *floating*, *levitating*, *suspended in void* — e di specificazione materica — *frosted translucent material*, *semi-translucent*, *matte opaque* — convergendo progressivamente verso forme

più coerenti con l'immaginario di riferimento.
Il *prompt* definitivo, nella sua versione più efficace, si è strutturato attorno ai seguenti elementi semantici: la condizione di levitazione del volume nello spazio (*floating organic blob architecture*, *suspended in pure black void*); la continuità della superficie (*smooth continuous surface*, *seamless flowing form*, *no openings*); la complessità morfologica controllata (*complex folded surface*, *undulating curves*, *twisted form*, *articulated flowing volume*); la definizione materica (*frosted translucent material*, *matte opaque surface*); il riferimento esplicito al paradigma lynniano (*embryological biomorphic form*, *parametric design*, *greg lynn architecture style*); il parametro tecnico di sfondo (*pitch black background*, *pure black void*).
I parametri di generazione sono stati mantenuti costanti attraverso l'intero processo: proporzione quadrata 1:1, modalità *Raw* per ridurre la stilizzazione automatica di *Midjourney*, risoluzione massima attraverso *upscale Subtle* per preservare l'integrità morfologica del risultato originale. Questa coerenza parametrica è essenziale per garantire l'uniformità del *corpus*: variazioni nelle condizioni di generazione avrebbero introdotto discontinuità difficilmente controllabili nelle rappresentazioni apprese dal modello.

Selezione qualitativa e revisione del corpus.
Non tutte le immagini generate su *Midjourney* sono state incluse nel *corpus* definitivo.
Un processo di selezione qualitativa ha eliminato: immagini con sfondo non perfettamente nero — discontinuità che avrebbero confuso il modello sulla relazione figura-sfondo; forme eccessivamente simili ad altri referenti visivi non intenzionali — conchiglie, organismi marini, forme zoomorfe; immagini con artefatti visivi o incoerenze morfologiche evidenti; varianti troppo simili ad altre già

presenti nel *corpus* — che avrebbero introdotto squilibri nella distribuzione del *dataset*.

Struttura cartelle, formato dei file, caption.
La preparazione tecnica del *dataset* per il *training* LoRA richiede una serie di operazioni preliminari che precedono l'avvio effettivo del processo di addestramento e che ne condizionano significativamente la qualità.
Il *framework Kohya_ss* — il sistema di addestramento utilizzato in questa ricerca, di cui si discuterà nella prossima sottosezione — richiede una struttura di cartelle specifica che codifica nel nome della *directory* due informazioni essenziali: il numero di ripetizioni del *dataset* per *epoch* e il *token* testuale associato alle immagini. La struttura adottata segue la convenzione [n_ripetizioni]_[token prompt], nel caso specifico 10_embryological blob architecture. Questa denominazione indica a *Kohya_ss* di iterare il *dataset* 10 volte per ogni *epoch* di *training*, portando il numero totale di *steps* per *epoch* da 128 (le immagini effettive) a 1.280, e di associare il *token* embryological blob architecture come descrizione semantica del contenuto.
Le immagini generate su *Midjourney*, scaricate in formato *PNG* ad alta risoluzione, sono state convertite in formato *JPEG* con qualità elevata attraverso uno *script batch* automatizzato, che ha simultaneamente provveduto alla rinominazione sequenziale dei *file* secondo la convenzione embryo_001.jpg, embryo_002.jpg, fino a embryo_128.jpg. Ciascuna delle 128 immagini è stata associata a un *file* di testo corrispondente — con estensione .txt e stesso nome del *file* immagine — contenente la descrizione verbale dell'immagine stessa (cfr. Fig. 16).
Questi *file caption* assolvono una funzione essenziale nel processo di addestramento: forniscono al modello l'associazione semantica fra la rappresentazione visiva e il suo corrispettivo linguistico, consentendo al *text encoder* (*CLIP*)

di apprendere quali caratteristiche visive corrispondono a quali *token* testuali.

La *caption* standardizzata adottata — organic blob architecture, embryological form, parametric design, floating biomorphic structure, smooth surface — è stata costruita per essere semanticamente ricca ma non ridondante, identificando le caratteristiche morfologiche essenziali del *corpus* senza introdurre specificità contestuali — angolazione, materiale — che avrebbero limitato la generalizzabilità del modello. La scelta di una *caption* uniforme per tutte le immagini, anziché *caption* differenziate per ogni singola immagine, risponde alla necessità di addestrare un *LoRA* di stile anziché di contenuto: si vuole che il modello apprenda la grammatica morfologica lynniana come proprietà associata al *token* embryological blob architecture, non che apprenda la corrispondenza fra singole immagini e singole descrizioni. Prima dell'avvio del *training* il *dataset* è stato verificato per garantire la corrispondenza biunivoca fra *file* immagine e *file caption* (128 immagini + 128 *file* .txt = 256 *file* totali), l'assenza di *file* corrotti o illeggibili, l'uniformità delle dimensioni dei *file* (tutte le immagini in formato 1024×1024 *pixel*, ridimensionate a 512×512 durante il *training*), l'assenza di duplicati esatti che avrebbero introdotto *bias* nella distribuzione del *training*.

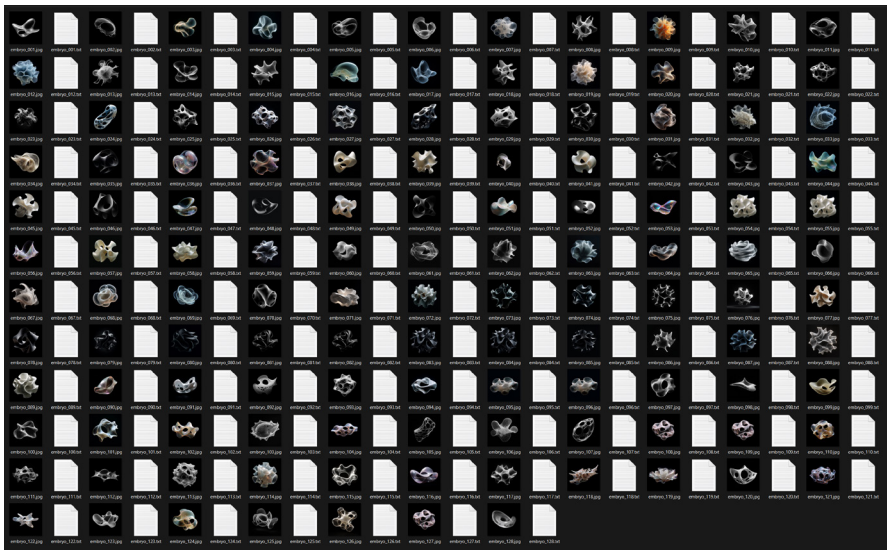


Figura 16.
Dataset di addestramento LoRA — visualizzazione del corpus in Kohya_ss; Anteprima delle 128 immagini del corpus di addestramento nella struttura cartelle di Kohya_ss v25.2.1, verificate per corrispondenza biunivoca con i file caption (.txt). Il dataset è organizzato nella sottodirectory 10_embryological blob architecture che codifica il numero di ripetizioni per epoch (10) e il token testuale associato alle immagini. F. Zollo, 2025.

3.1.2.3 Infrastruttura tecnologica ed esecuzione del training

Il sistema di addestramento adottato per questa ricerca è *Kohya_ss*, un *framework open-source* sviluppato da *bmaltais* come interfaccia grafica *web-based* per gli script di Kohya utilizzato nel *fine-tuning* di modelli *Stable Diffusion* attraverso tecniche *LoRA*, *DreamBooth* e altre metodologie di personalizzazione.

La scelta di *Kohya_ss* rispetto ad alternative come il *trainer* nativo di *Automatic1111* o i *notebook Colab* è motivata da considerazioni di controllo, riproducibilità e accessibilità: *Kohya_ss* offre un livello di configurazione granulare dei parametri di *training* — *learning rate scheduling*, ottimizzatori avanzati, gestione della precisione numerica — che lo rende lo strumento preferenziale nella comunità di ricerca, pur mantenendo un'interfaccia grafica che abbassa significativamente la soglia di accesso.

Configurazione hardware.

Il *training* è stato eseguito su un sistema con *GPU NVIDIA RTX 4050* con 6 GB di VRAM, processore *Intel Core i7* di dodicesima generazione, 16 GB di *RAM DDR5* e sistema operativo *Windows 11*.

Questa configurazione rappresenta l'*hardware consumer* attualmente disponibile nella fascia medio-alta e riflette una scelta metodologica deliberata: dimostrare che il *fine-tuning* di modelli di diffusione per applicazioni architettoniche è accessibile senza infrastrutture computazionali specializzate o risorse *cloud* costose.

Installazione.

L'installazione di *Kohya_ss* su sistema *Windows* ha richiesto una serie di operazioni preliminari che è opportuno documentare per la loro rilevanza metodologica, nella consapevolezza che la riproducibilità di una ricerca computazionale passa necessariamente attraverso la trasparenza sulle condizioni tecnologiche in cui essa si

svolge. Il primo requisito è la disponibilità di *Python* nella versione corretta: *Kohya_ss v25.2.1* richiede *Python* ≥ 3.10.9 *e* < 3.13.0, con una sensibilità agli ambienti virtuali e ai percorsi di installazione che ha reso necessaria un'installazione dell'interprete *Python* nella posizione predefinita per utente singolo (*C:\Users\[username]\AppData\Local\Programs\Python\Python310*), condizione richiesta dagli *script* interni di configurazione del *framework*.

La coesistenza di più versioni di *Python* sul sistema — situazione comune su macchine di ricerca o sviluppo — può causare conflitti di versione che richiedono una gestione attenta della variabile d'ambiente PATH e, in alcuni casi, la disinstallazione delle versioni non compatibili.

Il secondo requisito è la disponibilità di *Git* per il download del *repository* di *Kohya_ss* e dei suoi sotto-moduli dipendenti. Il *repository* viene clonato localmente attraverso il comando git clone *https://github.com/bmaltais/kohya_ss.git*, seguito dall'esecuzione dello *script* di *setup* (*setup.bat*) che provvede all'installazione automatica delle dipendenze *Python* — fra cui *PyTorch* con supporto *CUDA*, la libreria *accelerate* di *HuggingFace*, *diffusers* e le librerie di supporto per la gestione dei *dataset* — attraverso *pip*, il gestore di pacchetti *Python*.

L'installazione delle dipendenze ha richiesto il *download* di circa 3,3 GB di dati (principalmente *PyTorch* con supporto *CUDA* 12.8) e ha occupato, a installazione completata, circa 12 GB di spazio su disco.

Una volta completata l'installazione, *Kohya_ss* si avvia eseguendo lo *script* gui.bat dalla *directory* di installazione, che lancia un *server* locale accessibile via *browser* all'indirizzo 127.0.0.1:7860.

L'interfaccia *web* si organizza in sezioni navigabili che coprono le principali modalità di *fine-tuning* supportate dal *framework*: *LoRA*, *DreamBooth*, *Textual Inversion* e altre tecniche più specializzate. Per le finalità di questa ricerca è

stata utilizzata esclusivamente la sezione *LoRA*, accessibile dalla *tab* omonima nell'interfaccia principale.

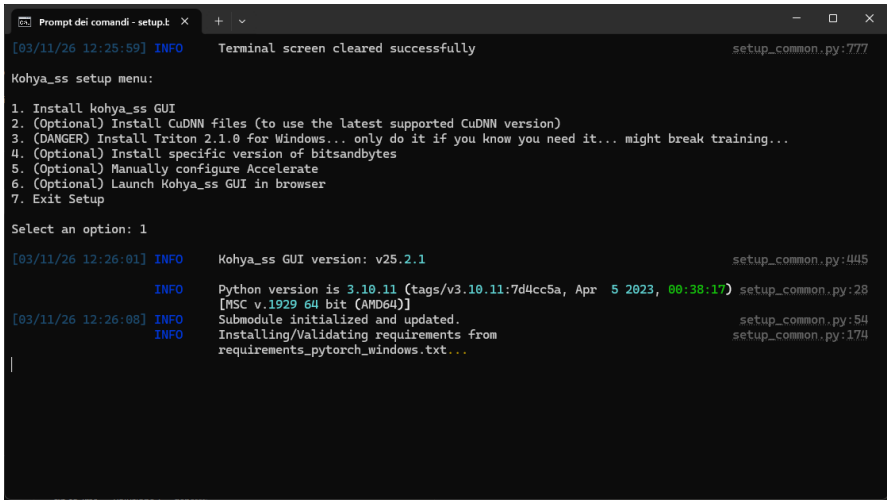


Figura 17.
Installazione di Kohya_ss — terminale Windows, prima fase; Screenshot del processo di installazione delle dipendenze Python attraverso setup.bat: download di PyTorch con supporto CUDA 12.8, libreria accelerate di HuggingFace e librerie di supporto per la gestione dei dataset. Il processo ha richiesto circa 3,3 GB di download e 12 GB di spazio su disco. F. Zollo, 2025.

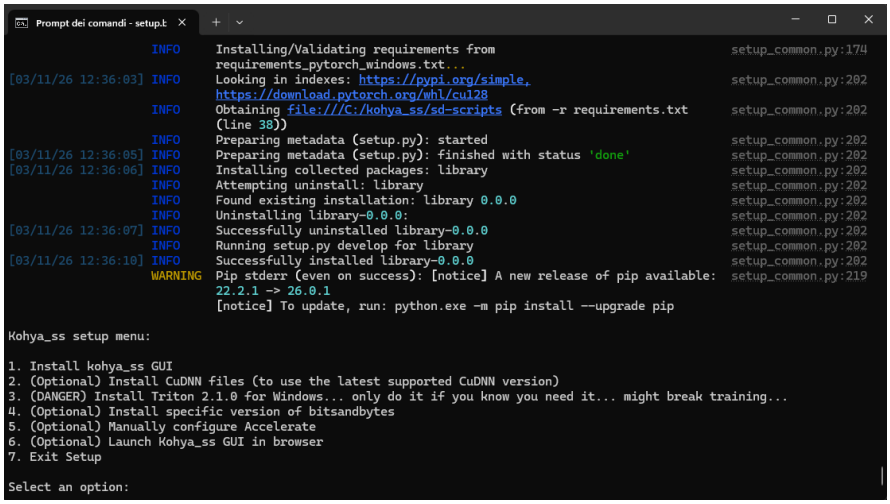


Figura 18.
Installazione di Kohya_ss — terminale Windows, seconda fase; Screenshot del completamento dell'installazione con verifica delle dipendenze installate e avvio del server locale all'indirizzo 127.0.0.1:7860 attraverso lo script gui.bat. Il messaggio "Launch Kohya_ss" conferma la corretta configurazione dell'ambiente prima dell'avvio del processo di fine-tuning. F. Zollo, 2025.

Configurazione dei parametri di training.
La configurazione del processo di addestramento rappresenta il momento in cui le scelte metodologiche si traducono in parametri numerici che governano il comportamento del sistema. Ogni parametro incide sulla qualità del risultato, e la comprensione del loro significato — non soltanto del loro valore ottimale — è condizione necessaria per un utilizzo consapevole e non meccanico dello strumento. Il modello pre-addestrato su cui viene effettuato il *fine-tuning* è *Stable Diffusion v1.5* nella variante runwayml/stable-diffusion-v1-5, scaricato automaticamente da *HuggingFace* durante la prima esecuzione del *training*.

La scelta di *SD v1.5* rispetto a versioni successive (*SD 2.1*, *SDXL*) è motivata da considerazioni di efficienza computazionale rispetto all'*hardware* disponibile: *SD v1.5* opera su immagini 512×512 *pixel*, richiedendo significativamente meno VRAM rispetto a *SDXL* che opera a 1024×1024. Questa scelta comporta un compromesso accettabile in termini di risoluzione degli *output* — che rimane comunque sufficiente per le finalità esplorative del metaprogetto — a fronte di un guadagno sostanziale in termini di velocità di *training* e accessibilità dell'infrastruttura.

I percorsi delle cartelle sono stati configurati come segue: il campo *Image folder* punta alla *directory* embryological_house, la cartella padre che contiene la sotto-*directory* 10_embryological blob architecture con le immagini del *dataset*; il campo *Output directory* punta alla cartella models/Lora all'interno dell'installazione di *Stable Diffusion WebUI*, garantendo che il modello addestrato sia immediatamente disponibile nell'interfaccia di generazione senza operazioni di trasferimento manuale; il campo *Trained Model output name* è stato impostato a embryological_house_v1, garantendo che il *file* finale sia identificabile e distinto da eventuali *checkpoint* intermedi.

I parametri fondamentali del processo di addestramento sono stati configurati come segue. Train batch size = 1: il *batch size* determina il numero di immagini elaborate simultaneamente durante ogni *step* di ottimizzazione; con 6 GB di VRAM disponibili, il *batch size* massimo sostenibile per immagini 512×512 con precisione mista *fp16* è 1-2, e la scelta di batch size = 1 garantisce stabilità del *training* al costo di una velocità di convergenza leggermente inferiore rispetto a *batch* più grandi. Max train epochs = 10: il numero di *epochs* definisce quante volte l'intero *dataset* viene presentato al modello durante il *training*; con 128 immagini e 10 ripetizioni per *epoch*, ogni *epoch* comprende 1.280 *steps* di ottimizzazione, per un totale di 12.800 *steps*.

Questa configurazione bilancia adeguatamente il rischio di *underfitting* — modello che non apprende sufficientemente — e di *overfitting* — modello che memorizza il *dataset* perdendo capacità di generalizzazione. Learning rate = 0.0001: il tasso di apprendimento governa l'entità degli aggiornamenti applicati ai pesi del modello a ogni *step*; un *learning rate* di 1e-4 si è affermato come valore standard per il *training* LoRA su *SD v1.5*, offrendo un buon equilibrio fra velocità di convergenza e stabilità del processo — *learning rate* troppo elevati possono causare instabilità e deterioramento del modello, *learning rate* troppo bassi rallentano eccessivamente la convergenza.
LR Scheduler = cosine: lo *scheduler* del *learning rate* definisce come il tasso di apprendimento evolve nel corso del *training*; lo *scheduler cosine*, che riduce il *learning rate* seguendo una funzione coseno da 1 a 0 nel corso delle *epochs*, è preferibile allo *scheduler* costante perché consente aggiornamenti più aggressivi nelle fasi iniziali del *training* — quando il modello deve acquisire rapidamente le caratteristiche fondamentali del *corpus* — e aggiornamenti più conservativi nelle fasi finali — quando il modello raffina i dettagli appresi.
Optimizer = AdamW8bit: l'ottimizzatore *AdamW* a 8 *bit*, implementato dalla libreria *bitsandbytes*, è la variante *memory-efficient* dell'ottimizzatore *AdamW* standard, che combina la correzione del *bias* del *momentum* con il *weight decay* regolarizzato; la versione a 8 *bit* riduce il consumo di memoria GPU di circa il 50% rispetto alla versione a 32 *bit*, rendendo possibile il *training* su *GPU consumer* con VRAM limitata senza compromettere significativamente la qualità del risultato. Mixed precision = fp16: il *training* in precisione mista *half-precision* (*float16*) riduce ulteriormente il consumo di VRAM e accelera le operazioni di calcolo sulle GPU NVIDIA moderne, che dispongono di unità dedicate per le operazioni *fp16*; i pesi del modello vengono mantenuti in *fp32* per la precisione degli aggiornamenti, mentre le attivazioni

e i gradienti vengono calcolati in *fp16* per l'efficienza.

I parametri caratteristici della tecnica *LoRA* sono stati configurati come segue. Network Rank (Dimension) = 32: il rango della decomposizione *LoRA* è stato impostato a 32, valore che si situa nella fascia media dello spettro possibile (tipicamente 4-128); con 128 immagini di *training* che rappresentano un linguaggio architettonico morfologicamente complesso ma stilisticamente coerente, un rango di 32 offre sufficiente capacità espressiva per catturare la complessità visiva del *corpus* senza rischiare l'*overfitting* che caratterizza i ranghi più elevati su *dataset* di dimensioni moderate.

Network Alpha = 16: il valore *alpha*, impostato alla metà del rango secondo la convenzione consolidata nella comunità di pratica, scala il contributo dell'adattamento *LoRA* durante il *training*; questo rapporto alpha/rank = 0,5 garantisce che il *fine-tuning* si integri in modo equilibrato con la conoscenza pre-addestrata del modello base, preservando le capacità generaliste di *SD v1.5* e arricchendole con il linguaggio specifico del *corpus* di addestramento.

Save every N epochs = 2: il salvataggio di *checkpoint* intermedi ogni 2 *epochs* ha permesso il monitoraggio dell'evoluzione qualitativa del modello nel corso del *training* e la possibilità di recuperare versioni intermedie in caso di *overfitting* nelle *epochs* finali.

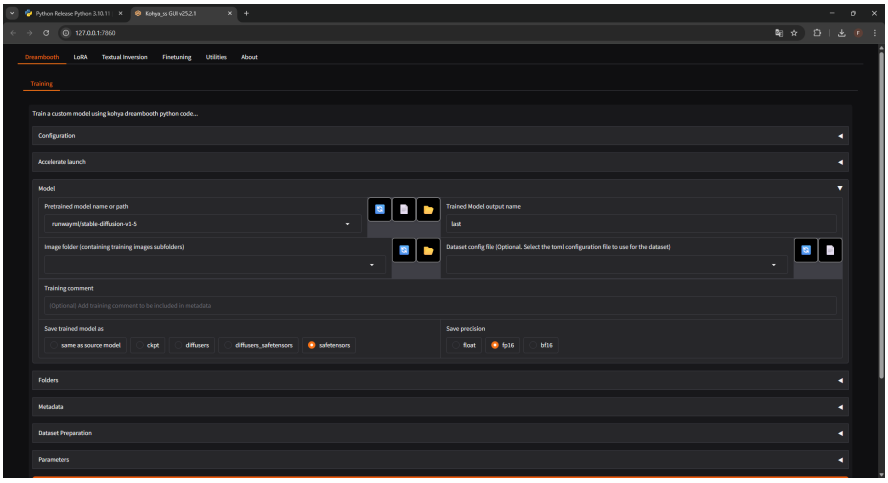


Figura 19.
Interfaccia Kohya_ss — configurazione parametri LoRA parte 1; Screenshot della scheda LoRA nell'interfaccia web-based di Kohya_ss v25.2.1 (127.0.0.1:7860). F. Zollo, 2025.

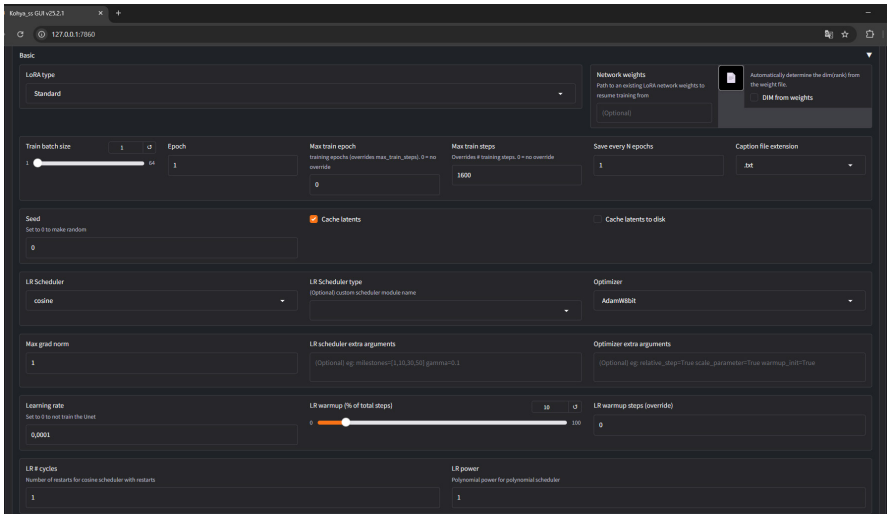


Figura 20.
Interfaccia Kohya_ss — configurazione parametri LoRA parte 2; Screenshot della scheda LoRA nell'interfaccia web-based di Kohya_ss v25.2.1 (127.0.0.1:7860). F. Zollo, 2025.

Esecuzione del training e monitoraggio.

Il *training* è stato avviato attraverso l'interfaccia grafica di *Kohya_ss* e ha proceduto autonomamente per circa tre ore, generando *output* di *log* nel terminale che hanno permesso il monitoraggio continuo del processo.

La prima fase del *training* — precedente all'ottimizzazione effettiva dei pesi — ha riguardato il caricamento e la preparazione del *dataset*: il sistema ha confermato la rilevazione di 128 immagini (senza ripetizioni) e 1.280 immagini (con le 10 ripetizioni configurate), organizzate in un unico *bucket* di risoluzione 512×512 *pixel*. Il *bucketing* — la classificazione delle immagini per risoluzione che permette di processare in *batch* immagini della stessa dimensione — ha confermato la coerenza dimensionale del *dataset*: tutte le immagini appartengono al medesimo *bucket*, eliminando la necessità di gestire risoluzione variabile durante il *training*.

Il parametro più informativo per il monitoraggio del *training* è la funzione di perdita (*average loss* o avr_loss), che misura la discrepanza fra il rumore predetto dal modello e quello effettivamente aggiunto durante la fase di *forward diffusion* del *training*.

Un'evoluzione sana della *loss* nel corso del *training* mostra una diminuzione progressiva nelle prime *epochs* — corrispondente all'apprendimento delle caratteristiche

principali del *corpus* — seguita da una stabilizzazione su valori bassi e stabili nelle *epochs* successive.

Il *training* del modello *LoRA* in questa ricerca ha mostrato un comportamento coerente con questo *pattern* atteso: la *loss* iniziale si è attestata intorno a valori di 0,08-0,09 nelle prime *epochs*, scendendo progressivamente e stabilizzandosi intorno a 0,065-0,070 nelle *epochs* finali (*epoch* 7-10).

L'assenza di oscillazioni significative o di *trend* crescenti — che segnalerebbero instabilità del *training* o divergenza dell'ottimizzatore — ha confermato la correttezza della configurazione dei parametri e la qualità del *dataset*.

La velocità di *training* si è attestata costantemente intorno a 2,55 it/s (iterazioni per secondo), valore adeguato per l'*hardware* disponibile in modalità *fp16* con *batch size* 1; l'intero processo di 12.800 *steps* ha richiesto circa 1 ora e 23 minuti di elaborazione effettiva della *GPU*, con il completamento del *training* senza interruzioni. La *GPU* è rimasta in utilizzo continuo con temperature operative di circa 75-80 °C, valori normali per un carico sostenuto su *GPU laptop*.

I *checkpoint* salvati ogni 2 *epochs* (last-000002.safetensors, last-000004.safetensors, fino a last-000009.safetensors) e il modello finale (last.safetensors, salvato al completamento del *training* a *epoch* 10) hanno permesso un'analisi dell'evoluzione qualitativa del modello, discussa nella sezione successiva. Tutti i *file* hanno una dimensione di circa 26,5 MB — dimensione tipica per un modello *LoRA* con rango 32 per *SD v1.5* — confermando la correttezza del processo di salvataggio.

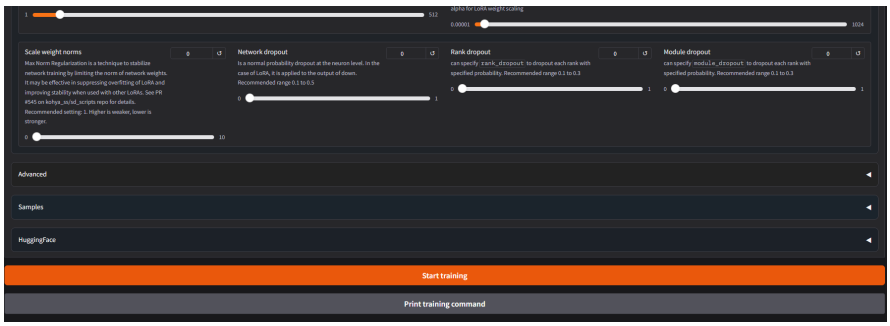


Figura 21.
Log di training Kohya_ss — epoch iniziali; Screenshot del terminale con l'inizio del training. F. Zollo, 2025.

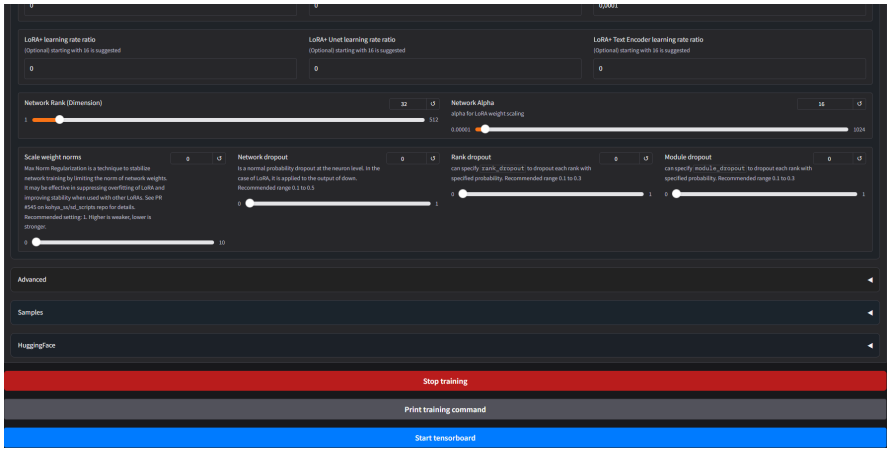


Figura 22.
Log di training Kohya_ss — epoch iniziali; Screenshot del terminale con l'avanzamento del training nelle prime epoche: loss iniziale attestata intorno a 0,08-0,09, velocità costante di 2,55 it/s, temperatura GPU 75-80 °C. F. Zollo, 2025.

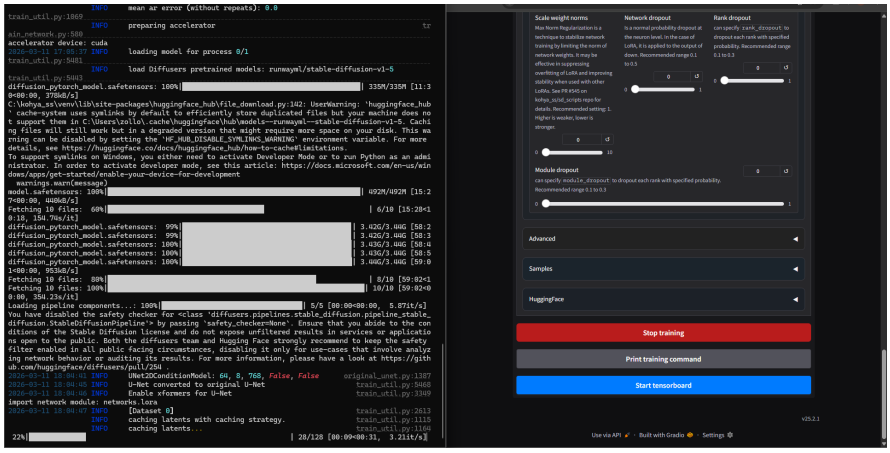


Figura 23.
Log di training Kohya_ss — epoch 4-6, fase di convergenza; Screenshot del terminale nelle epoche centrali del training: la loss si attesta progressivamente tra 0.065 e 0.070, senza oscillazioni significative, confermando la stabilità del processo di ottimizzazione e la correttezza della configurazione dei parametri. F. Zollo, 2025.

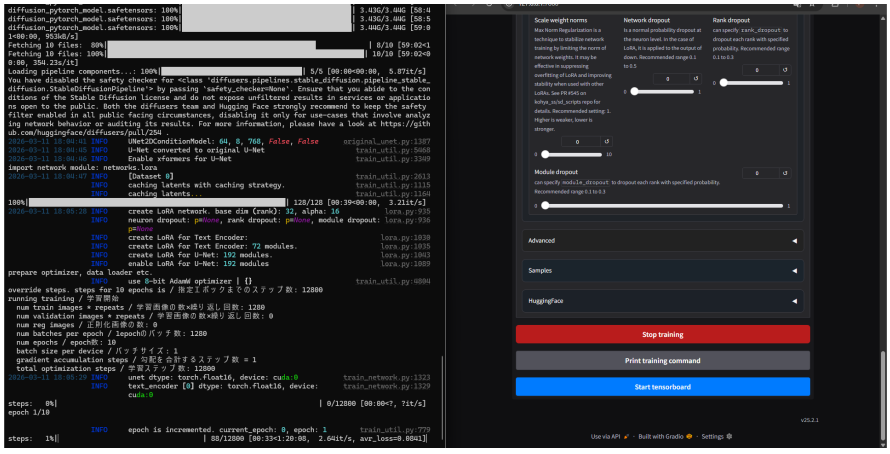


Figura 24.
Log di training Kohya_ss — epoch iniziali; Screenshot iniziale dello step (epoch 1). F. Zollo, 2025.

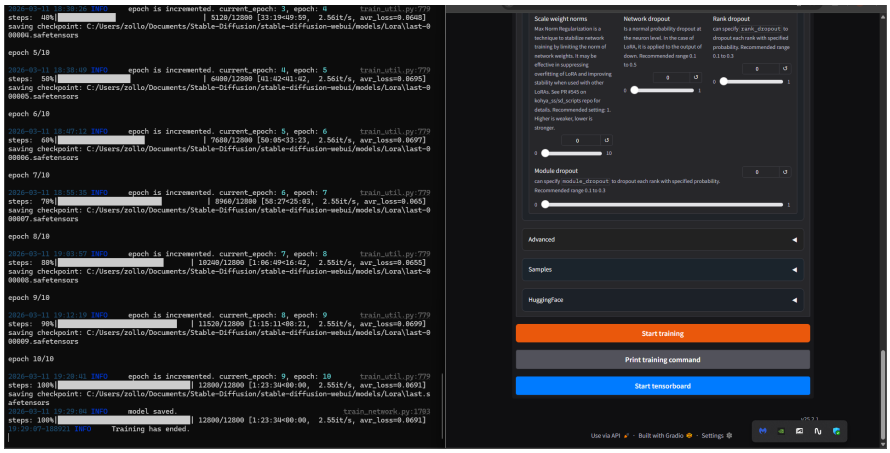


Figura 25.
Log di training Kohya_ss — epoch finali e completamento; Screenshot del terminale al completamento del training (epoch 10, 12.800 steps totali) con salvataggio del modello finale last.safetensors (circa 26,5 MB). L'assenza di trend crescenti nella loss nelle epoche 7-10 conferma l'assenza di divergenza dell'ottimizzatore. F. Zollo, 2025.

3.1.2.4 Valutazione degli output e test generativi

Al completamento del *training* il modello *LoRA* addestrato (last.safetensors) è stato caricato nell'interfaccia di *Stable Diffusion WebUI* per una fase di test generativo che ha permesso di valutare la qualità e la coerenza degli *output* rispetto agli obiettivi progettuali prefissati.

I test generativi sono stati condotti utilizzando la sintassi standard per il richiamo dei modelli *LoRA* nell'interfaccia *AUTOMATIC1111*: il *token* <lora:last:0.8> viene inserito nel *prompt* testuale per attivare il modello con un peso di 0,8 — valore che bilancia l'influenza del *fine-tuning* con la conoscenza generativa del modello base.

Diversi valori di peso sono stati testati (0,6, 0,8, 1,0) per valutare la sensibilità degli *output* rispetto all'intensità dell'adattamento applicato.

I *prompt* di test hanno variato sistematicamente la presenza o assenza del *token* associato al *LoRA* (embryological blob architecture), il tipo di angolazione richiesta, le specifiche materiche e la presenza di elementi contestuali — spazio, luce, scala. Questa sistematicità ha permesso di distinguere le caratteristiche acquisite specificamente attraverso il *fine-tuning* da quelle già presenti nel modello base.

I test generativi hanno confermato l'apprendimento, da parte del modello *LoRA*, delle caratteristiche morfologiche essenziali del *corpus* di addestramento: i volumi *blob* organici con superfici continue, la tendenza alla sospensione nello spazio privo di elementi di ancoraggio, la grammatica formale delle deformazioni organiche che richiama la logica parametrica lynniana.

Il modello dimostra la capacità di generalizzare il linguaggio appreso a nuovi *prompt*: anche in assenza del *token* specifico nel *prompt*, la presenza del *LoRA* attivato indirizza la generazione verso soluzioni morfologicamente affini al *corpus* di addestramento.

Rispetto agli *output* del modello base non addestrato —

che produceva forme architettoniche convenzionali o genericamente organiche in risposta agli stessi *prompt* — il modello personalizzato manifesta una specificità linguistica riconoscibile: le forme generate appartengono inequivocabilmente alla famiglia morfologica del *corpus* di addestramento, pur differenziandosi in ogni generazione per variazioni di dettaglio che attestano la capacità del modello di ricombinare creativamente gli elementi appresi anziché limitarsi a riprodurli.

Alcune limitazioni sono tuttavia evidenti e meritano di essere documentate. La risoluzione di *output* (512×512 *pixel*) costituisce un limite qualitativo che può ostacolare la lettura dei dettagli morfologici più sottili, limitazione superabile con modelli a risoluzione superiore (SDXL) su *hardware* con maggiore VRAM disponibile.

La coerenza tridimensionale degli *output* — la capacità del modello di mantenere la consistenza morfologica fra viste diverse dello stesso volume — è parziale: ogni generazione produce una vista indipendente, non una proiezione coerente di un volume tridimensionale preciso (cfr. Figg. 29-30). Questa limitazione, strutturale nei modelli 2D, viene affrontata nel Cap. 3.1.3 dedicato alla generazione di geometrie 3D attraverso *workflow* parametrici.

Le morfologie generate dal modello *LoRA* possono tuttavia alimentare direttamente la *pipeline Meshy AI* documentata nel Cap. 3.1.1 Fase 4, producendo ricostruzioni tridimensionali che — per i migliori *output* — si collocano nelle classi A e B della matrice di validazione delle geometrie *quad* (cfr. Cap. 3.1.1).

Alcuni casi problematici, in particolare per morfologie con cavità profonde e superfici fenestrate, ricadono invece nella versione C per bassa corrispondenza con l'immagine sorgente, documentando i limiti della catena *LoRA* → *Meshy AI* nella gestione di geometrie con alto grado di concavità (cfr. Fig. 32).

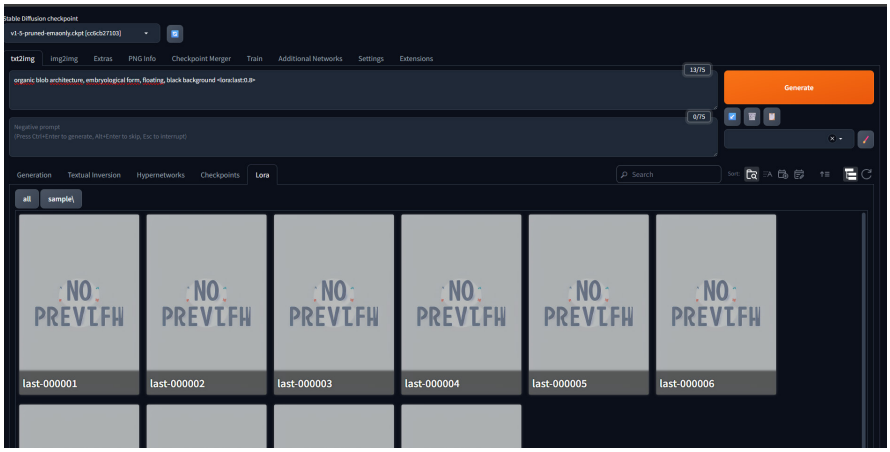


Figura 26.
Stable Diffusion WebUI — interfaccia txt2img con modello LoRA, anteprima in attesa di generazione; Screenshot dell'interfaccia AUTOMATIC1111 nella fase precedente alla generazione, con le sei anteprime vuote (NO PREVIEW) in attesa dell'elaborazione. Visibili i parametri di configurazione nella barra laterale destra e il token LoRA inserito nel prompt. F. Zollo, 2025

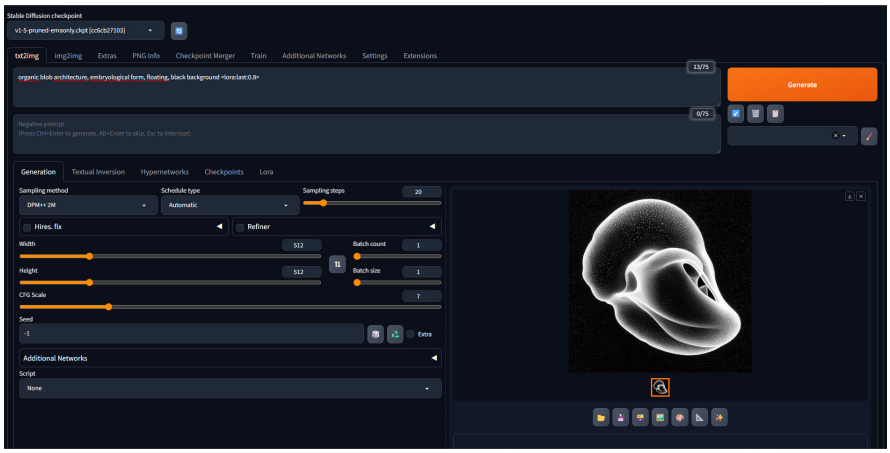


Figura 27.
Stable Diffusion WebUI — primo output del modello LoRA addestrato; Screenshot dell'interfaccia con il primo risultato generativo del modello last.safetensors. Il peso LoRA è impostato a 0.8 per bilanciare l'influenza del fine-tuning con la conoscenza generativa del modello base SD v1.5. F. Zollo, 2025.

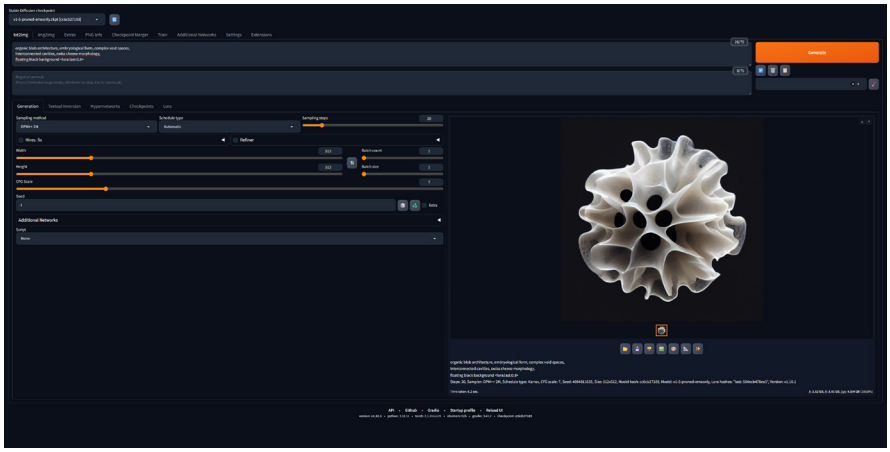


Figura 28.
Stable Diffusion WebUI — output comparativo del modello LoRA; Screenshot con variante morfologica generata dallo stesso modello addestrato, attestando la capacità del modello di ricombinare creativamente gli elementi appresi dal corpus senza limitarsi alla loro replica. F. Zollo, 2025.

3.1.2.5 Implicazioni metodologiche e posizionamento nel metaprogetto

Il processo documentato in questo capitolo consente di trarre alcune riflessioni di carattere metodologico che trascendono il caso specifico per investire più ampiamente il ruolo del modello personalizzato nel *workflow* co-progettuale uomo-IA.

Il dataset come atto progettuale.
La costruzione del *corpus* di addestramento — la selezione delle immagini di riferimento, la definizione dei criteri di qualità, la variazione sistematica delle angolazioni e dei materiali — è un atto che precede e condiziona tutto il processo successivo.
Non si tratta di una fase tecnica preliminare ma di una scelta progettuale sostanziale: definire quali immagini includere nel *corpus* significa definire quale comprensione del linguaggio architettonico il modello acquisirà. Il curatore del *dataset* è, in questo senso, il primo progettista del modello.

La personalizzazione come posizionamento critico.
Addestrare un modello su un *corpus* specificamente selezionato, e non utilizzare semplicemente i modelli generalisti disponibili sul mercato, rappresenta un atto di posizionamento critico rispetto all'immaginario collettivo sedimentato nei grandi *dataset*.
Il modello personalizzato non genera ciò che è statisticamente probabile nella massa delle immagini disponibili *online*, ma ciò che è coerente con un preciso universo di riferimenti culturali e progettuali.
Questa specificità è, al tempo stesso, una limitazione — il modello non può fare ciò che il *corpus* non gli ha insegnato — e una virtù — il modello sa fare ciò che il *corpus* gli ha insegnato con una coerenza che i modelli generalisti non possono eguagliare.

Il fine-tuning come dialogo fra culture visive.
Il processo di *fine-tuning* LoRA non sovrascrive il modello base: lo integra, lo orienta, lo situa. Il modello addestrato è la risultante di un dialogo fra due culture visive — quella vastissima e generalista del pre-addestramento su larga scala, e quella specifica e intenzionale del *corpus* di addestramento.

Questo dialogo produce *output* che non appartengono né all'una né all'altra cultura in modo esclusivo, ma a una sintesi generativa che porta le tracce di entrambe. È in questa sintesi — non nella replica di un modello né nell'imitazione di un altro — che risiede il potenziale generativo del *fine-tuning* come pratica co-progettuale.

Verso un LoRA come strumento di ricerca.
Il modello *LoRA* addestrato nel corso di questa ricerca non è uno strumento definitivo ma un prototipo metodologico: una dimostrazione della fattibilità tecnica e della pertinenza teorica del *fine-tuning* come componente del *workflow* co-progettuale per il [vIrtuAl museum].
Sviluppi futuri potranno affinare la metodologia, ampliando il *corpus*, variando i parametri di *training*, esplorando architetture di modello più recenti; ma il contributo principale di questo capitolo non è il modello in sé, bensì la metodologia documentata per costruirlo: un processo replicabile, verificabile, critico, che integra la teoria dell'architettura digitale con la pratica computazionale dell'intelligenza artificiale generativa.

Il modello personalizzato come componente del metaprogetto.
L'addestramento del modello *LoRA* su un *corpus* di immagini architettoniche ispirate all'*Embryological House* di Greg Lynn costituisce la seconda componente del *framework* metodologico del metaprogetto del [vIrtuAl museum], posizionandosi fra la generazione esplorativa attraverso *Midjourney* (Cap. 3.1.1) e la costruzione di geometrie tridimensionali attraverso *workflow* parametrici integrati con IA (Cap. 3.1.3).
Il ruolo di questa componente nel *workflow* complessivo è quello di garantire coerenza stilistica e controllo morfologico degli *output* generativi nelle fasi avanzate del processo progettuale: dopo la fase esplorativa condotta con

strumenti generalisti, il modello personalizzato consente di affinare e consolidare il linguaggio architettonico del progetto, producendo variazioni coerenti che mantengono l'identità morfologica acquisita pur aprendo a nuove possibilità formali e contestuali.

La metodologia documentata in questo capitolo è, per sua natura, iterativa: il processo di costruzione del *corpus*, addestramento, valutazione degli *output* e revisione del *corpus* può essere ripetuto ciclicamente, affinando progressivamente il modello in risposta alle esigenze emergenti del processo progettuale.

Questa iteratività — che rispecchia la logica della *research through design* che attraversa l'intera tesi — è la condizione che trasforma il modello personalizzato da strumento tecnico a componente viva e adattabile di un metaprogetto in continua evoluzione.

Le immagini generate durante il processo di *training* (cfr. Figg. 29-32) e i test generativi del modello LoRA sono documentate nell'apparato grafico allegato al presente capitolo.

I *prompt* utilizzati per la costruzione del *corpus* di addestramento e per i test generativi sono trascritti integralmente in Appendice B.

Il *file* del modello addestrato (last.safetensors) è disponibile nell'archivio digitale della ricerca.

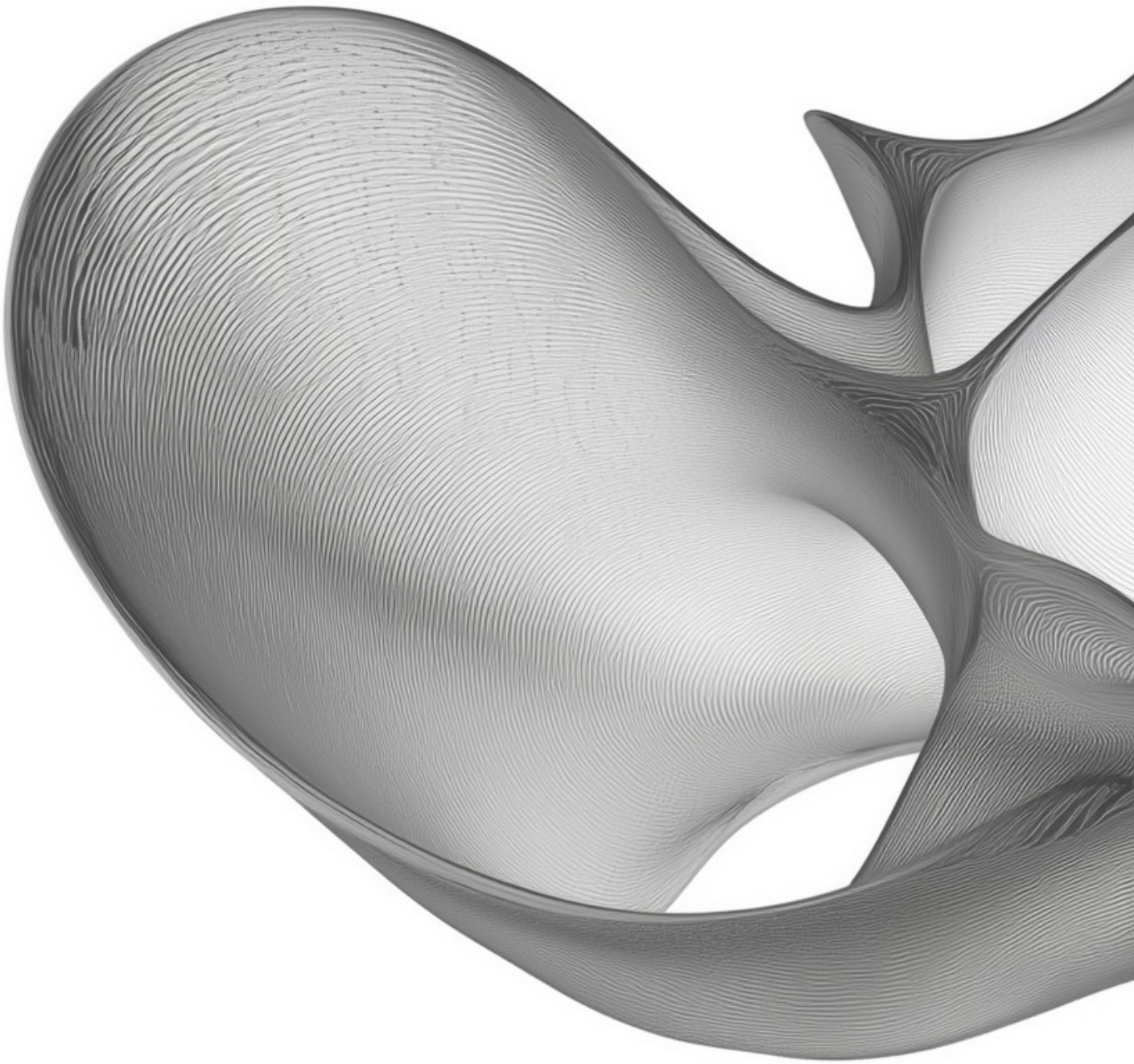
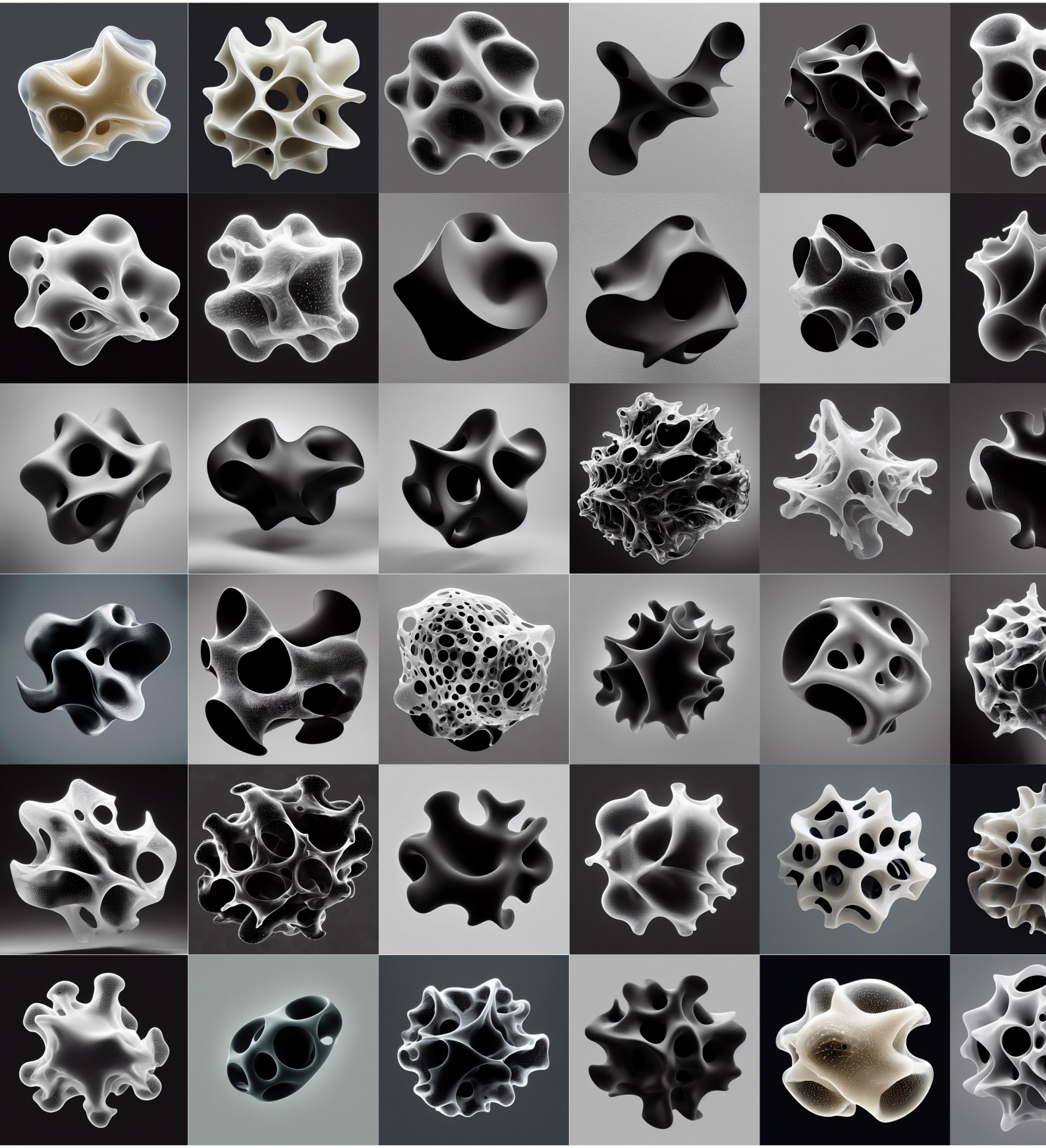


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

Figura 29.
Output del modello LoRA addestrato — prima tavola (generazioni 1-66); Campionatura degli output prodotti dal modello last.safetensors caricato in Stable Diffusion WebUI con token <lora:last:0.8>. F. Zollo, 2025.



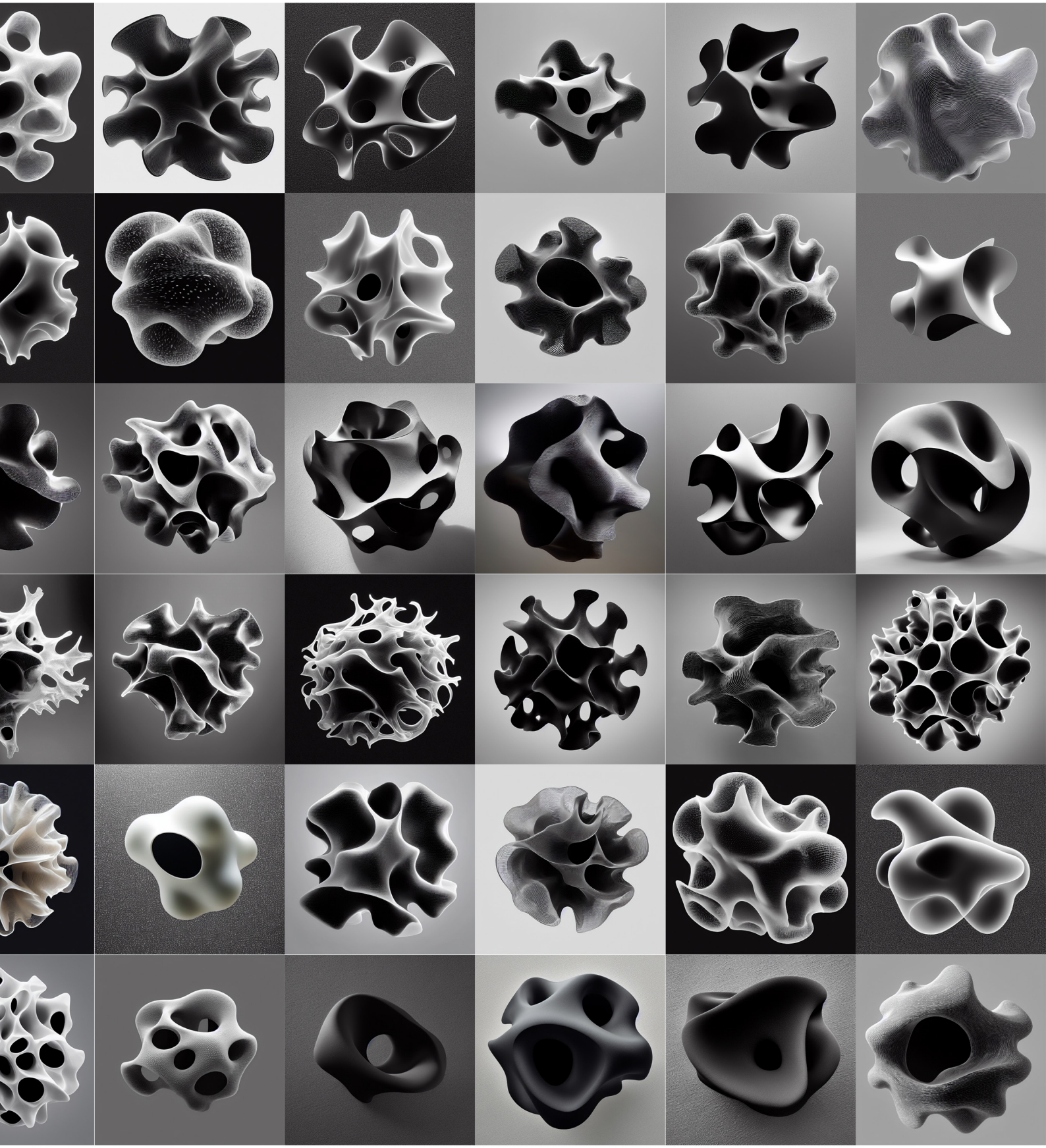
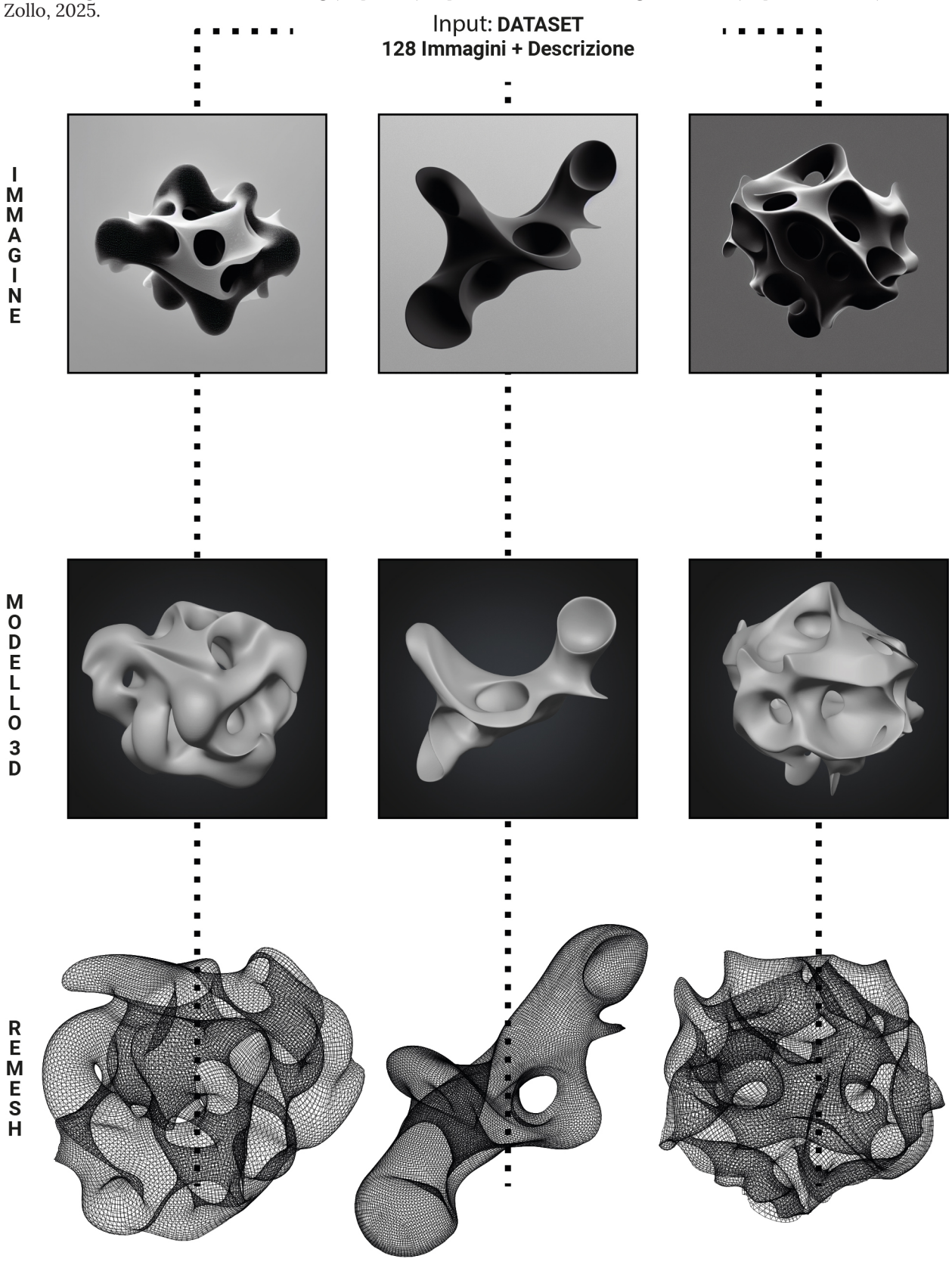


Figura 30.
Output del modello LoRA addestrato — seconda tavola (generazioni 67-132); Campionatura degli output prodotti dal modello last.safetensors caricato in Stable Diffusion WebUI con token <lora:last:0.8>. F. Zollo, 2025.





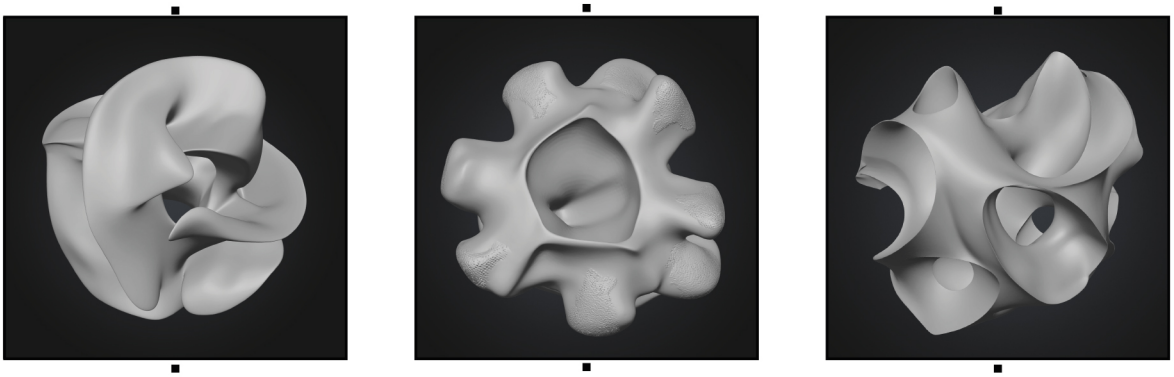
Figura 31.
Tavola dei Morfemi V — Pipeline LoRA, 3D (Cap. 3.1.2); Documentazione comparata di sei pipeline complete che collegano gli output del modello LoRA addestrato alla ricostruzione tridimensionale: Immagine generata da Stable Diffusion con modello last.safetensors (input: dataset 128 immagini + descrizione), Modello 3D Meshy AI e remesh quad-dominant finale. Le morfologie generate dal modello LoRA — coerenti con il linguaggio lynniano del corpus di addestramento — alimentano direttamente la pipeline Meshy AI, documentando il collegamento metodologico tra la fase di fine-tuning (Cap. 3.1.2) e quella di ricostruzione geometrica (Cap. 3.1.1, Fase 4). F. Zollo, 2025.



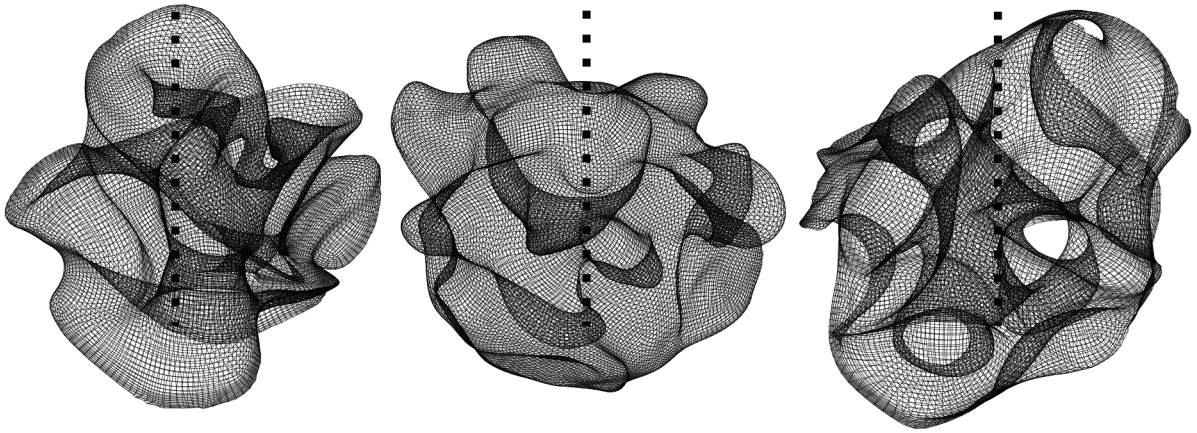
Input: **DATASET**
128 Immagini + Descrizione



IMMAGINE

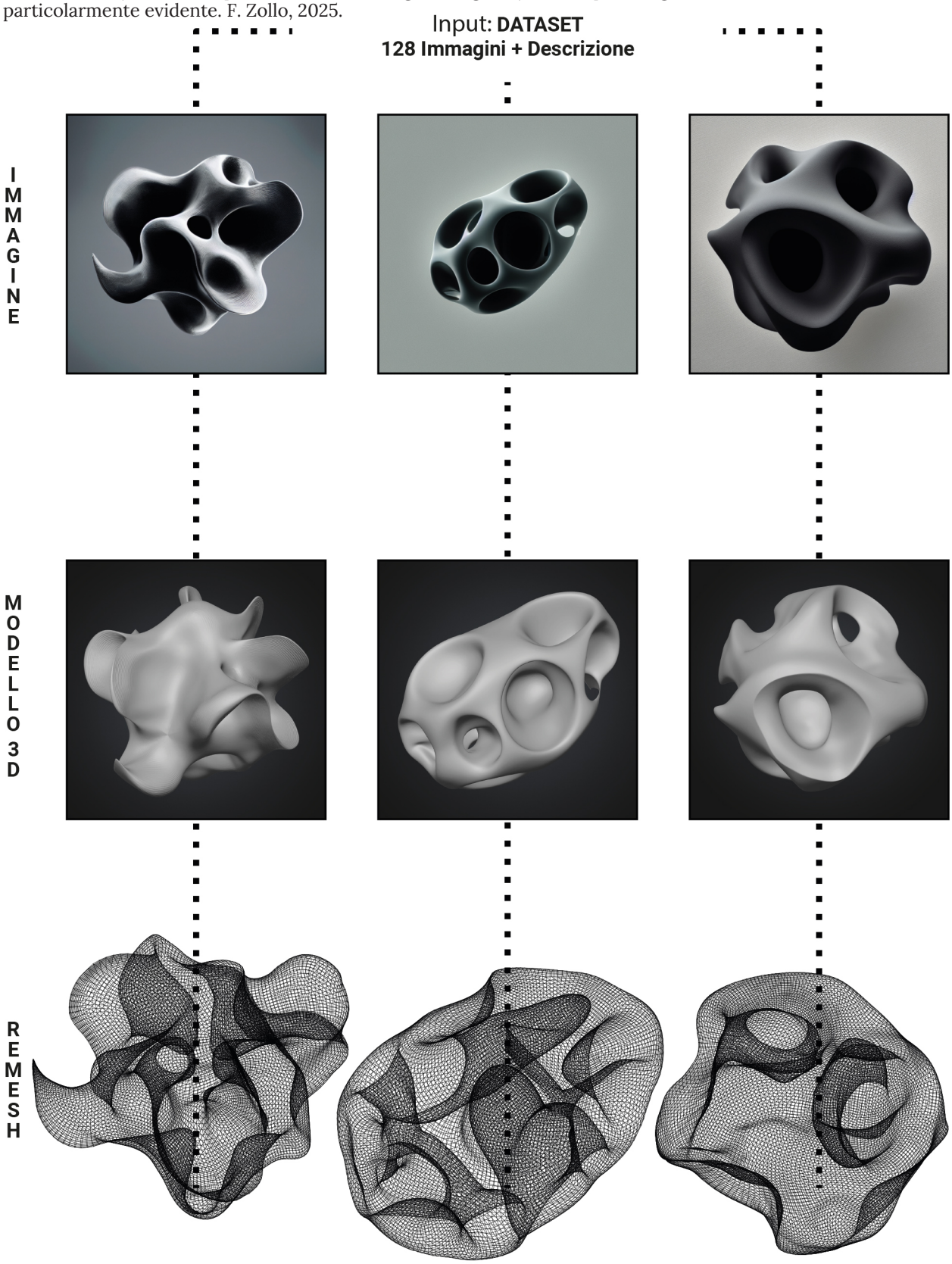


MODELLO 3D



REMESH

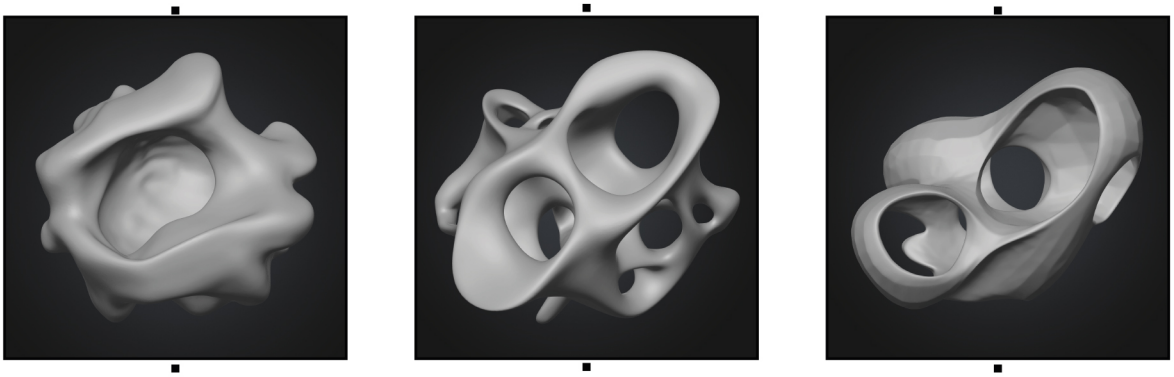
Figura 32.
Tavola dei Morfemi VI — Pipeline LoRA, 3D (Cap. 3.1.2); Seconda documentazione comparata di sei pipeline complete LoRA, Meshy AI: immagine generata da Stable Diffusion con modello last.safetensors, modello 3D e remesh quad-dominant finale. Le morfologie a cavità profonde e superfici fenestrate evidenziano sia la coerenza del modello LoRA con il corpus lynniano sia le limitazioni della ricostruzione Meshy AI nella gestione di geometrie con alto grado di concavità — in particolare il remesh riquadrato in basso a destra documenta un caso di versione C (bassa corrispondenza con l'immagine sorgente) dove la perdita geometrica nella decimazione è particolarmente evidente. F. Zollo, 2025.



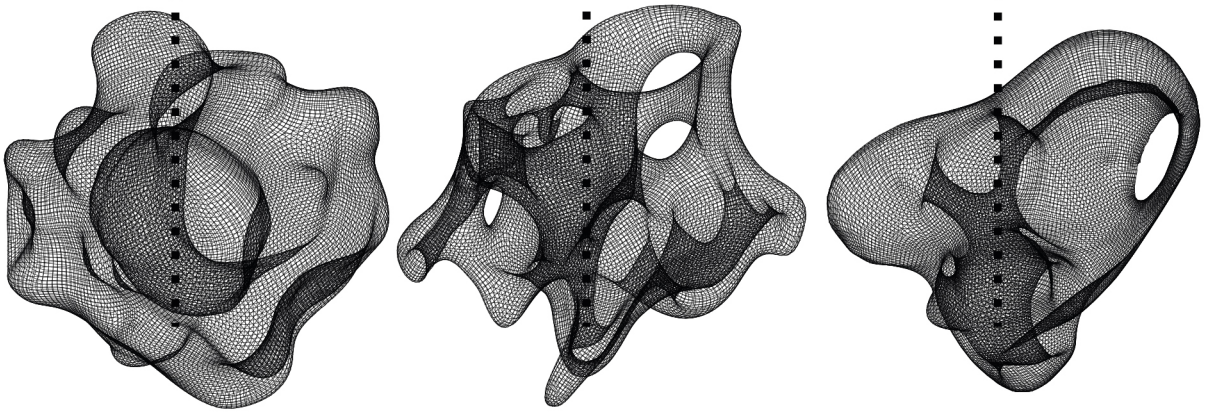
Input: **DATASET**
128 Immagini + Descrizione



IMMAGINE



MODELLO 3D



REMESH

3.1.3 IA E DESIGN PARAMETRICO: GENERAZIONE DI GEOMETRIE 3D DA CODICE

Il terzo approccio metodologico sperimentato integra le capacità linguistiche e di *code generation* dei *Large Language Models* con l'infrastruttura di modellazione algoritmica di *Grasshopper* per *Rhinoceros*, configurando un paradigma operativo radicalmente differente rispetto ai *workflow text-to-image-to-video-to-3D* descritti nei Cap. 3.1.1 e 3.1.2.

Mentre quei *workflow* generano geometrie attraverso processi *black-box end-to-end* — in cui l'utente fornisce descrizioni verbali e riceve *output* visivi o tridimensionali senza accesso ai meccanismi generativi intermedi — l'integrazione fra IA e design parametrico produce definizioni geometriche esplicite, matematicamente fondate e algoritmicamente manipolabili.

Gli *output* non sono *mesh* opache generate neuronalmente ma *script* parametrici leggibili, modificabili e riutilizzabili che definiscono famiglie morfologiche attraverso equazioni, relazioni topologiche e logiche procedurali[19].

Questo approccio unisce la flessibilità conversazionale dell'interfaccia linguistica naturale — che permette a *designer* privi di competenza in programmazione di descrivere comportamenti geometrici in linguaggio ordinario — con il rigore matematico e la precisione controllabile del *design* computazionale, preservando quella 'trasparenza procedurale' e *agency* progettuale umana che i sistemi puramente generativi obliterano.

Il *workflow* si fonda sull'utilizzo di *chatbot* conversazionali — principalmente *ChatGPT*[20] e *Claude*[21] — come 'assistenti di *scripting*' che traducono descrizioni verbali di comportamenti geometrici, modelli matematici o algoritmi procedurali

19 La distinzione fra *mesh* 'opache' (*end-to-end* IA) e definizioni parametriche leggibili è il fondamento metodologico che orienta la ricerca sul VMEA: cfr. G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI for the Extension of the Virtual Museum of Intangible Cultural Heritage*, in «SCIRES-IT», Vol. 15, n. 2, 2025, p. 186, DOI 10.2423/i22394303v15n2p181.

20 Per *ChatGPT* cfr. App. A1, Scheda 30.

21 Per *Claude* cfr. App. A1, Scheda 34.

in codice *Python* funzionante eseguibile all'interno del componente *GHPython Script* di *Grasshopper*.

Come documentato nella ricerca precedente (Caffio, Unali, Zollo 2024 e 2025)[22], questo processo di traduzione linguaggio-codice abbatte drasticamente le barriere tecniche al *design* algoritmico: gli architetti possono descrivere morfologie desiderate in termini concettuali o matematici — *generate a three-dimensional curve based on the Lorenz strange attractor equations*, *create a Voronoi subdivision of a surface constrained by attractor points*, *implement a recursive branching structure following Lindenmayer system rules* — ricevendo implementazioni immediate e iterando attraverso dialogo conversazionale — *increase the recursion depth*, *add parameter to control branch angle variation*, *optimize for smoother transitions* — anziché gestire manualmente il *debugging* di sintassi *Python*, librerie numeriche o API *Grasshopper*.

Le geometrie risultanti non sono *endpoint* statici ma definizioni parametriche dinamiche: ogni *script* generato espone parametri modificabili — coefficienti di equazioni differenziali, soglie topologiche, fattori di scala, *seed* casuali — che permettono al *designer* di esplorare spazi morfologici attraverso variazione continua dei controlli.

Alterando il parametro sigma nelle equazioni di Lorenz da 10,0 a 15,0 la curva attrattore muta morfologia mantenendo caratteristiche caotiche; modificando la densità di suddivisione *Voronoi*, la granularità della tassellazione varia da grossolana a fine; incrementando le iterazioni *L-system*, le strutture arborescenti crescono in complessità. Questa manipolabilità parametrica differenzia radicalmente l'approccio dalle generazioni IA pure: anziché rigenerare

22 Cfr. M. Unali, G. Caffio, F. Zollo, *Hypotheses of Images and Architectural Spaces in the Age of Artificial Intelligence*, in A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (a cura di), *Advances in Representation*, Springer, Cham 2024, pp. 861-862 (Sez. 4, *From 2D to 3D AI*, elaborata da F. Zollo); G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI*, cit., 2025, pp. 186-193 (Sez. 4, *The Method: From Code to Parametric Model*, elaborata da F. Zollo).

da zero mediante un nuovo *prompt* — processo stocastico che produce risultati completamente differenti perdendo continuità morfologica — il *designer* naviga famiglie formali coerenti attraverso transizioni graduali controllate.

L'integrazione con *Grasshopper* amplifica ulteriormente le potenzialità: le geometrie generate via codice *Python* — tipicamente curve, *point clouds* o superfici *NURBS* — diventano componenti modulari interconnettibili con l'intero ecosistema di nodi *Grasshopper*. Una curva attrattore generata da *ChatGPT* può alimentare operazioni di *loft* con altre curve modellate tradizionalmente, generando superfici ibride; *point clouds* caotici possono guidare il *displacement* di *mesh* regolari, iniettando complessità organica in griglie cartesiane; *pattern* procedurali possono modulare i parametri di altri *script* in cascate generative complesse.

Questa componibilità trasforma frammenti di codice IA-generati in *building blocks* riutilizzabili all'interno di *workflow* progettuali più ampi, in cui logiche generative si combinano con modellazione diretta, vincoli geometrici, ottimizzazioni strutturali e analisi ambientali — l'intero spettro del *design* computazionale contemporaneo. Come osservato nella ricerca sul VMEA, «la combinazione di generazione di codice con risorse parametriche 3D disponibili in commercio (Grasshopper) consente sia la libera esplorazione di soluzioni innovative sia la loro verifica attraverso la generazione di elementi tridimensionali»[23].

La metodologia sperimentata nella presente ricerca articola questo approccio generale in tre strategie operative distinte, ciascuna focalizzata su differenti primitive geometriche e logiche generative, configurando un repertorio metodologico complementare applicabile a diverse esigenze progettuali e tipologie morfologiche.

Le tre strategie corrispondono ai tre spazi espositivi che le

23 G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI*, cit., 2025, p. 186.

ricerche precedenti hanno realizzato per l'espansione del VMEA: la *Randomised Space* (Sala IX), la *Helicoidal Structure* (Sala X) e lo *Strange Attractor* (Sala XI), i cui processi elaborativi costituiscono la base sperimentale su cui si fonda la presente classificazione metodologica[24]. La prima strategia sfrutta sistemi dinamici caotici — segnatamente l'attrattore di Lorenz — per produrre distribuzioni tridimensionali di punti che combinano apparente casualità con struttura matematica sottostante.

La seconda strategia esplora la modulazione di aggregazioni volumetriche discrete di cubi attraverso campi di influenza attrattivi, producendo transizioni morfologiche graduate da ordine cartesiano a caos organico.

La terza strategia implementa un *workflow* multi-fase in cui curve matematiche complesse fungono da *path* o guide per operazioni di *sweep*, *loft* o rivoluzione, producendo superfici *NURBS* continue architettonicamente utilizzabili.

Nel loro insieme, le tre strategie configurano non un semplice repertorio tecnico ma una metodologia composita fondata su un principio epistemologico preciso: la distinzione fra topologia matematica — il comportamento qualitativo del sistema generativo, governato dall'*LLM* attraverso descrizione verbale — e geometria architettonica — la forma specifica emergente dalla composizione parametrica, governata dal *designer* attraverso l'interfaccia di *Grasshopper*.

Il codice generato da *ChatGPT* non è un *output* ma un *input*: il punto di partenza di un processo progettuale che il *designer* continua, modifica e combina con altri strumenti, fino alla forma finale. È la declinazione operativa più diretta della 'delega consapevole' introdotta nel Cap. 1.3: delegare all'IA la traduzione linguistica-algoritmica, conservare al progettista

24 Ibid., pp. 181-196: la ricerca documenta i tre spazi espositivi realizzati nel 2025 per l'espansione del VMEA (Sala IX: *Randomised Space*; Sala X: *Helicoidal Structure*; Sala XI: *Strange Attractor*), esito delle tre strategie metodologiche qui sistematizzate. Per la struttura generale del VMEA cfr. ibid., p. 183, Fig. 1.

l'autorità formale sulla composizione geometrica. I tre casi di studio documentati nelle sotto-sottosezioni successive illustrano concretamente questo paradigma in azione.

3.1.3.1 Strategia 1: Generazione di punti mediante attrattore di Lorenz

La prima strategia operativa implementa la generazione di distribuzioni tridimensionali di punti attraverso sistemi dinamici caotici, sfruttando specificamente l'attrattore di Lorenz — un sistema di equazioni differenziali ordinarie accoppiate originariamente sviluppato dal meteorologo Edward Lorenz nel 1963 per la modellazione semplificata della convezione atmosferica[25]. Il sistema è definito da tre equazioni differenziali che descrivono l'evoluzione temporale delle coordinate spaziali (x, y, z):

$$dx/dt = \sigma(y - x)$$
$$dy/dt = x(\rho - z) - y$$
$$dz/dt = xy - \beta z$$

dove σ (*sigma*), ρ (*rho*) e β (*beta*) sono parametri di sistema che dettano il comportamento dinamico. Per specifici valori parametrici — comunemente σ=10, ρ=28, β=8/3 — il sistema esibisce comportamento caotico: traiettorie che partono da condizioni iniziali infinitesimalmente differenti divergono esponenzialmente nel tempo, pur rimanendo confinate all'interno di una regione limitata dello spazio delle fasi che assume la caratteristica forma a 'doppio lobo' o 'ali di farfalla'.

Questa combinazione di determinismo — equazioni completamente specificate senza componenti stocastiche

25 E. N. Lorenz, *Deterministic Nonperiodic Flow*, in «Journal of the Atmospheric Sciences», Vol. 20, n. 2, 1963, pp. 130-141. Il sistema di Lorenz è considerato uno dei fondamenti storici della teoria del caos deterministico e ha influenzato profondamente lo studio dei sistemi dinamici non lineari in matematica, fisica e scienze computazionali. Per la documentazione tecnica del sistema implementato in *GHPython* cfr. G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces*, cit., 2025, pp. 192-193.

— e imprevedibilità a lungo termine produce *pattern* geometrici che bilanciano struttura matematica sottostante con apparente casualità organica: qualità esteticamente e morfologicamente rilevante per il *design* architettonico che ricerca complessità controllata.

Dialogo iterativo con ChatGPT. Il *workflow* sperimentato implementa un dialogo iterativo conversazionale con *ChatGPT* per tradurre le equazioni matematiche di Lorenz in codice *Python* funzionante, progressivamente raffinato attraverso tre versioni successive che rispondono a *constraint* tecnici emergenti.

La prima iterazione richiede a *ChatGPT*: «*write me a python script that generates a list of points represented by the coordinates (x,y,z) using the Lorenz attractor*», fornendo contestualmente la definizione matematica del sistema.

ChatGPT genera codice che implementa due funzioni principali: lorenz(x, y, z, s, r, b) che calcola le derivate temporali dx/dt, dy/dt, dz/dt date le coordinate correnti e i parametri di sistema; runge_kutta(x0, y0, z0, dt, steps) che integra numericamente le equazioni differenziali mediante metodo di *Runge-Kutta* del quarto ordine (RK4), algoritmo che approssima la soluzione con accuratezza $O(dt^5)$ attraverso valutazione della funzione derivata in quattro punti intermedi per ogni *step* temporale.

Il metodo RK4 implementato calcola per ogni iterazione:

kx1, ky1, kz1 = lorenz(x, y, z)
*kx2, ky2, kz2 = lorenz(x + dt*kx1/2, y + dt*ky1/2, z + dt*kz1/2)*
*kx3, ky3, kz3 = lorenz(x + dt*kx2/2, y + dt*ky2/2, z + dt*kz2/2)*
*kx4, ky4, kz4 = lorenz(x + dt*kx3, y + dt*ky3, z + dt*kz3)*
*x += dt * (kx1 + 2*kx2 + 2*kx3 + kx4) / 6*
*y += dt * (ky1 + 2*ky2 + 2*ky3 + ky4) / 6*
*z += dt * (kz1 + 2*kz2 + 2*kz3 + kz4) / 6*

dove k1 rappresenta la derivata nel punto corrente, k2 e k3 le derivate valutate a metà *step* utilizzando pendenze intermedie, e k4 la derivata al termine dello *step*.

La media pesata di queste quattro valutazioni produce un aggiornamento delle coordinate significativamente più accurato rispetto a metodi più semplici — il metodo di Eulero *forward* avrebbe accuratezza solo $O(dt^2)$ — cruciale per preservare la stabilità della traiettoria caotica su migliaia di iterazioni senza accumulo di errore numerico che causerebbe divergenza dalla soluzione matematicamente corretta.

La prima versione generata da *ChatGPT* utilizza *NumPy* per operazioni vettoriali, approccio standard in *scientific computing Python* per prestazioni elevate. Emerge tuttavia immediatamente un *constraint* tecnico: l'ambiente di esecuzione *GHPython* in *Grasshopper*, basato su *IronPython* 2.7 — implementazione *.NET* di *Python* — non supporta nativamente librerie *C-based* come *NumPy* che richiedono *CPython*[26].

Il *designer* richiede una seconda iterazione: «*rewrite without using external modules like numpy*». *ChatGPT* adatta il codice eliminando le dipendenze *NumPy* e implementando tutte le operazioni mediante la *standard library Python*, aritmetica scalare nativa, *list comprehensions* per l'accumulazione dei punti, *range iterations* per il *loop* temporale.

La terza iterazione affronta l'integrazione specifica con *Grasshopper/Rhinoceros*: «*generate a list of 3D points using GH-Python, based on these coordinates*?». *ChatGPT* riconosce il contesto operativo e modifica il codice per utilizzare la *Rhino.Geometry* API, sostituendo le *tuple Python* (x, y, z) con oggetti Rhino.Geometry.Point3d:

---

26 *IronPython* è un'implementazione di *Python* per *.NET Framework*, utilizzata da *Grasshopper* per consentire la scrittura di *script Python* all'interno del suo ambiente. La sua incompatibilità con estensioni *CPython* come *NumPy* rappresenta un *constraint* documentato nell'ecosistema *GHPython*: cfr. la documentazione ufficiale McNeel & Associates, *Grasshopper Developer Documentation*, 2023.

```
python
import Rhino.Geometry as rg

# ... funzioni lorenz e runge_kutta invariate ...

points.append(rg.Point3d(x, y, z))
```

Questa modificazione è tecnicamente cruciale: mentre le *tuple Python* sono strutture dati generiche non riconosciute da *Grasshopper* come geometrie, gli oggetti Point3d sono primitive geometriche native di *Rhinoceros* che *Grasshopper* può visualizzare direttamente nel *viewport* 3D, connettere a componenti geometrici *downstream* — curve per interpolazione, *mesh* per *vertex placement*, *attractor fields* per deformazioni — per l'*export* in formati 3D standard. L'*output* dello *script* non è quindi una lista astratta di numeri ma una *point cloud* geometricamente operabile all'interno dell'ecosistema *Rhino/Grasshopper*.

Parametri di esecuzione e manipolabilità.
I parametri di esecuzione adottati nella sperimentazione includono: condizioni iniziali (x_0=0,0, y_0=1,0, z_0=1,05), valori prossimi all'origine che convergono rapidamente verso l'attrattore; *time step* dt=0,01, sufficientemente piccolo per l'accuratezza numerica RK4 senza *overhead* computazionale eccessivo; numero di iterazioni steps=10.000, producendo una traiettoria lunga circa 100 unità temporali che traccia completamente entrambi i lobi dell'attrattore attraverso multiple orbite caotiche.
La *point cloud* risultante contiene 10.000 punti distribuiti lungo la traiettoria caotica, formando nello spazio 3D la caratteristica morfologia a doppio vortice con dimensioni approssimative di ±20 unità nelle direzioni *x* e *y* e 0-50 unità in direzione *z*.
La manipolabilità parametrica costituisce il vantaggio

metodologico fondamentale: ogni parametro del sistema (σ, ρ, β, condizioni iniziali, *dt*, *steps*) è esposto come variabile modificabile che permette l'esplorazione di famiglie morfologiche correlate. Incrementando ρ da 28 a 35 l'attrattore transiziona verso un regime più caotico con lobi più distanziati; riducendo β da 8/3 a 2 la forma si comprime verticalmente; alterando le condizioni iniziali, la traiettoria esplora regioni differenti dello spazio delle fasi pur convergendo alla medesima struttura attrattore (cfr. Fig. 36).
Questa capacità di generare varianti morfologiche attraverso modifiche parametriche graduali — anziché rigenerazioni stocastiche indipendenti come negli approcci puramente IA — permette quel *design* iterativo controllato in cui il progettista naviga spazi formali preservando continuità.

Applicazioni.
Le applicazioni della *point cloud* generata spaziano su scale e logiche differenti. Come *attractor field* per il *displacement* superficiale, i punti di Lorenz guidano la deformazione di *mesh* planari o volumetriche regolari: ogni *vertex* della *mesh* viene spostato verso il punto di Lorenz più prossimo con intensità proporzionale alla distanza inversa, producendo superfici organiche corrugate che incorporano la complessità topologica dell'attrattore.
Come *distribution pattern* per *instancing*, i 10.000 punti possono posizionare istanze di componenti ripetibili creando aggregazioni dense che bilanciano apparente casualità con coerenza geometrica sottostante. Come *skeleton* per strutture filamentose, connettendo punti consecutivi lungo la traiettoria mediante curve o cilindri si generano *path* spaziali complessi utilizzabili come guide per l'estrusione di elementi tubolari, creando reti tridimensionali organiche reminiscenti di sistemi vascolari o neurali.

Il LLM come traduttore fra dominio concettuale e implementazione computazionale.

Il *workflow ChatGPT-GHPython* dimostra concretamente come gli *LLM* fungano da traduttori fra dominio matematico-concettuale e implementazione computazionale: il *designer* formula l'*intent* in termini di modello matematico (*Lorenz attractor*), *ChatGPT* materializza questo *intent* in codice eseguibile, *Grasshopper* esegue e visualizza il risultato geometrico, il *designer* itera modificando parametri o richiedendo varianti (*use different initial conditions*, *increase trajectory length*).

Questo ciclo iterativo — formulazione verbale, implementazione computazionale, valutazione visiva, nuova formulazione — è la realizzazione operativa di quella «interazione continua» fra progettista e sistema digitale descritta da Unali[27]: non una transazione puntuale ma una negoziazione semantica progressiva che preserva, in ogni passaggio, l'autorità progettuale del *designer*.

Il codice non è un *output* da ricevere passivamente ma un *input* da valutare, selezionare e integrare — lo *script* come appunto di progetto in linguaggio computazionale[28].

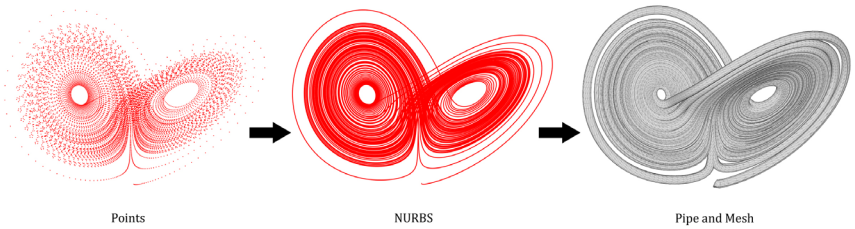


Figura 33.
Sintesi della Strategia 1 — Attrattore di Lorenz: dalla distribuzione piana all'aggregazione volumetrica con campo attrattore; Schema in tre fasi che illustra il principio operativo della prima strategia parametrica (Cap. 3.1.3.1).
© G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, Three Parametric Spaces Shaped by AI for the Extension of the Virtual Museum of Intangible Cultural Heritage, in "SCIentific RESearch and Information Technology", Vol. 15, n. 2, 2025, DOI 10.2423/i22394303v15n2p181.

27 M. Unali, *Virtuale: invariante storica del disegno di architettura*, in M. Unali (a cura di), *Abitare Virtuale: Rappresentazioni*, Gangemi, Roma 2022, p. 20.

28 Sul disegno come strumento euristico dell'invenzione architettonica — di cui lo script conversazionale rappresenta qui un'estensione computazionale — cfr. F. Quici, *Tracciati d'invenzione. Euristica e disegno di architettura*, UTET Libreria, Torino 2004.

3.1.3.2 Strategia 2: Caos controllato mediante cubi e attrattori

La seconda strategia operativa esplora la generazione di aggregazioni volumetriche discrete, insiemi di elementi cubici tridimensionali distribuiti nello spazio secondo logiche di densità variabile controllate da campi di influenza attrattivi.

A differenza delle strategie basate su curve — che producono geometrie continue o distribuzioni lungo *path* predefiniti — questo approccio genera assemblaggi modulari in cui ogni cubo costituisce un'unità discreta indipendente, posizionata, dimensionata e orientata secondo parametri locali derivanti dalla sua relazione spaziale con punti attrattori.

Il sistema implementa un'inversione controintuitiva della logica attrattiva convenzionale: anziché concentrare gli elementi vicino all'attrattore — come nei *gravity wells* fisici — la densità è minima in prossimità del punto di controllo e massima a distanza, producendo configurazioni con zone rarefatte centrali circondate da addensamenti progressivi[29]. Questa inversione logica, apparentemente paradossale ma geometricamente coerente, genera morfologie applicabili a facciate parametriche graduate, schermature solari con trasparenza variabile, partizioni spaziali non uniformi: è la 'transizione da ordine a caos controllato' che la ricerca precedente (Caffio, Unali, Zollo 2025) ha documentato nella Sala IX del VMEA come fondamento della *Randomised Space*[30].

---

29 La logica di densità inversa — rarefazione al centro, addensamento alla periferia — inverte la metafora gravitazionale convenzionale producendo spazi architettonici con qualità formali non ottenibili attraverso processi di aggregazione tradizionali. Cfr. G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI*, cit., 2025, pp. 190-191.

30 G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI*, cit., 2025, p. 183: la *Randomised Space* (Sala IX) ospita l'opera *La Porta del Mare* di Franco Summa (Pescara 1993). Per la struttura generale del VMEA cfr. ibid., Fig. 1, p. 183.

Dialogo iterativo e configurazione input/output.
Il processo inizia con un dialogo iterativo con *ChatGPT* in cui il *designer* esprime l'*intent* progettuale — «*create a parametric project made of cubes of various sizes, agglomerated, with sliders to increase dimensions and number*» — *e il chatbot* propone un'implementazione tecnica progressivamente raffinata attraverso cicli domanda-risposta.
Una fase significativa del *workflow* riguarda la configurazione *input/output* in *GHPython*, aspetto tecnico che nella pratica progettuale costituisce una barriera d'accesso per *designer* non programmatori: *ChatGPT* fornisce istruzioni *step-by-step* dettagliate per aprire il componente *GHPython*, navigare la scheda *Component*, aggiungere *input* tramite il bottone *Add input*, assegnare nomi variabili (num_cubes, size_min, size_max, randomize, attractor, influence, mode), specificare i tipi (*Integer*, *Float*, *Boolean*, *Point3d*, *String*).
Questa fase didattica, normalmente considerata *overhead* tecnico preliminare, diventa parte integrante della *design conversation* attraverso *guidance* procedurale assistita.

Struttura del codice base.
Il codice base genera cubi mediante Rhino.Geometry.Box, costruendo ogni elemento da: un centro (Point3d nello spazio tridimensionale); un piano di riferimento (Plane definito da centro più vettore normale Z); tre intervalli dimensionali (tre Interval identici [-size/2, size/2] per un cubo perfetto, o differenziati per parallelepipedi). I parametri esposti tramite *sliders Grasshopper* controllano: num_cubes (500-5000, numero totale di elementi), size_min e size_max (0,5-5,0, *range* dimensionale), influence (5-30, intensità dell'effetto attrattore), mode (un *String Panel* che seleziona fra *grid*, *random*, *radial*).

Tre modalità di posizionamento iniziale.
Il sistema implementa tre logiche alternative per il posizionamento iniziale dei cubi.
Modalità *grid* — griglia cartesiana regolare: i cubi vengono disposti su un reticolo ortogonale tridimensionale con spaziatura uniforme, producendo *pattern* riconoscibili ordinati — reticoli strutturali, griglie modulari, assemblaggi serializzati — ideali per sistemi costruttivi razionalizzati. La regolarità iniziale viene successivamente perturbata dall'effetto attrattore, che filtra selettivamente i cubi secondo distanza, generando transizioni da ordine a caos controllato.
Modalità *random* — distribuzione casuale uniforme: ogni cubo viene posizionato a coordinate estratte casualmente da una distribuzione uniforme (random.uniform(-30, 30) per ciascun asse), eliminando *pattern* riconoscibili e producendo agglomerati apparentemente spontanei simili a distribuzioni particellari naturali.
La casualità pura fornisce una *baseline* neutrale su cui l'attrattore imprime un gradiente di densità.
Modalità *radial* — distribuzione toroidale attorno all'attrattore: i cubi vengono distribuiti su traiettorie circolari centrate sull'attrattore mediante coordinate polari (angolo uniformemente distribuito 0-360°, raggio variabile attorno a un valore medio), generando anelli concentrici o sfere cave — topologie toroidali applicabili a pergole circolari, cupole reticolari, strutture radiali centripete.

Logica di filtrazione a densità inversa.
Il comportamento distintivo del sistema risiede nella logica di filtrazione basata sulla distanza inversa dall'attrattore. Per ogni cubo candidato si calcola la distanza euclidea tridimensionale (distance = cube_center.DistanceTo(attractor)) e un fattore di densità normalizzato inverso:

```
python
density_factor = 1.0 - min(1.0, distance / max_distance)
```

Questo *factor* — con *range* [0, 1] — viene utilizzato come probabilità di eliminazione: il cubo sopravvive solo se random.random() > density_factor. La logica produce un effetto paradossale ma geometricamente coerente: i cubi prossimi all'attrattore (density_factor alto, per esempio 0,9) hanno 90% di probabilità di essere eliminati — sopravvive solo circa il 10%; i cubi remoti (density_factor basso, per esempio 0,1) hanno 10% di probabilità di eliminazione — sopravvive circa il 90%. Il risultato è una rarefazione centrale circondata da addensamento periferico[31]. La scelta di max_distance = 50,0 come normalizzatore definisce il 'raggio di influenza' oltre il quale l'attrattore cessa di avere effetto: modificando questo parametro — o esponendolo come *slider* influence — si controlla l'estensione del gradiente. Valori bassi producono transizioni brusche (una zona vuota netta più una zona piena netta), valori alti generano sfumature graduali estese.

Questa inversione logica trova applicazione architettonica in diverse condizioni progettuali: corti interne, con densità materica perimetrale e vuoto centrale per luce e aria; schermature solari graduate, con apertura centrale per la vista e protezione periferica per l'ombreggiamento; alleggerimento strutturale, con rimozione del materiale dalle zone a basso stress e concentrazione dove è necessario il comportamento *load-bearing*.

Modulazione di dimensione e rotazione.

Oltre al filtro di densità, l'attrattore modula due proprietà geometriche di ogni cubo sopravvissuto: la dimensione

31 La logica probabilistica applicata alla densità produce risultati non deterministici ma statisticamente controllabili: esecuzioni successive dello stesso *script* con i medesimi parametri producono configurazioni diverse ma morfologicamente comparabili, variabilità che il *designer* può sfruttare come risorsa espressiva o limitare fissando il *seed* casuale.

e la rotazione. La dimensione viene calcolata mediante interpolazione lineare fra size_max (vicino all'attrattore) e size_min (lontano), producendo cubi grandi nella zona centrale rarefatta — pochi elementi ma voluminosi — e cubi piccoli nella zona periferica densa — molti elementi ma minuti. L'effetto complessivo bilancia la massa materiale: la perdita numerica centrale è compensata dall'aumento dimensionale, il guadagno numerico periferico dalla riduzione dimensionale.
La rotazione implementa una deformazione progressiva del reticolo cartesiano iniziale: ogni cubo viene ruotato attorno all'asse Z locale di un angolo proporzionale alla distanza inversa dall'attrattore, trasformando la griglia ortogonale in un campo disordinato in cui le orientazioni variano progressivamente. Le applicazioni includono *pattern* di tassellatura non periodica, facciate con moduli ruotati progressivamente, effetti *moiré* controllati da sovrapposizione di elementi orientati differentemente.

Estensione al terzo asse.
Un raffinamento critico del *workflow* riguarda l'estensione della distribuzione da planare (XY con Z costante) a volumetrica completa (XYZ variabili). Nelle iterazioni iniziali, le modalità *grid* e *random* generavano cubi su un piano orizzontale, producendo configurazioni bidimensionali proiettate nello spazio 3D.
L'*upgrade* richiesto al *chatbot* — «*make it work also on Z axis*» — *estende la logica attrattiva verticalmente, rendendo il* density_factor sensibile alla prossimità tridimensionale effettiva (cfr. Fig. 37). Questo *upgrade* trasforma il sistema da *pattern* di facciata bidimensionale a volumetria architettonica completa — nuvole di cubi sospese, aggregazioni scultoree, installazioni spaziali immersive — e costituisce uno dei passaggi metodologici più significativi documentati nel *paper* 2025: «l'estensione della distribuzione al terzo asse

trasforma un sistema di facciata in un sistema spaziale, cambiando radicalmente le possibilità applicative»[32].

Risoluzione di problemi tecnici emergenti.
Il dialogo con *ChatGPT* documenta numerosi cicli iterativi di risoluzione di problemi tecnici emergenti, che costituiscono parte integrante del *workflow* reale — non un *overhead* da nascondere ma evidenza del processo creativo computazionale.
La gestione di *input* indefiniti (errori UnboundNameException) è risolta assicurando la consistenza dei nomi fra la definizione dell'*input GHPython* e il suo utilizzo nel codice, aggiungendo blocchi try/except con valori *default* di *fallback*.
La conversione dei tipi (errori range() integer end argument expected, got float) è corretta forzando *casting* espliciti (int(num_cubes), float(size_min)). La questione più complessa — l'aggiornamento dinamico dell'attrattore quando viene spostato in *Rhino* — evidenzia un *gap* fra le aspettative di *design* (una manipolazione diretta fluida) e la realtà implementativa (una *batch computation* con *trigger* espliciti): dopo aver tentato soluzioni diverse — modalità *Automatic* in *GHPython*, componente *Timer*, *threading Python* — la soluzione accettata è l'aggiornamento manuale via *Recompute*.

Sintesi: fra caos e controllo.
La capacità di controllare simultaneamente la quantità (numero dei cubi), la qualità (dimensioni, rotazioni), la distribuzione (*grid/random/radial*) e il gradiente (attrattore inverso) attraverso parametri esposti offre al *designer* una flessibilità espressiva che preserva la razionalità costruttiva:

32 G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI*, cit., 2025, p. 191: Sez. 4.3.1, Step 5 (*3D distribution with variations along the Z axis, for greater spatial variability*). L'estensione al terzo asse è identificata come un raffinamento critico del *workflow* nella documentazione del caso di studio.

ogni cubo rimane un elemento modulare fabbricabile, assemblabile, sostituibile, anche quando la configurazione complessiva appare organica o casuale.

È la sintesi fra 'caos' e 'controllo' che Unali, Caffio e Zollo (2023) avevano identificato come qualità distintiva delle «transizioni di senso» prodotte dall'IA applicata all'architettura[33]: il sistema non genera il caos ma lo governa, non elimina l'intenzione progettuale ma la distribuisce matematicamente nello spazio.

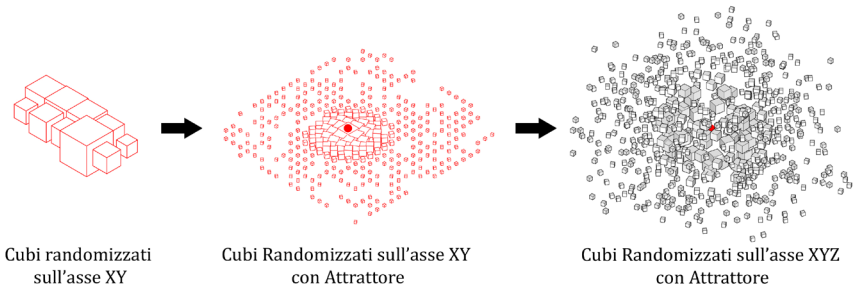


Figura 34.
Sintesi della Strategia 2 — Caos controllato mediante Cubi e Attrattori; Schema in tre fasi che illustra il principio evolutivo della seconda strategia parametrica (Cap. 3.1.3.2). © G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, Three Parametric Spaces Shaped by AI for the Extension of the Virtual Museum of Intangible Cultural Heritage, in SCIentific RESearch and Information Technology, Vol. 15, n. 2, 2025, DOI 10.2423/i22394303v15n2p181.

3.1.3.3 Strategia 3: Curve elicoidali, sezioni modificabili e superfici sweep

La terza strategia operativa implementa un *workflow* multi-fase che genera superfici architettoniche continue attraverso l'estrusione di sezioni variabili lungo curve parametriche tridimensionali.

A differenza dell'approccio basato su punti discreti — che produce distribuzioni spaziali manipolabili come guide o *skeleton* — questo metodo genera geometrie superficiali direttamente utilizzabili (NURBS *surfaces* o *Brep*) che costituiscono elementi architettonici primari: nastri strutturali, superfici di involucro, componenti scultorei, elementi di partizione spaziale.

Il processo si articola attraverso tre fasi sequenziali: la generazione di una curva guida parametrica; la definizione di sezioni trasversali variabili; l'operazione di *sweep* che

33 M. Unali, G. Caffio, F. Zollo, *Transizioni d'immagini e architetture al tempo dell'IA. Modelli semantici in cerca di autore*, in M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di), *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, FrancoAngeli, Milano 2023, p. 3228.

interpola le sezioni lungo la curva producendo una superficie continua *smooth*.

La complessità morfologica risultante deriva dalla combinazione stratificata di molteplici funzioni di controllo — deformazioni sinusoidali, variazioni casuali, *noise* procedurale, progressioni graduali, modulazioni locali, mappature da immagini — che operano simultaneamente su parametri geometrici differenti, generando superfici di articolazione formale impossibili da modellare manualmente. Come documentato nella Sala X del VMEA, questa strategia ha conformato la *Helicoidal Structure* — spazio espositivo che aggiorna il Guggenheim Museum di Wright attraverso una parametrizzazione matematica che ne moltiplica le varianti morfologiche — raccordando la tradizione moderna della rampa continua con le possibilità generative del *design* computazionale[34].

Generazione della curva guida parametrica. Il *workflow* inizia con un dialogo conversazionale con *ChatGPT* per la generazione di una curva elicoidale parametrica che funge da *path* tridimensionale lungo cui distribuire le sezioni.

La richiesta iniziale — «*create a parametric element with GhPython inspired by this image*», con allegato visivo di un'immagine del Museo Guggenheim — innesca il processo collaborativo tipico del paradigma IA-parametrico: *ChatGPT* propone un approccio tecnico, il *designer* fornisce *feedback*, il codice viene iterativamente raffinato[35].

La curva base è elicoidale: le coordinate (*x*, *y*) seguono un movimento circolare (x = radius * cos(angle), y = radius *

---

34 G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI for the Extension of the Virtual Museum of Intangible Cultural Heritage*, in «SCIRES-IT», Vol. 15, n. 2, 2025, p. 183 e pp. 191-192, DOI 10.2423/i22394303v15n2p181. La *Helicoidal Structure* (Sala X) ospita opere dell'arte abruzzese e al centro l'*Huge Wine Glass* di Toyo Ito (Piazza Salotto, Pescara, 2008-2013). Il riferimento a Wright è esplicitato nel paper: «a helicoidal geometry that updates Frank Lloyd Wright's historic Guggenheim Museum» (ibid., p. 183).

35 M. Unali, G. Caffio, F. Zollo, *Hypotheses of Images and Architectural Spaces in the Age of Artificial Intelligence*, in A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (a cura di), *Advances in Representation*, Springer, Cham 2024, p. 861: il *paper* documenta la prima versione del *workflow ChatGPT-GHPython-Grasshopper*, con l'utilizzo di immagini di riferimento visivo come innesco del dialogo conversazionale.

sin(angle)), mentre la coordinata *z* cresce linearmente (z = (height/steps) * t), producendo una spirale ascendente controllata da num_turns (numero di avvolgimenti), radius (raggio) e height (altezza totale).
La curva base viene poi deformata mediante due funzioni sovrapposte. La prima è un'ondulazione sinusoidale verticale (z += wave_amp * sin(angle * wave_freq)) che introduce variazioni *smooth* lungo l'asse verticale, controllate da ampiezza (wave_amp) e frequenza (wave_freq). La seconda è una torsione progressiva (twist = radians(twist_factor * (t/steps))) che ruota progressivamente le coordinate (*x*, *y*) attorno all'asse *z* mediante la matrice di rotazione:

```
python
new_x = x * cos(twist) - y * sin(twist)
new_y = x * sin(twist) + y * cos(twist)
```

La torsione incrementa gradualmente da 0° all'inizio a twist_factor gradi alla fine, producendo un attorcigliamento che varia da nullo (twist_factor=0) a estremo (twist_factor=360° o oltre).
Questa curva *twisted helix* costituisce la *spine* parametrica lungo cui verrà costruita la superficie, e il suo carattere morfologico — da elicoidale regolare a caotico ritorto — determina la forma generale risultante.

Sezioni trasversali e operazione di sweep.
Lungo la curva guida vengono posizionate sezioni trasversali — curve planari perpendicolari al *path* — che definiscono il profilo della superficie risultante. Il numero di sezioni (num_sections, tipicamente 10-50) determina la risoluzione della superficie: poche sezioni producono un'approssimazione grossolana con *faceting* visibile, molte sezioni generano una superficie *smooth* ma aumentano il costo computazionale. Per ogni sezione si calcola: il

punto sulla curva mediante parametrizzazione (curve. PointAt(param)); il piano perpendicolare orientato secondo la tangente locale (Plane(point, tangent)); il rettangolo nel piano con dimensioni ribbon_width × ribbon_ thickness, convertito in curva NURBS. L'operazione *Sweep* (SweepOneRail in *Rhino.Geometry*) interpola tutte le sezioni trasversali lungo la curva guida producendo una superficie NURBS che passa attraverso ciascuna sezione mantenendo la continuità *smooth*.
Il risultato è un *Brep* (*Boundary Representation*) — superficie chiusa topologicamente valida, esportabile in formati standard (*STEP*, *IGES*, *OBJ*) e manipolabile in *software* CAD/BIM. A differenza delle *mesh* triangolate generate dai sistemi *text-to-3D* (cfr. Cap. 3.1.1), il *Brep* è una superficie matematicamente esatta, compatibile con operazioni booleane, analisi strutturali ed *export* tecnici[36].

Cinque layer morfologici stratificati.
La potenza metodologica risiede nella combinazione *layer-by-layer* di funzioni di controllo indipendenti che modificano i parametri di sezione — principalmente ribbon_thickness, determinante per l'articolazione delle scanalature — attraverso logiche differenti. Questo approccio stratificato, opposto a una singola funzione monolitica, permette un controllo granulare e il *mixing* di caratteri morfologici distinti, realizzando il principio del *meta-progetto*: non una forma ma uno spazio di forme[37].

Layer 1 — Scanalature sinusoidali base.
Una funzione sinusoidale (groove_depth * sin(i * groove_

36 La superiorità del *Brep NURBS* rispetto alla *mesh* triangolata per le applicazioni architettoniche tecniche è discussa in A. Tedeschi, *Parametric Architecture with Grasshopper*, Le Penseur, Brienza 2010, pp. 18-25.

37 A. Tedeschi, *AAD Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies using Grasshopper*, Le Penseur, Brienza 2014, p. 14. La stratificazione di *layer* morfologici indipendenti è la realizzazione pratica del principio del *meta-progetto*: ogni *layer* aggiunge un grado di libertà allo spazio di *design* complessivo senza annullare i *layer* precedenti.

freq * 360/num_sections)) modula il *thickness* producendo ondulazioni regolari periodiche. Questo *layer* genera il *pattern* ritmico riconoscibile su cui i *layer* successivi aggiungono complessità.

Layer 2 — Variazione casuale.
L'aggiunta di random.uniform(-random_factor, random_factor) introduce deviazioni stocastiche rompendo la periodicità perfetta; valori bassi (0,05-0,1) 'umanizzano' il *pattern*, valori alti (0,5-1,0) generano irregolarità marcate tendenti verso il caos organico.

Layer 3 — *Perlin noise*.
Implementato come somma pesata di sinusoidi a frequenze irrazionali (π, φ, e), il *Perlin noise* genera variazioni pseudo-casuali ma continue: a differenza del *random* puro che salta fra valori adiacenti, il *Perlin* produce transizioni fluide essenziali per superfici organiche credibili.

Layer 4 — Progressione lungo la curva.
La modulazione (1 + progression_factor * progress), dove progress = i/num_sections, scala tutti i parametri precedenti proporzionalmente alla posizione, creando transizioni morfologiche graduate: una superficie che evolve da *smooth* ad articolata lungo il suo sviluppo.

Layer 5 — Variazione locale gaussiana.
La somma di funzioni gaussiane centrate in punti distribuiti lungo la curva crea picchi locali di intensità confinati spazialmente, alcune zone più articolate di altre, che evitano la monotonia di variazioni globali uniformi.

Controllo image-driven mediante Image Samplers.
Oltre ai controlli procedurali, il *workflow* integra *Image Samplers*: componenti *Grasshopper* che leggono valori

di *pixel* da immagini in scala di grigi (0 = nero, 1 = bianco) lungo il dominio parametrico, traducendo *texture* visive in modulazioni geometriche.
Tre *Image Samplers* operano su parametri distinti.
Il primo (img) controlla la profondità delle scanalature (groove_depth): *pixel* chiari → scanalature profonde, *pixel* scuri → superficie *smooth*.
Il secondo (img2) controlla la frequenza delle scanalature (groove_freq), permettendo di variare localmente la granularità del *pattern*.
Il terzo (img3) controlla l'intensità di 'buchi attrattori' (hole_intensity), generando perforazioni localizzate dove il *thickness* viene drammaticamente ridotto. I valori estratti vengono normalizzati e combinati additivamente con i controlli procedurali: parameter_final = parameter_base * (1 + img_value * scaling_factor).
Questo livello di controllo *image-driven* introduce nella generazione parametrica una logica visiva che ricorda le tecniche di *texture mapping*: la superficie diventa un campo di valori modulabile visivamente, non soltanto matematicamente[38].

Tredici parametri e spazio di design navigabile.
Il *workflow* espone tredici parametri primari manipolabili in tempo reale tramite *sliders Grasshopper* (cfr. Fig. 38): num_turns, radius, height (geometria della curva base); wave_amp, wave_freq, twist_factor (deformazioni); ribbon_width, ribbon_thickness (sezioni); groove_depth, groove_freq, random_factor, noise_intensity, progression_factor, local_variation, hole_intensity (*layer* morfologici).
Questi parametri definiscono uno spazio di *design* navigabile interattivamente: ogni combinazione parametrica produce

38 L'integrazione degli *Image Samplers* nel *workflow ChatGPT-GHPython* introduce un punto di contatto metodologico con il Cap. 3.1.1, dove la qualità visiva delle immagini *Midjourney* costituisce il materiale di partenza: nella terza Strategia, le immagini tornano come controllo morfologico di secondo livello, chiudendo un ciclo ibridativo fra visivo e computazionale.

una morfologia distinta, il totale delle possibilità formali è essenzialmente infinito.
Il *designer* esplora questo spazio modificando *sliders*, osservando *preview* in tempo reale, convergendo verso configurazioni desiderate attraverso iterazioni guidate da giudizio estetico e requisiti funzionali.

Ibridazione di matematica, caos, immagine e dialogo.
La capacità di combinare controllo matematico esatto (equazioni parametriche), variazioni pseudo-casuali (*noise*, *random*) e mappature da immagini (*texture-driven deformation*) produce ibridi di controllo e casualità che emulano la complessità di forme naturali — conchiglie, ossa, tessuti biologici — mantenendo al contempo la manipolabilità ingegneristica.
In questa stratificazione di logiche eterogenee risiede il contributo metodologico più originale della terza strategia: non una singola tecnica ma un 'protocollo di ibridazione' in cui matematica, caos, immagine e dialogo conversazionale si sovrappongono per generare forme che nessuna di queste logiche potrebbe produrre autonomamente.

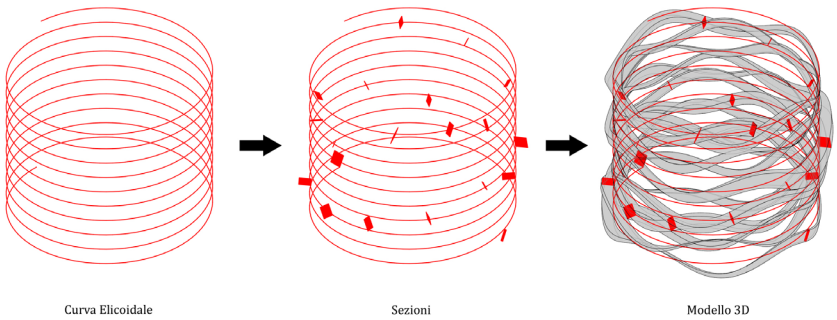


Figura 35.
Sintesi della Strategia 3 — Curve elicoidali, sezioni modificabili e superfici sweep; Schema in tre fasi che illustra il principio generativo della terza strategia parametrica (Cap. 3.1.3.3). © G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, Three Parametric Spaces Shaped by AI for the Extension of the Virtual Museum of Intangible Cultural Heritage, in SCIentific RESearch and Information Technology, Vol. 15, n. 2, 2025, DOI 10.2423/i22394303v15n2p181.

Sintesi del paradigma IA-parametrico.
Il *workflow ChatGPT-GHPython-Grasshopper* dimostra, attraverso le tre Strategie documentate, come gli *LLM* fungano da traduttori conversazione-codice per il *design* computazionale avanzato: il *designer* descrive l'*intent* morfologico in linguaggio naturale, *ChatGPT* materializza

in codice *Python* eseguibile, *Grasshopper* visualizza e parametrizza, le iterazioni dialogiche raffinano fino al risultato.

Le tre Strategie — *point-based* via attrattore caotico, aggregazione discreta con filtro a densità inversa, superficie continua da *sweep* stratificato — non esauriscono il repertorio possibile dell'integrazione IA-parametrica ma ne configurano tre declinazioni rappresentative, ciascuna focalizzata su una diversa primitiva geometrica (punto, volume, superficie) e su una diversa logica generativa (sistema dinamico, campo attrattivo, composizione stratificata). Insieme costituiscono il repertorio operativo con cui il metaprogetto del [vIrtuAl museum] affronta la generazione delle proprie geometrie espositive.

Le immagini generate durante il processo di elaborazione in *Grasshopper* (cfr. Figg. 36-39) sono documentate nell'apparato grafico allegato al presente capitolo.

Le evoluzioni dei codici utilizzati per la costruzione del *corpus* del *workflow* e per i test generativi sono trascritte integralmente in Appendice C.

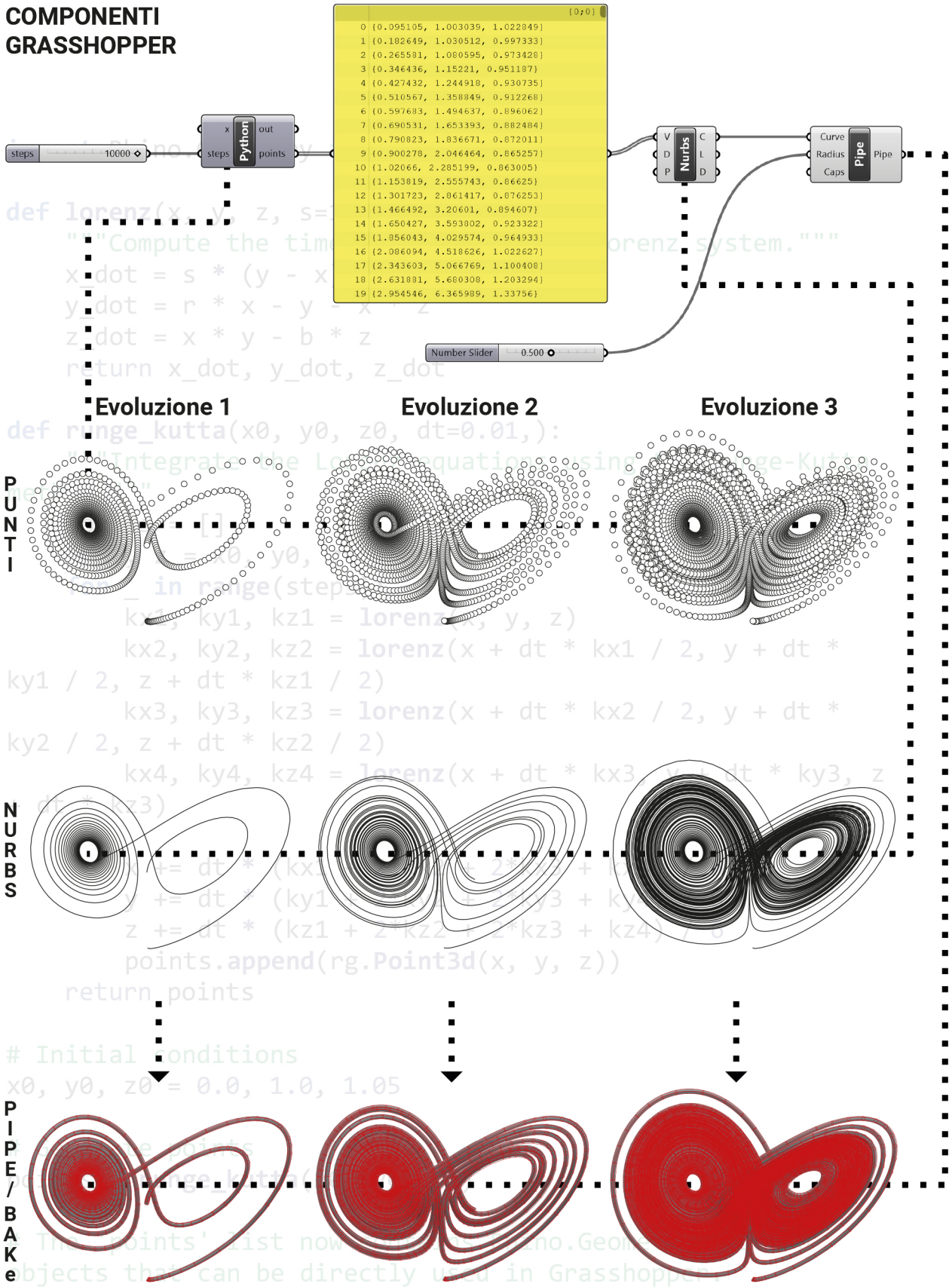
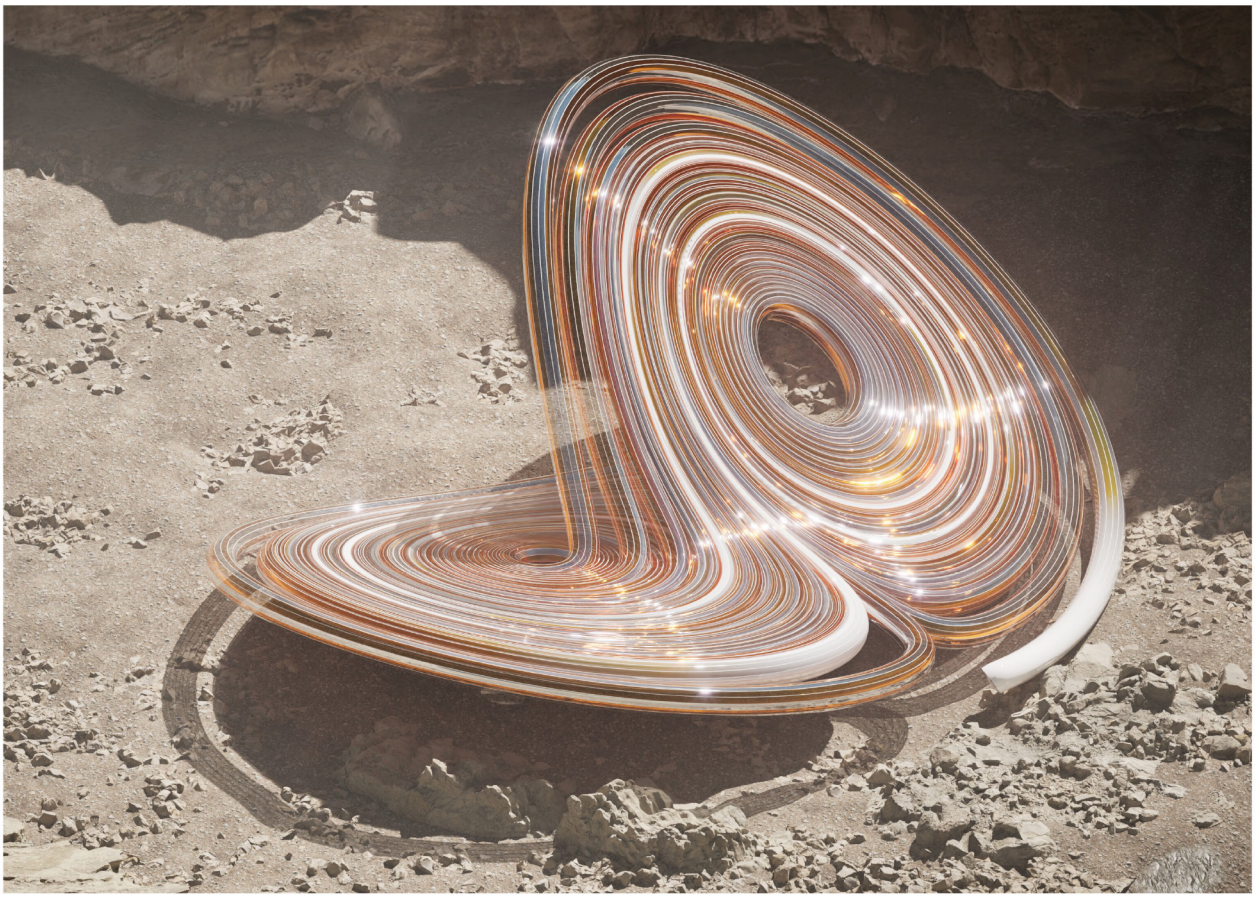


Figura 36.
Attrattore di Lorenz; Tavola documentativa della Strategia 1 (Cap. 3.1.3.1): in alto, schema del canvas Grasshopper con il pannello del codice Python generato da ChatGPT per l'integrazione numerica delle equazioni differenziali di Lorenz; al centro, le tre evoluzioni parametriche della curva attrattore; a destra, due immagini della geometria applicata in contesto virtuale. F. Zollo, 2025.





COMPONENTI GRASSHOPPER

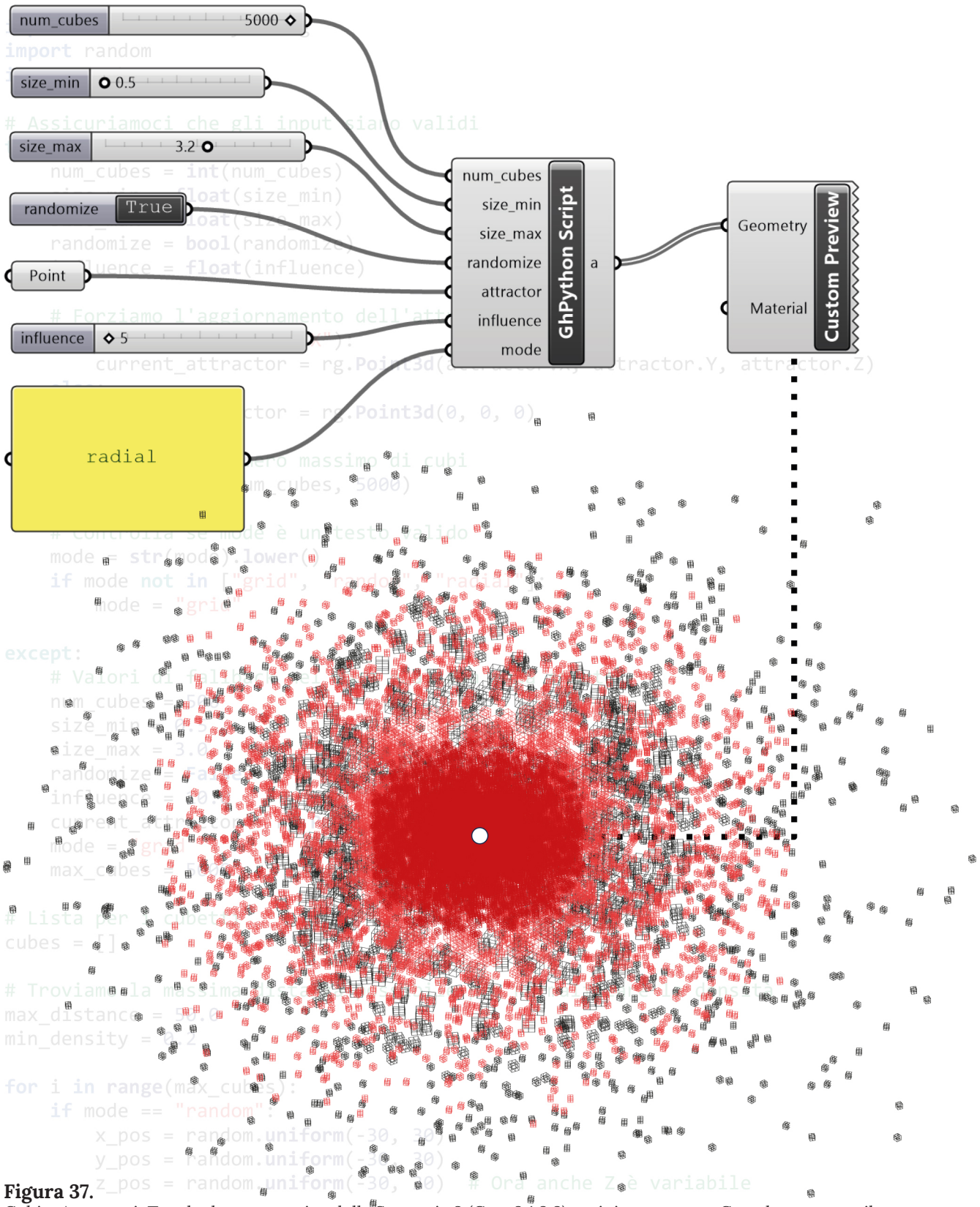
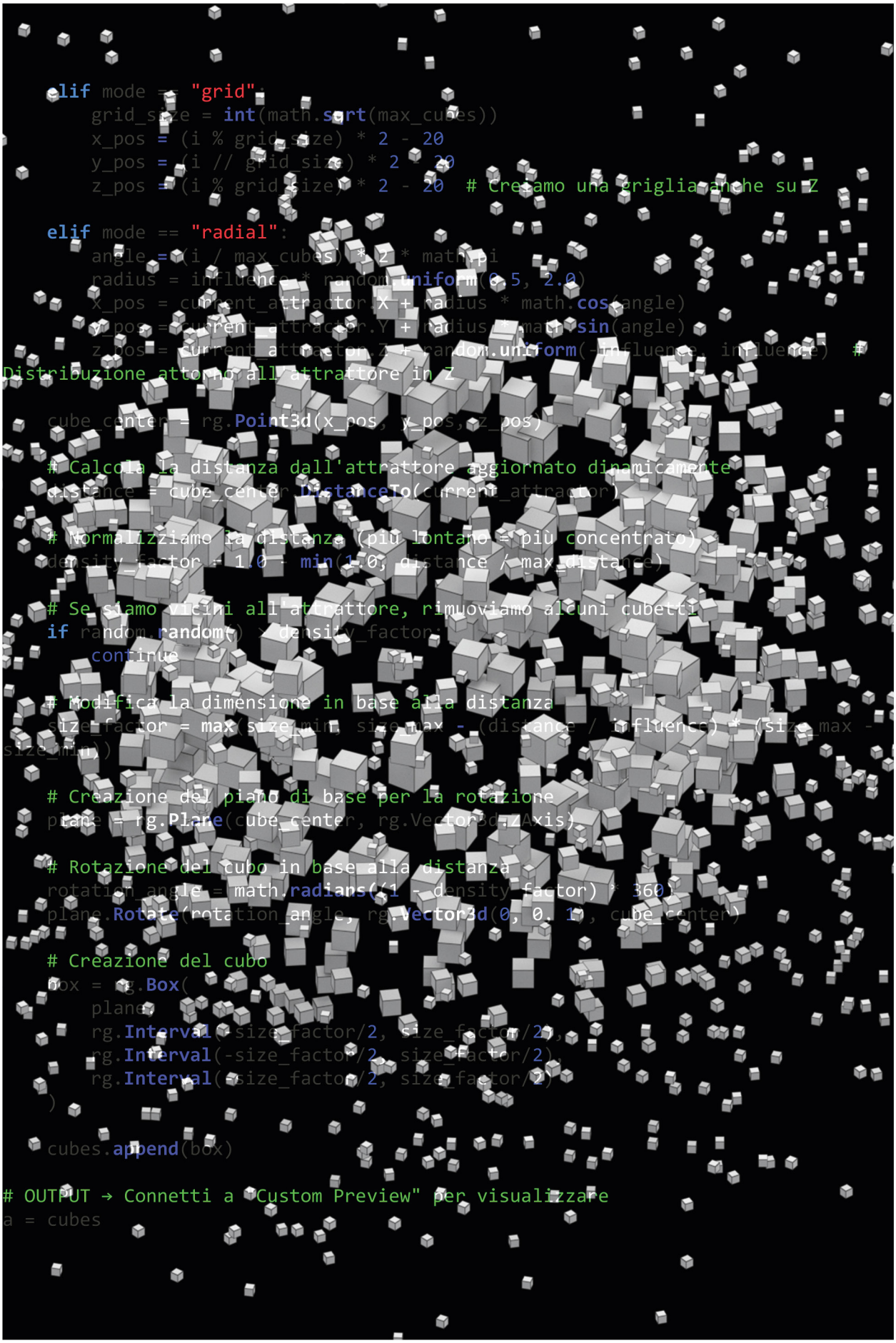


Figura 37.
Cubi e Attrattori; Tavola documentativa della Strategia 2 (Cap. 3.1.3.2): a sinistra, canvas Grasshopper con il componente GHPython e i parametri esposti tramite slider con distribuzione radiale attiva e punto attrattore centrale che genera rarefazione al centro e addensamento periferico; a destra, render volumetrico su fondo nero della nuvola di 5000 cubi con il codice GHPython visibile in sovrapposizione, che documenta la corrispondenza diretta tra script parametrico e geometria generata. F. Zollo, 2025.


elif mode == "grid":
grid_size = int(math.sqrt(max_cubes))
x_pos = (i % grid_size) * 2 - 20
y_pos = (i // grid_size) * 2 - 20
z_pos = (i % grid_size) * 2 - 20 # Creiamo una griglia anche su Z
elif mode == "radial":
angle = (i / max_cubes) * 2 * math.pi
radius = influence * random.uniform(0.5, 2.0)
x_pos = current_attractor.X + radius * math.cos(angle)
y_pos = current_attractor.Y + radius * math.sin(angle)
z_pos = current_attractor.Z + random.uniform(-influence, influence) # Distribuzione attorno all'attrattore in Z
cube_center = rg.Point3d(x_pos, y_pos, z_pos)
Calcola la distanza dall'attrattore aggiornato dinamicamente
distance = cube_center.DistanceTo(current_attractor)
Normalizziamo la distanza (più lontano = più concentrato)
density_factor = 1.0 - min(1.0, distance / max_distance)
Se siamo vicini all'attrattore, rimuoviamo alcuni cubetti
if random.random() > density_factor:
continue
Modifica la dimensione in base alla distanza
size_factor = max(size_min, size_max - (distance / influence) * (size_max - size_min))
Creazione del piano di base per la rotazione
plane = rg.Plane(cube_center, rg.Vector3d.ZAxis)
Rotazione del cubo in base alla distanza
rotation_angle = math.radians((1 - density_factor) * 360)
plane.Rotate(rotation_angle, rg.Vector3d(0, 0, 1), cube_center)
Creazione del cubo
box = rg.Box(
plane,
rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2),
rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2),
rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2)
)
cubes.append(box)
OUTPUT → Connetti a "Custom Preview" per visualizzare
a = cubes

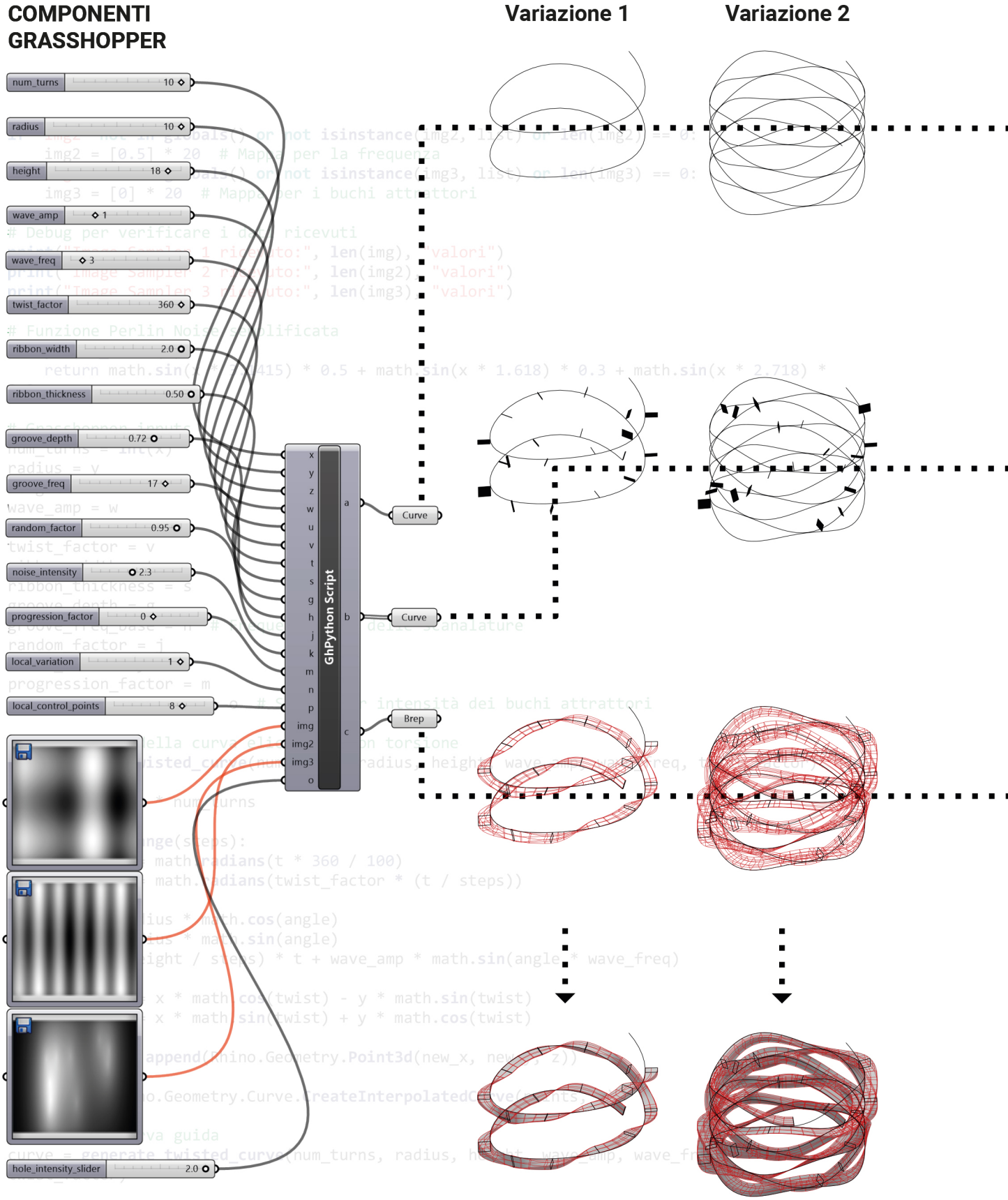
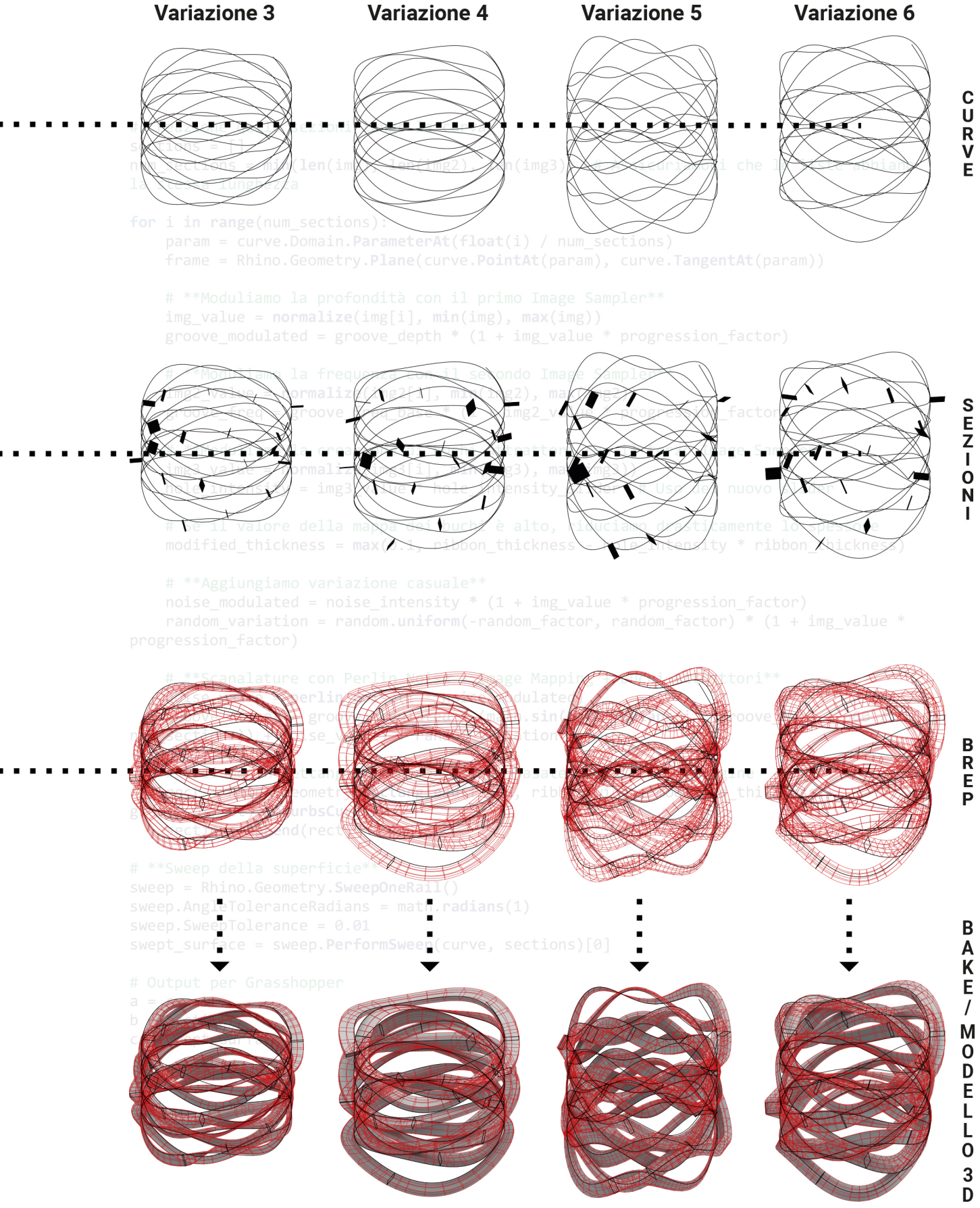


Figura 38.
Curve elicoidali e superfici sweep; Tavola documentativa della Strategia 3 (Cap. 3.1.3.3): a sinistra, canvas Grasshopper con il componente GHPython, i tredici parametri esposti tramite slider e i tre Image Samplers collegati; al centro e a destra, sei variazioni parametriche documentate su tre livelli: curva, sezioni trasversali variabili lungo la curva, superficie Brep NURBS. F. Zollo, 2025.


Variazione 3
Variazione 4
Variazione 5
Variazione 6
CURVE
SEZIONI
BREP
BAKE / MODELLO 3D

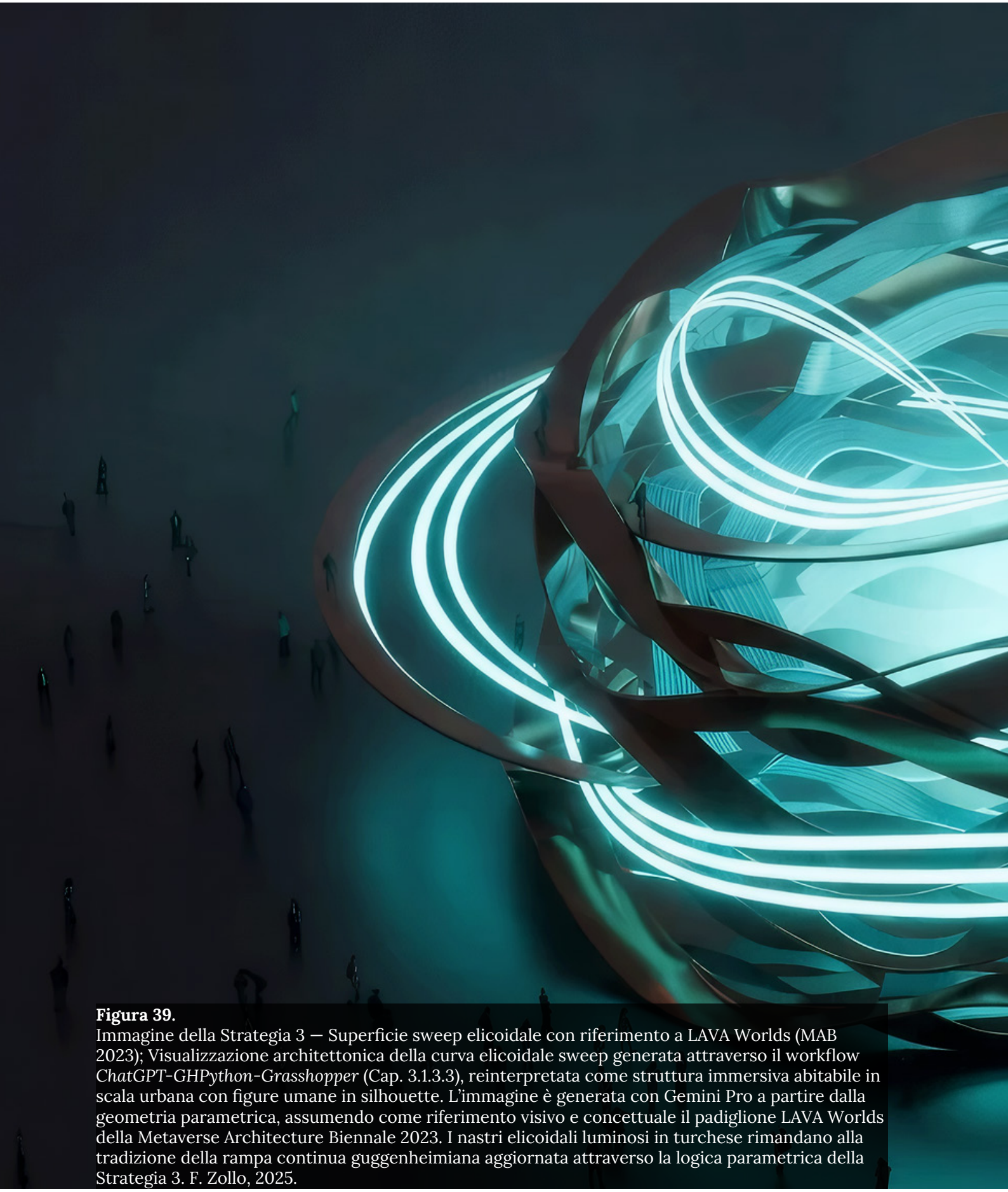


Figura 39.
Immagine della Strategia 3 — Superficie sweep elicoidale con riferimento a LAVA Worlds (MAB 2023); Visualizzazione architettonica della curva elicoidale sweep generata attraverso il workflow *ChatGPT-GHPython-Grasshopper* (Cap. 3.1.3.3), reinterpretata come struttura immersiva abitabile in scala urbana con figure umane in silhouette. L'immagine è generata con Gemini Pro a partire dalla geometria parametrica, assumendo come riferimento visivo e concettuale il padiglione LAVA Worlds della Metaverse Architecture Biennale 2023. I nastri elicoidali luminosi in turchese rimandano alla tradizione della rampa continua guggenheimiana aggiornata attraverso la logica parametrica della Strategia 3. F. Zollo, 2025.



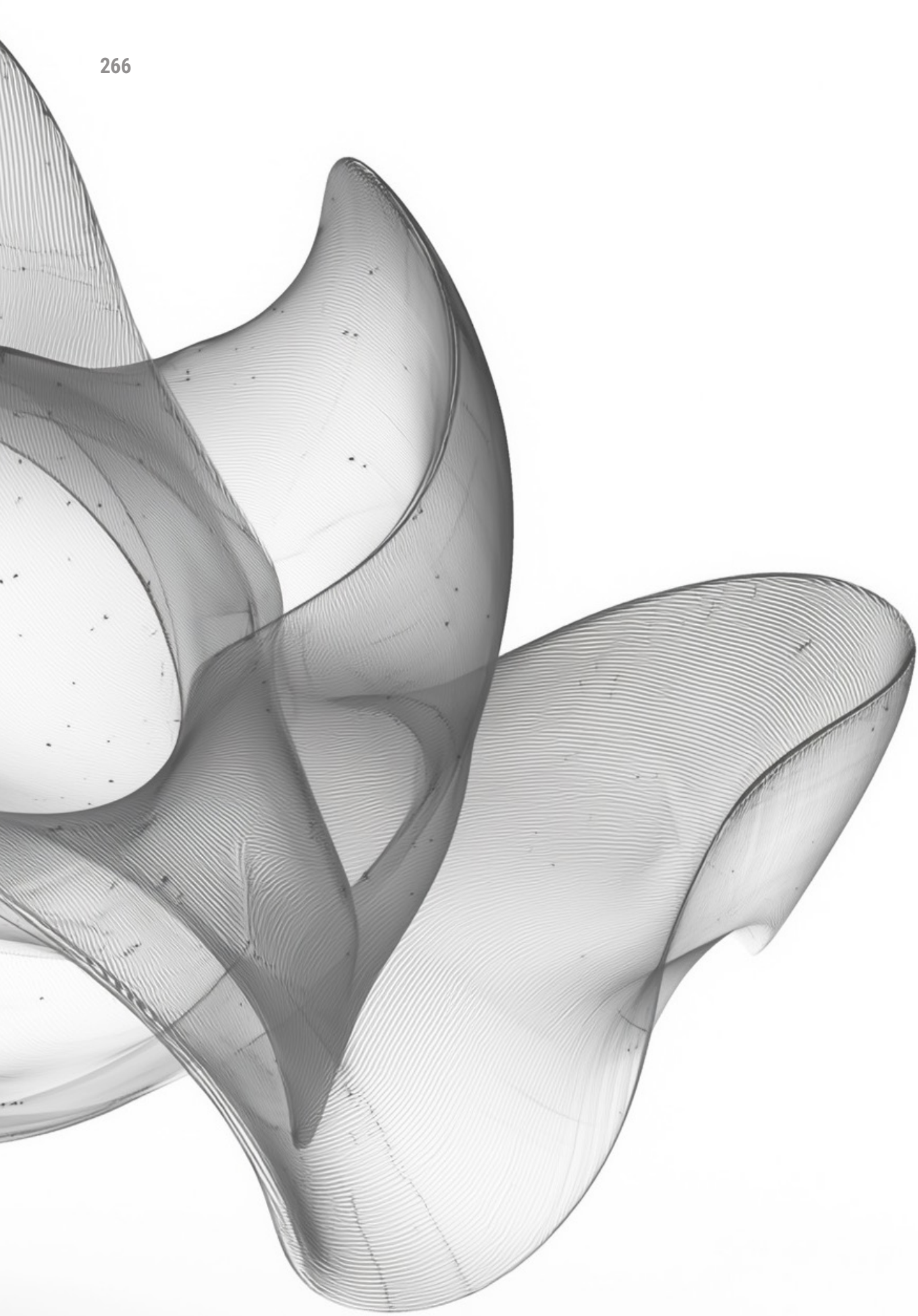


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

3.2 SFIDE E OPPORTUNITÀ DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA

L'introduzione del Cap. 3 ha già posto il rapporto fra il Cap. 3.1 e il Cap. 3.2 con la distanza critica necessaria per valutarne le implicazioni, misurarne i limiti e leggerne le traiettorie di sviluppo.

Il titolo della presente sezione — *Sfide e opportunità* — non è una formula retorica di bilanciamento fra lodi e critiche: descrive una struttura epistemologica reale. Le sfide non sono ostacoli esterni alla metodologia ma tensioni interne ad essa, che emergono proprio dall'uso consapevole degli strumenti e che nessun aggiornamento tecnologico potrà eliminare definitivamente.

Le opportunità non sono promesse di un futuro migliore ma possibilità già in atto, verificabili rispetto alle sperimentazioni documentate, che richiedono di essere lette criticamente per essere attivate produttivamente.

Sfide e opportunità coabitano negli stessi strumenti, nelle stesse procedure, nelle stesse scelte: il modello *LoRA* addestrato su un *corpus* curatoriale è insieme un atto di controllo autoriale e una risposta parziale al problema dell'omologazione estetica dei modelli generalisti; il *workflow ChatGPT-GHPython-Grasshopper* è insieme una via di accessibilità al *design* computazionale e un sistema che dipende da infrastrutture proprietarie soggette a modifiche unilaterali; la *pipeline NeRF* di *Luma AI* offre qualità visiva superiore alla *mesh Meshy AI* ma confina la rappresentazione nella sfera della visualizzazione, rinunciando alla manipolabilità tecnica.

Tenere insieme queste dimensioni senza risolverle artificialmente in una sintesi rassicurante è il compito di questa sezione. La sezione si articola in tre sottosezioni che non affrontano tre argomenti separati ma guardano il medesimo oggetto — la metodologia sperimentata nel Cap.

3.1 — da tre angolature distinte e complementari.

La prima — *Aspetti etici e implicazioni dell'IA nei contesti culturali* (Cap. 3.2.1) — interroga le dimensioni valoriali dell'uso degli strumenti generativi: autorialità, *copyright*, omologazione dell'immaginario, responsabilità culturale verso il patrimonio rappresentato, costo ambientale del calcolo.

La seconda — *Limiti tecnologici* (Cap. 3.2.2) — documenta i vincoli tecnici incontrati concretamente nel corso della sperimentazione, distinguendo fra limiti contingenti (superabili con l'evoluzione degli strumenti) e limiti strutturali (che appartengono alla logica profonda dei sistemi generativi e che nessun aggiornamento *software* potrà risolvere).

La terza — *Prospettive di sviluppo* (Cap. 3.2.3) — legge le traiettorie evolutive in atto — dai sistemi di *spatial intelligence* ai nuovi modelli di generazione 3D nativa, dagli strumenti dedicati all'architettura ai *framework* integrati — non come catalogo di novità tecnologiche ma come mappa delle direzioni in cui la metodologia proposta potrà essere estesa, verificata e aggiornata nelle ricerche successive.

Il legame fra questa sezione e la precedente è di derivazione diretta: le riflessioni che seguono non valgono in generale per l'IA generativa ma specificamente per la metodologia qui documentata, nelle condizioni tecniche e culturali in cui è stata praticata. Non è una limitazione ma una garanzia di rigore. Affermazioni generali sull'etica dell'IA o sui limiti dei modelli generativi si trovano in abbondanza nella letteratura recente; ciò che questa sezione può offrire di specifico è la verifica di quelle affermazioni generali rispetto a un caso concreto, documentato nei dettagli tecnici e nelle scelte operative.

È la differenza fra la teoria dell'errore e il registro degli errori commessi: entrambi utili, ma il secondo irreplicabile senza l'esperienza diretta che lo ha prodotto.

La posizione che emerge dalla lettura congiunta delle tre sottosezioni non è né quella dell'entusiasmo acritico — che celebra l'IA generativa come strumento di liberazione creativa senza interrogarne le implicazioni — né quella del conservatorismo difensivo — che teme l'automazione come minaccia all'autorialità. È una posizione di uso consapevole e documentato, che riconosce nella macchina un agente dotato di proprie disposizioni statistiche senza per questo cedere il giudizio critico sugli *output*, e che accetta i limiti degli strumenti come condizione di specificazione della ricerca anziché come suo indebolimento.

Queste non sono dichiarazioni di principio astratte: sono le stesse scelte che hanno orientato la sperimentazione del Cap. 3.1 e che questa sezione porta alla luce come fondamento metodologico esplicito.

Il processo di costruzione del *corpus LoRA* era già un atto di posizionamento culturale; la scelta di documentare sistematicamente ogni dialogo conversazionale con *ChatGPT* era già un impegno alla trasparenza; la decisione di affiancare la *pipeline mesh Meshy AI* con la *pipeline NeRF* di *Luma AI* era già una risposta alla necessità di distinguere fra ciò che si conforma e ciò che si rappresenta, fra l'utilità tecnica e la qualità comunicativa di uno spazio virtuale. Il Cap. 3.2 non introduce una nuova prospettiva sulla metodologia: la rende esplicita, la argomenta, la confronta con il dibattito più ampio.

3.2.1 ASPETTI ETICI E IMPLICAZIONI DELL'IA NEI CONTESTI CULTURALI

Nel discorso pubblico e accademico sull'intelligenza artificiale, le questioni etiche occupano troppo spesso una posizione supplementare rispetto a quelle tecniche: si discute di cosa può fare l'IA, di come la si implementa, di quanto velocemente si sviluppa, e soltanto in un secondo momento ci si interroga sul cosa significa, su chi serve, su

quali valori incorpora e quali esclude. Questa sequenza non è neutrale: riflette una gerarchia implicita in cui il primato tecnico precede la riflessione critica, relegando l'etica al ruolo di correttivo postumo di processi già avviati e in larga misura irreversibili.

La presente sezione intende invertire questa sequenza — o almeno disturbarla: il momento etico non viene dopo il momento tecnico, ma lo abita dall'interno. Le scelte compiute nei *workflow* documentati nei capitoli precedenti — quali *prompt* costruire, quale *corpus* selezionare per il *training* LoRA, quale parametro esporre all'intervento del *designer*, quale *output* accettare e quale scartare — sono già scelte etiche prima ancora di essere scelte estetiche o funzionali. La domanda 'è giusto?' non segue la domanda 'è possibile?' ma le è simultanea, e ignorare questa simultaneità significa ridurre la pratica progettuale a esecuzione tecnica, svuotandola di quella responsabilità che la distingue dal semplice calcolo. Questa posizione non è estranea alla cultura architettonica: al contrario, è inscritta nel suo fondamento disciplinare.

Autorialità e co-produzione asimmetrica

Fra le questioni etiche sollevate dall'intelligenza artificiale generativa in architettura, quella dell'autorialità è la più immediata e la più complessa. Quando *Midjourney* produce un'immagine a partire da un *prompt* testuale, quando *ChatGPT* genera codice *GHPython*, quando il modello LoRA addestrato sul *corpus* di immagini *Midjourney* produce varianti morfologiche inedite — chi è l'autore di ciò che emerge?

La risposta intuitiva — *il designer che ha formulato il prompt, costruito il corpus, guidato il dialogo conversazionale* — è corretta ma insufficiente, perché trascura l'apporto strutturante del sistema generativo, che non è uno strumento passivo ma un agente dotato di proprie

disposizioni statistiche, proprie tendenze formali, proprie gerarchie implicite di valore estetico.

La risposta opposta — *l'IA è l'autore, il designer ne è soltanto l'utente* — è egualmente insufficiente e in larga misura fuorviante, perché dissolve la responsabilità progettuale in un'entità che non ha intenzionalità né coscienza, che non risponde delle proprie generazioni perché non può essere interpellata.

La via percorsa da questa ricerca propone un terzo modello: né autorialità piena né abdicazione dell'autorialità, ma co-progettazione asimmetrica in cui il *designer* conserva il giudizio e il sistema esercita la generazione.

In questo modello, l'autore è colui che seleziona, che scarta, che combina, che decide quando fermarsi: non chi inizia il processo ma chi lo orienta e lo conclude.

Questa definizione ha tre implicazioni etiche precise.

Primo: il *designer* non può scaricare sulla macchina la responsabilità degli *output*: ogni immagine pubblicata, ogni geometria consegnata, ogni spazio virtuale abitabile porta il marchio di una scelta umana che l'ha selezionata fra le alternative disponibili.

Secondo: il *designer* ha il dovere di comprendere sufficientemente il funzionamento del sistema generativo da poter valutare criticamente i propri *output*, non necessariamente nei dettagli tecnici ma nelle sue tendenze strutturali, nei suoi *bias*, nelle sue limitazioni costitutive.

Terzo: la documentazione del processo, come questa ricerca si propone di fare attraverso la trascrizione dei dialoghi uomo-IA, la registrazione dei parametri, la descrizione dei criteri di selezione, non è opzionale ma obbligatoria: è la condizione che rende verificabile, e quindi eticamente responsabile, una pratica progettuale che altrimenti rimarrebbe opaca.

Sul piano giuridico, la questione dell'autorialità ha risvolti concreti e ancora largamente irrisolti. La legislazione sul

diritto d'autore — dalla Convenzione di Berna alle normative nazionali contemporanee — presuppone un autore umano identificabile come condizione necessaria per la protezione dell'opera.

Le opere generate autonomamente da sistemi di IA non sono, nella maggior parte degli ordinamenti giuridici attuali, protette da *copyright*: appartengono al dominio pubblico o rientrano in zone grigie normative in cui nessuna delle parti — né il *developer* del sistema, né l'utente che formula il *prompt*, né l'entità giuridica che possiede l'infrastruttura — possiede titoli certi di proprietà intellettuale[1].

Per una ricerca che produce *output* architettonici attraverso *workflow* IA — immagini, geometrie, spazi virtuali — questa incertezza non è astratta: significa che il lavoro sperimentale documentato nei capitoli precedenti opera in un contesto normativo instabile, in cui i diritti sugli *output* potrebbero essere rivendicati, contestati o semplicemente negati da soggetti terzi.

La consapevolezza di questa instabilità non è un freno all'utilizzo degli strumenti ma una ragione in più per documentarne l'uso con rigore, mantenendo traccia del contributo autoriale umano in ogni fase del processo.

Dati di addestramento, scraping e distinzione etica del first-party data

La questione dell'autorialità si intreccia indissolubilmente con una questione più profonda e sistemicamente più grave: quella dei dati su cui i modelli generativi vengono addestrati. *Midjourney*, *Stable Diffusion*, *DALL-E*, *ChatGPT* sono sistemi che hanno acquisito le proprie capacità generative attraverso l'addestramento su *corpora* di dimensioni astronomiche raccolti attraverso operazioni di *scraping* massiccio del

1 Per una panoramica del dibattito giuridico in corso sul diritto d'autore e l'intelligenza artificiale generativa cfr. J. Grimmelmann, *Copyright for Literate Robots*, in «Iowa Law Review», vol. 101, 2016, pp. 657-681. Per gli sviluppi più recenti si rimanda al documento dell'U.S. Copyright Office, *Copyright and Artificial Intelligence, Part 1: Digital Replicas*, Washington D.C., 2024.

web, largamente senza il consenso degli autori delle opere incluse nei *dataset*.

Questa pratica — tecnicamente possibile, giuridicamente controversa, eticamente problematica — ha già dato luogo a procedimenti legali significativi: nel 2023 un gruppo di artisti ha intentato causa a *Stability* AI, *Midjourney* e *DeviantArt* contestando l'uso non autorizzato delle proprie opere nei *dataset* di addestramento[2]; la società *Getty Images* ha avviato un procedimento contro *Stability AI* per l'utilizzo di oltre dodici milioni di immagini protette da *copyright* nel *training* di *Stable Diffusion*.

Questi procedimenti non hanno ancora trovato risoluzione definitiva negli ordinamenti giuridici — il diritto si muove strutturalmente più lento della tecnologia — ma segnalano con chiarezza l'esistenza di un conflitto reale fra il modello economico dell'IA generativa commerciale e i diritti dei produttori di contenuto creativo.

Per una ricerca che utilizza questi strumenti, ignorare questo conflitto sarebbe una scelta eticamente incoerente con le premesse dichiarate. L'uso di *Midjourney* nelle sperimentazioni del Cap. 3.1.1 e l'uso di *Stable Diffusion* nel *training* LoRA del Cap. 3.1.2 non sono atti neutrali: si inseriscono in un ecosistema economico e normativo che ha costruito le proprie capacità generative su un'estrazione di valore non compensata dal lavoro creativo altrui.

Questo non significa che l'uso di tali strumenti sia ingiustificabile: la ricerca scientifica e didattica opera necessariamente con gli strumenti disponibili nel proprio tempo storico, e rinunciare all'utilizzo critico dell'IA generativa sarebbe un atto di sterilità metodologica. Significa piuttosto che tale uso deve essere accompagnato da consapevolezza esplicita delle proprie implicazioni

---

2 *Andersen et al. v. Stability AI Ltd. et al.*, United States District Court for the Northern District of California, Case No. 3:23-cv-00201, 2023. La causa, presentata da Sarah Andersen, Kelly McKernan e Karla Ortiz, contesta l'inclusione di opere degli artisti nei *dataset* di addestramento di *Stable Diffusion*, *Midjourney* e *DreamUp* senza consenso né compenso.

sistemiche, da trasparenza sulla natura degli strumenti impiegati, e da un impegno verso modelli alternativi di sviluppo che rispettino i diritti dei produttori di contenuto.
Va sottolineato che non tutte le pratiche di addestramento sono equivalenti dal punto di vista etico: il *training* LoRA documentato nel Cap. 3.1.2 differisce strutturalmente dalle pratiche di *scraping* massivo dei grandi modelli commerciali. Il *corpus* di 128 immagini è stato generato direttamente dall'autore della ricerca attraverso *Midjourney*, costituendo un *dataset* di *first-party data* in cui la questione del consenso non si pone rispetto a opere di terzi.
Questa distinzione è significativa: non risolve il problema a monte — le immagini *Midjourney* sono a loro volta generate da un sistema addestrato su opere altrui — ma introduce un livello intermedio di controllo curatoriale e di responsabilità che avvicina la pratica al modello della 'delega consapevole' e la allontana dall'estrattivismo impersonale dello *scraping* industriale.

Omologazione dell'immaginario e bias estetici

Un secondo ordine di problemi etici, meno immediatamente legale ma forse più profondamente rilevante per la pratica architettonica, riguarda la tendenza strutturale dei modelli generativi addestrati su grandi *corpora* verso ciò che è statisticamente più frequente, e quindi verso una forma di omologazione dell'immaginario che opera in modo tanto più insidioso quanto più è invisibile.
Un modello come *Midjourney*, addestrato su miliardi di immagini raccolte dal *web*, ha interiorizzato le distribuzioni statistiche dell'estetica digitale disponibile *online*: le forme che vengono generate con maggiore frequenza e qualità sono quelle che nel *training set* erano maggiormente rappresentate, corrispondenti alle estetiche dominanti della comunicazione visiva contemporanea: *render* architettonici parametrici di derivazione Zaha Hadid, spazi futuristici

mutuati dall'immaginario videoludico, ambienti immersivi che riproducono i cliché visivi dell'arte digitale *mainstream*. Le architetture vernacolari, le estetiche minoritarie, le sperimentazioni formali che non hanno trovato ampia circolazione sui canali di distribuzione digitale sono strutturalmente sottorappresentate, e quindi tendenzialmente invisibili agli occhi del sistema generativo. Applicata alla generazione di immagini architettoniche, questa logica produce *output* che tendono verso una norma estetica ma che faticano a uscire dai confini di ciò che è già stato immaginato e diffusamente circolato.

Il rischio non è la bruttezza degli *output* ma la loro prevedibilità: una prevedibilità tanto più pericolosa quanto più si maschera sotto l'apparenza della varietà, migliaia di varianti diverse, tutte esteticamente convincenti, tutte appartenenti al medesimo spazio morfologico dominante.

Per un progetto come il [vIrtuAl museum], che si propone di costruire spazi per il patrimonio culturale intangibile, questo rischio assume una concretezza particolare.

Il sistema generativo addestrato sulla globalità dell'estetica digitale disponibile *online* tende a produrre spazi che appartengono a un immaginario sovranazionale e decontestualizzato, lontano dalle specificità morfologiche, cromatiche e atmosferiche dei luoghi e delle opere che il museo virtuale intende ospitare.

La selezione curatoriale che questa ricerca ha praticato sistematicamente — nella costruzione del *corpus* LoRA, nella selezione delle varianti *Midjourney*, nella definizione dei parametri *GHPython* — non è soltanto una scelta estetica ma una scelta etica: resistere alla deriva verso la media statistica, preservare la specificità del caso di studio, rivendicare la differenza locale contro l'omologazione globale[3].

---

3 Cfr. Cap. 3.1.2, Cap. 3.1.2.2 (*Costruzione del corpus e preparazione del dataset*): la decisione di costruire un *dataset* di *first-party data* e di variare sistematicamente angolazioni e materiali risponde non soltanto a esigenze tecniche ma all'obiettivo etico di preservare il controllo curatoriale sul linguaggio visivo del progetto.

Responsabilità culturale e 'colonialismo algoritmico'

Le questioni etiche dell'IA generativa assumono una valenza peculiare quando il contesto di applicazione è quello culturale e museale, in cui la responsabilità dell'istituzione nei confronti del patrimonio che conserva e rappresenta aggiunge un livello di complessità che non si riscontra in contesti commerciali o puramente sperimentali.

Il museo, anche nella sua forma virtuale, non è un laboratorio neutro dove le tecnologie possono essere sperimentate liberamente: è un'istituzione che porta su di sé una funzione pubblica, che opera in nome di una comunità e nei confronti di un patrimonio che appartiene a quella comunità, e che risponde di fronte a essa delle scelte rappresentative che compie.

Con quali criteri vengono selezionate le opere che entrano nel catalogo delle 112 schede? Chi decide quali aspetti del patrimonio intangibile sono degni di documentazione e quali no? E, più specificamente in relazione all'IA: quando un sistema generativo produce un'interpretazione tridimensionale di un'opera effimera, quella interpretazione è una documentazione fedele, una ricostruzione ipotetica o una creazione originale? La distinzione non è accademica: ha implicazioni dirette sulla credibilità scientifica del museo virtuale e sul rispetto verso gli artisti rappresentati.

Il problema si amplia ulteriormente quando si considera il rischio di ciò che alcuni studiosi di intelligenza artificiale e decolonialismo digitale hanno denominato 'colonialismo algoritmico'[4]: la tendenza dei sistemi di IA addestrati prevalentemente su dati provenienti da contesti nordamericani ed europei a riprodurre, nelle proprie

4 Il concetto di 'colonialismo algoritmico' è sviluppato in N. Couldry, U. A. Mejias, *The Costs of Connection. How Data Is Colonizing Human Life and Appropriating It for Capitalism*, Stanford University Press, Stanford 2019, e in S. U. Noble, *Algorithms of Oppression. How Search Engines Reinforce Racism*, New York University Press, New York 2018. Per le implicazioni nel campo del patrimonio culturale digitale cfr. anche R. Risam, *New Digital Worlds. Postcolonial Digital Humanities in Theory, Praxis, and Pedagogy*, Northwestern University Press, Evanston 2018.

generazioni, le categorie estetiche, i valori culturali e le gerarchie simboliche di quei contesti, marginalizzando o distorcendo le espressioni culturali che non appartengono a tali tradizioni dominanti.

Per un museo virtuale che si propone di conservare il patrimonio intangibile di specifiche culture locali, questo rischio non è teorico. I modelli generativi commerciali non sono strumenti culturalmente neutri: sono il prodotto di scelte di *training*, di architetture di sistema, di filosofie di *design* sviluppate in contesti culturali specifici, e portano su di sé le tracce di quelle specificità anche quando pretendono di essere universali. La risposta metodologica che questa ricerca propone — non come soluzione definitiva ma come orientamento pratico — è quella della curatela intenzionale: ogni scelta di sistema, ogni *dataset*, ogni *prompt*, ogni parametro deve essere motivato rispetto agli obiettivi culturali del progetto e non semplicemente adottato perché tecnicamente disponibile o esteticamente soddisfacente.

Il museo virtuale non può limitarsi a usare l'IA come si usa un motore di *rendering* ma deve costruire un rapporto critico con i propri strumenti, documentando le scelte e i loro fondamenti, rendendo trasparente il processo anche ai propri pubblici[5].

Il costo ambientale dell'IA generativa

Fra le implicazioni etiche dell'IA generativa, quella ambientale è forse la meno discussa nei contesti architettonici e museali, e al tempo stesso la più concretamente misurabile. L'architettura virtuale si presenta spesso come una pratica intrinsecamente sostenibile, ma questa narrazione trascura la materialità dell'infrastruttura computazionale che la rende possibile: i *data center* che ospitano i sistemi di

5 Cfr. G. Caffio, M. Unali, F. Zollo, *Three Parametric Spaces Shaped by AI for the Extension of the Virtual Museum of Intangible Cultural Heritage*, in «SCIRES-IT», Vol. 15, n. 2, 2025, p. 186: la trasparenza del processo e il controllo curatoriale come criteri metodologici che orientano tutte le scelte operative della ricerca sul VMEA.

IA generativa, le *GPU* che eseguono i calcoli, i sistemi di raffreddamento che li mantengono operativi, le catene di approvvigionamento di terre rare che producono i *chip* necessari al loro funzionamento.

Il *training* di modelli di linguaggio di grandi dimensioni — come quelli su cui si basa *ChatGPT* — richiede quantità di energia che i ricercatori nel campo dell'IA e della sostenibilità digitale hanno stimato essere equivalenti al consumo di centinaia di famiglie per periodi prolungati, con emissioni di carbonio associate che non trovano corrispondenza nella modestia apparente dell'interfaccia testuale attraverso cui l'utente accede al sistema[6].

Il *training* di *Stable Diffusion* — il modello su cui si basa il processo *LoRA* documentato nel Cap. 3.1.2 — ha richiesto a sua volta risorse computazionali significative, anche se inferiori rispetto ai grandi modelli linguistici. Il *fine-tuning* locale eseguito in questa ricerca su *GPU RTX* 4050 con 6 GB di *VRAM* ha un impatto energetico individuale contenuto — circa tre ore di elaborazione *GPU* — ma questo calcolo locale si innesta su un'infrastruttura di pre-addestramento il cui costo ambientale è già stato sostenuto e non è reversibile.

Va osservato che la questione ambientale dell'IA non è riducibile al solo consumo energetico del *training*, che rappresenta un costo fisso distribuibile su milioni di utilizzi: il consumo per inferenza — ogni *query* a *ChatGPT*, ogni generazione di immagini su *Midjourney*, ogni chiamata *API* durante un *workflow* progettuale — ha un costo marginale basso ma non nullo, e la scala di utilizzo globale di questi sistemi produce aggregati energetici rilevanti.

Studi recenti sul consumo idrico dei *data center*, necessario per il raffreddamento dei sistemi di calcolo ad alte prestazioni,

---

6 Cfr. E. Strubell, A. Ganesh, A. McCallum, *Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP*, in *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 2019, pp. 3645-3650: uno dei primi studi sistematici sul costo energetico del *training* di modelli linguistici di grandi dimensioni, con stime che hanno avviato il dibattito accademico sulla sostenibilità ambientale dell'IA.

aggiungono una dimensione ulteriore alla questione della sostenibilità dell'IA, particolarmente rilevante in regioni già soggette a stress idrico[7].

Queste considerazioni non portano alla conclusione che l'uso dell'IA generativa in architettura sia insostenibile o da abbandonare, portano piuttosto alla necessità di una calibrazione intenzionale dell'uso: privilegiare, dove possibile, modelli *open-source* eseguibili localmente rispetto ad API *cloud* di grandi *provider*; condurre sperimentazioni intensive in fasi concentrate anziché in iterazioni continue e dispersive; documentare il consumo computazionale come parte integrante della documentazione metodologica, rendendolo visibile anziché trattarlo come costo invisibile e irrilevante.

Quattro principi operativi per un uso critico e responsabile

Le questioni affrontate nelle sezioni precedenti — autorialità, *copyright*, omologazione estetica, responsabilità culturale, impatto ambientale — non trovano soluzioni semplici né definitive.

L'intelligenza artificiale generativa è uno strumento potente, strutturalmente ambiguo, eticamente complesso, e nessuna dichiarazione di principio è sufficiente a neutralizzarne le implicazioni o a risolverne le contraddizioni. Ciò che questa ricerca propone non è una soluzione al problema etico dell'IA ma un orientamento pratico verso un uso critico e responsabile, fondato su quattro principi operativi che emergono dall'esperienza documentata nei capitoli precedenti.

Il primo è la trasparenza del processo. Ogni sperimentazione condotta in questa ricerca documenta gli strumenti utilizzati, i parametri configurati, i criteri di selezione adottati, i

7 Cfr. S. Luccioni, Y. Jernite, E. Strubell, …, in *Proceedings of the 2024 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '24)*, pp. 85-99. Per il consumo idrico dei *data center* cfr. anche P. Li et al, *Making AI Less 'Thirsty': Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models*, arXiv:2304.03271, 2023.

dialoghi conversazionali uomo-IA che hanno orientato la generazione. Questa documentazione è la condizione che rende l'*output* verificabile, che distingue la ricerca scientifica dalla produzione commerciale, che permette ad altri ricercatori di riprodurre, criticare e migliorare i risultati.

Dichiarare esplicitamente che una geometria è stata generata da *ChatGPT* attraverso il *workflow GHPython*, che un'immagine proviene da *Midjourney* attraverso un processo iterativo di selezione, è eticamente differente dal presentarla come *output* di un processo progettuale tradizionale, indipendentemente dalla qualità estetica del risultato[8].

Il secondo principio è la conservazione del giudizio critico umano in ogni fase del processo. Il *designer* che usa l'IA generativa non può limitarsi ad accettare il primo *output* soddisfacente, né può delegare al sistema la valutazione della propria adeguatezza rispetto agli obiettivi del progetto. Deve selezionare, combinare, scartare, iterare, e saper giustificare ogni scelta in termini che trascendono la valutazione estetica immediata: in termini di coerenza con gli obiettivi culturali del museo virtuale, di rispetto verso le opere rappresentate, di fedeltà all'identità morfologica del contesto.

Il giudizio critico non è un supplemento opzionale della pratica progettuale con IA: è la condizione che la distingue dall'automazione e che mantiene la responsabilità dell'autore sul proprio lavoro.

Il terzo principio è il posizionamento culturale esplicito. Usare strumenti di IA generativa in un contesto culturale specifico richiede che il *designer* sia consapevole dei limiti culturali del sistema generativo che utilizza e intervenga

8 Questa posizione di trasparenza è coerente con le pratiche di documentazione sviluppate nei Cap. 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3, in cui ogni dialogo uomo-IA, ogni parametro configurato, ogni criterio di selezione è registrato e motivato. La trasparenza metodologica come condizione della riproducibilità scientifica e della responsabilità autoriale è anche il principio che orienta la struttura della documentazione allegata (cfr. Appendici B, C).

attivamente per compensarli. La curatela del *corpus* LoRA, la specificità dei *prompt*, la selezione delle varianti morfologicamente più adeguate al contesto sono tutte forme di questo posizionamento attivo, che resiste alla deriva verso l'universalismo anonimo della media statistica e rivendica la particolarità del caso come valore, non come deficit.

Il quarto principio — che questa ricerca segnala come orientamento futuro oltre la propria sperimentazione — è la partecipazione alle discussioni disciplinari e normative in corso sull'etica dell'IA.

Architetti, *designer* e ricercatori che usano questi strumenti hanno non soltanto il diritto ma il dovere di contribuire ai dibattiti sui *framework* regolatori in fase di costruzione: dall'AI Act europeo alle normative nazionali sul *copyright*, alle linee guida deontologiche delle associazioni professionali.

Il museo virtuale ha una responsabilità particolare in questo senso: non può limitarsi ad adottare le tecnologie disponibili ma deve contribuire a definire i termini etici del loro utilizzo nei contesti culturali.

In conclusione: l'intelligenza artificiale generativa non è né lo strumento della liberazione creativa che i suoi sostenitori più entusiasti proclamano, né il pericolo esistenziale che i suoi detrattori più apocalittici denunciano. È uno strumento potente, parziale, culturalmente situato, eticamente complesso, che pone a chi lo usa responsabilità proporzionate alla sua potenza.

La posizione di questa ricerca è che tali responsabilità non giustificano né il rifiuto né l'adozione acritica, ma richiedono precisamente il tipo di uso consapevole, documentato, criticamente orientato che i capitoli precedenti hanno cercato di praticare e che questa sezione ha cercato di fondare teoricamente.

3.2.2 LIMITI TECNOLOGICI

La documentazione sistematica dei limiti tecnologici incontrati nel corso di una ricerca sperimentale non è un atto di trasparenza supplementare aggiunto per correttezza accademica a valle di risultati altrimenti positivi: è parte costitutiva del metodo scientifico stesso, e la sua assenza segnala non la perfezione del processo ma la sua opacità. Nei capitoli precedenti la sperimentazione con strumenti di intelligenza artificiale generativa — dai *workflow text-to-image-to-video-to-3D* al *fine-tuning* LoRA, dall'integrazione *GHPython* all'uso di *Meshy AI* e *Luma AI* per la ricostruzione tridimensionale — ha prodotto risultati documentati e analizzati criticamente.

Quei risultati, tuttavia, sono stati ottenuti attraverso un confronto continuo con vincoli tecnici reali che hanno orientato ogni scelta metodologica: la selezione degli strumenti, la configurazione dei parametri, la definizione dei criteri di accettabilità degli *output*. Ignorare questi vincoli — presentare i risultati come se fossero stati ottenuti in condizioni ideali e illimitate — significherebbe falsificare la ricerca, rendendo non replicabili le procedure documentate e non trasferibili le metodologie proposte.

La presente sezione intende invece trattare i limiti tecnologici come ciò che effettivamente sono: dati epistemologici di primo ordine, che non invalidano i risultati ma ne definiscono il perimetro di validità, e che — come si argomenterà nella chiusura di questa sezione — hanno spesso orientato le scelte metodologiche più significative dell'intera ricerca.

Va premessa una distinzione concettuale che struttura l'intera sezione: quella fra limiti contingenti e limiti strutturali. I limiti contingenti sono quelli che dipendono dallo stato attuale di sviluppo tecnologico e che è ragionevole attendersi vengano superati nel breve-medio periodo: la risoluzione massima di certi modelli generativi, la velocità di inferenza, la qualità della ricostruzione 3D da

immagini singole. I limiti strutturali sono invece quelli che appartengono alla logica profonda dei sistemi generativi attuali e che non possono essere superati attraverso il solo incremento di potenza computazionale: la tendenza verso la media statistica, l'opacità dei processi generativi, l'incoerenza tridimensionale delle rappresentazioni 2D, la dipendenza da dati di addestramento che non sono mai neutri.

Questa distinzione è rilevante perché orienta diversamente la risposta metodologica: i limiti contingenti suggeriscono di attendere o di esplorare alternative tecniche; i limiti strutturali richiedono un ripensamento più profondo del rapporto fra progettista e sistema generativo, che nessun aggiornamento *software* potrà risolvere.

Limiti della generazione bidimensionale: Midjourney

Il primo ordine di limiti tecnologici incontrati nella ricerca riguarda la fase di generazione bidimensionale attraverso *Midjourney* e tocca più dimensioni del processo: la qualità morfologica degli *output*, la coerenza temporale nelle sequenze video e l'ambiguità geometrica intrinseca alla rappresentazione planare.

Sul piano morfologico, il limite fondamentale dei sistemi *text-to-image* è quello già discusso nel Cap. 3.2.1 in termini etici ma che ha anche un risvolto tecnico preciso: la distribuzione degli *output* non è uniforme nello spazio delle forme possibili ma è addensata attorno alle configurazioni statisticamente più frequenti nel *training set*. In termini pratici, questo significa che alcuni tipi di morfologia vengono generati con facilità e qualità elevata, mentre altri risultano difficili o impossibili da ottenere attraverso la sola formulazione di *prompt*, per quanto raffinata.

Le iterazioni documentate nel Cap. 3.1.1 hanno mostrato che il processo di ottimizzazione del *prompt* converge in modo asimmetrico: è relativamente semplice avvicinarsi

a morfologie già rappresentate nell'immaginario digitale disponibile, molto più difficile uscirne verso configurazioni inedite.

Un secondo limite significativo nella generazione 2D riguarda la coerenza temporale delle sequenze video prodotte da *Midjourney Animate*. La funzionalità di animazione ha dimostrato notevole efficacia per la generazione di movimenti fluidi su soggetti semplici, ma ha mostrato limitazioni rilevanti quando applicata a morfologie complesse con superfici articolate, cavità profonde o protuberanze multiple. In questi casi, il sistema tende a introdurre artefatti di *temporal incoherence*: deformazioni superficiali non fisicamente plausibili fra fotogrammi consecutivi, fluttuazioni di illuminazione che tradiscono l'assenza di un modello tridimensionale coerente sottostante, mutamenti improvvisi di configurazione morfologica che interrompono la continuità del movimento. L'utilizzo del parametro *Low Motion* nella funzionalità *Extend Video* ha mitigato parzialmente questi artefatti, ma non li ha eliminati sistematicamente[9].

Il terzo limite della fase 2D è il più strutturale e meno risolvibile: l'ambiguità geometrica intrinseca di qualsiasi rappresentazione planare. Un'immagine bidimensionale, per quanto esteticamente convincente, non determina univocamente una configurazione tridimensionale: infinite geometrie diverse sono compatibili con la medesima proiezione 2D. Questa ambiguità non è un difetto dei generatori di immagini ma una proprietà fondamentale della proiezione geometrica, e pone un limite strutturale all'accuratezza della ricostruzione 3D qualunque sia la qualità dell'immagine di partenza.

---

9 Per la documentazione tecnica della funzionalità *Extend Video* e del parametro *Low Motion* cfr. Cap. 3.1.1, Fase 3 — Animazione mediante *Midjourney Animate*. Gli artefatti di *temporal incoherence* sono stati documentati sistematicamente nelle tavole comparative allegate (Figg. 7–65), che mostrano fotogrammi consecutivi con deformazioni superficiali non fisicamente plausibili su morfologie ad alta complessità.

Limiti della ricostruzione 3D: Meshy AI

Il passaggio dalla rappresentazione bidimensionale alla geometria tridimensionale — realizzato attraverso *Meshy AI* nelle sperimentazioni del Cap. 3.1.1 — concentra alcuni dei limiti tecnologici più rilevanti per le applicazioni architettoniche avanzate. Il primo e più fondamentale è la natura opaca delle *mesh* generate: a differenza delle geometrie parametriche prodotte dal *workflow ChatGPT-GHPython-Grasshopper*, le *mesh* di *Meshy AI* sono superfici poligonali prive di struttura semantica interna, senza *layer*, senza parametri manipolabili, senza relazioni topologiche esplicite fra componenti.

Ogni modifica post-generazione richiede operazioni di *sculpting* o retopologia manuale che esigono competenze specialistiche e tempi significativi, vanificando in parte il vantaggio di velocità offerto dalla generazione automatica. La distinzione — sottolineata nel Cap. 3.1.3 come fondamento metodologico dell'approccio parametrico — fra *mesh* 'opache' e definizioni parametriche leggibili non è quindi soltanto concettuale: ha conseguenze operative dirette sulla manipolabilità degli *output* e sulla loro integrabilità in *pipeline* progettuali professionali.

Un secondo limite significativo riguarda la perdita di informazione geometrica nel processo di ricostruzione. Nonostante l'utilizzo della funzionalità *Multi-view (Beta)* di *Meshy AI*, che integra viste aggiuntive estratte dalle sequenze video per disambiguare la volumetria, le geometrie prodotte presentano sistematicamente alcune tipologie di degrado rispetto alle morfologie rappresentate nelle immagini sorgente: appiattimento delle superfici nelle zone di transizione fra convessità e concavità, perdita di dettaglio nelle cavità profonde occluse dalla vista primaria, irregolarità superficiali nelle zone a basso contrasto che compromettono la qualità della texturizzazione *PBR*.

La *pipeline* di decimazione progressiva da due milioni a

trentamila facce, necessaria per rendere la *mesh* manipolabile, introduce ulteriore perdita di dettaglio nelle zone ad alta frequenza morfologica, anche con l'algoritmo di *quadric error metrics* che minimizza l'errore di approssimazione[10].
Il terzo limite della ricostruzione 3D riguarda la compatibilità con pipeline software di modellazione 3D.
Le *mesh* generate da *Meshy AI* sono superfici approssimate, non solidi matematicamente esatti: non possono essere direttamente integrate in ambienti che richiedono modelli parametrici basati su *feature*, né utilizzate per analisi strutturali o ambientali che presuppongono rappresentazioni geometriche prive di buchi, sovrapposizioni o normali invertite. *Rhinoceros* 7 è stato utilizzato come ambiente di convergenza e verifica, eseguendo operazioni di riparazione topologica sulle *mesh* importate, ma non tutte le geometrie generate hanno superato i controlli di integrità necessari per le applicazioni più esigenti.

Limiti della ricostruzione volumetrica NeRF: Luma AI

La quinta fase del *workflow text-image-video-3D* — la ricostruzione volumetrica mediante *Neural Radiance Fields* attraverso *Luma AI*, documentata nel Cap. 3.1.1 — introduce una tipologia di *output* qualitativamente distinta dalla *mesh Meshy AI* ma con un insieme di limiti altrettanto specifici che ne definiscono il perimetro di applicabilità.
Il limite più rilevante è la non manipolabilità diretta della rappresentazione *NeRF*: una scena generata da *Luma AI* non è una geometria esplicita ma una funzione neurale approssimata, non modificabile, non misurabile, non integrabile in *pipeline* 3D con la stessa immediatezza di una *mesh* poligonale. Non è possibile applicare operazioni

10 Per i fondamenti dell'algoritmo di decimazione basato su *quadric error metrics* cfr. M. Garland, P. S. Heckbert, *Surface Simplification Using Quadric Error Metrics*, in *Proceedings of SIGGRAPH 1997*, ACM Press, New York 1997, pp. 209-216. La *pipeline* di *remeshing multi-stage* implementata in *Meshy AI* è documentata nel Cap. 3.1.1, Fase 4 — Ricostruzione 3D mediante *Meshy AI*.

booleane, estrarre sezioni planimetriche, verificare dimensioni reali o collegare la scena *NeRF* a componenti parametrici: la rappresentazione rimane confinata alla sfera della visualizzazione, senza transitare verso quella della conformazione.

Un secondo limite riguarda la qualità della ricostruzione nelle zone scarsamente coperte dalle viste di input: le aree dell'oggetto visibili solo da poche angolazioni nei video *Midjourney* — tipicamente le zone inferiori delle forme sospese in *void* — producono artefatti riconoscibili come nebbiosità volumetrica o fluttuazioni di densità nella scena *NeRF*, che degradano la qualità visiva precisamente nelle zone che le immagini *Midjourney* avevano reso più atmosfericamente ricche.

Il terzo limite è di ordine sistemico: *Luma AI* è un servizio *cloud* proprietario, il cui modello di accesso, le cui politiche di utilizzo e la cui struttura di archiviazione delle scene sono soggetti a modifiche unilaterali — la medesima fragilità istituzionale documentata per *Midjourney* e *ChatGPT*.

A differenza di *Meshy AI*, che offre *export* in formati standard (*FBX*, *OBJ*, *GLB*), le scene *NeRF* di *Luma AI* sono accessibili principalmente attraverso il portale *web* e il *link* condivisibile, con opzioni di *export* in formati non universalmente supportati dalle principali *pipeline* architettoniche.

La complementarità fra *Meshy AI* e *Luma AI* — documentata metodologicamente nel Cap. 3.1.1 come distinzione fra funzione conformativa e funzione rappresentativa — vale quindi anche nella lettura dei limiti: i due sistemi non soltanto producono *output* diversi ma falliscono in modi diversi, e la consapevolezza di entrambi i tipi di fallimento è la condizione per orchestrarli correttamente nel *workflow* complessivo.

Limiti del fine-tuning LoRA

Il processo di *fine-tuning* LoRA documentato nel Cap. 3.1.2 ha evidenziato un insieme di limiti specifici che incidono sulla qualità e sulla generalizzabilità del modello addestrato. Il più immediato è la risoluzione degli *output*: la scelta di *Stable Diffusion v1.5* come modello base — motivata dalle limitazioni *hardware* dell'infrastruttura disponibile, come si discuterà nella sottosezione successiva — vincola la generazione a immagini 512×512 *pixel*, risoluzione sufficiente per esplorazioni morfologiche preliminari ma inadeguata per applicazioni che richiedono la leggibilità di dettagli superficiali sottili, la qualità delle mappe PBR ad alta frequenza, o l'integrazione degli *output* in composizioni grafiche di formato editoriale.

Il passaggio a SDXL — che opera a 1024×1024 *pixel* con architettura significativamente più ricca — avrebbe consentito *output* qualitativamente superiori, ma richiede un minimo di 8 GB di VRAM per il *training* e 6 GB per la sola inferenza, soglie superiori a quelle disponibili nella configurazione *hardware* adottata.

Il secondo limite del *fine-tuning* riguarda la dimensione del *dataset* e il rischio di *overfitting*: con 128 immagini di *training*, il modello dispone di una base di apprendimento limitata rispetto alla complessità morfologica del linguaggio che si intende acquisire. I risultati ottenuti, documentati nel Cap. 3.1.2, Cap. 3.1.2.4 (*Valutazione degli output e test generativi*), hanno mostrato che il modello ha appreso le caratteristiche morfologiche fondamentali del *corpus* lynniano con sufficiente generalità da produrre varianti coerenti a nuovi *prompt*, senza degenerare nella pura replica degli esempi di *training*.

L'analisi comparativa dei *checkpoint* intermedi ha però evidenziato segnali di *overfitting* parziale nelle *epochs* finali: alcune configurazioni di *prompt* producevano *output* eccessivamente simili a specifiche immagini del *dataset*,

perdendo la capacità di ricombinazione creativa che caratterizza un modello adeguatamente generalizzato. La scelta di mantenere il *training* a dieci *epochs*, anziché prolungarlo fino a convergenza completa della *loss function*, risponde precisamente a questo rischio[11].

Il terzo limite è strutturalmente il più profondo: l'incoerenza tridimensionale degli *output*. Il modello *LoRA* addestrato su immagini bidimensionali apprende relazioni statistiche fra *pixel*, non strutture geometriche tridimensionali: ogni generazione è una proiezione 2D indipendente, non la proiezione di un volume coerente.

Due generazioni dello stesso *prompt* da angolazioni diverse producono viste non necessariamente compatibili con un unico solido tridimensionale — limite strutturale che non è superabile attraverso l'incremento del *dataset* o il miglioramento dei parametri di *training* ma richiede architetture generative 3D-native fondamentalmente diverse.

Limiti imposti dall'hardware consumer

Un insieme di limiti che merita trattazione autonoma è quello imposto dall'infrastruttura *hardware* su cui l'intera ricerca è stata condotta: un sistema *consumer* con *GPU NVIDIA RTX 4050* da 6 GB di VRAM, processore *Intel Core i7* di dodicesima generazione, 16 GB di *RAM DDR5*. Questa configurazione — rappresentativa della fascia medio-alta dell'*hardware* personale disponibile nel 2024 — è stata scelta deliberatamente come banco di prova per una metodologia che aspira alla replicabilità accessibile: dimostrare che le sperimentazioni documentate sono praticabili da ricercatori e professionisti privi di accesso a *cluster* computazionali

11 L'analisi comparativa dei *checkpoint* intermedi del *training LoRA* — salvati ogni due *epochs* secondo la configurazione documentata nel Cap. 3.1.2 — ha evidenziato il picco qualitativo fra l'*epoch* 6 e l'*epoch* 8, con segnali di *overfitting* parziale nelle *epochs* 9-10. Il modello finale (last. safetensors, *epoch* 10) è stato mantenuto come riferimento principale per la documentazione dei risultati, ma il *checkpoint* dell'*epoch* 8 ha prodotto in alcuni test *output* morfologicamente più vari.

specializzati o a *budget* per infrastrutture *cloud* di fascia alta. Questa scelta ha un valore metodologico preciso ma comporta un insieme di tetti tecnici concreti che hanno condizionato ogni fase del lavoro sperimentale.

Il tetto più pervasivo è la VRAM disponibile: 6 GB costituiscono il limite inferiore praticabile per operazioni di *fine-tuning* con *Stable Diffusion v1.5* in modalità *fp16* con *batch size* 1, e risultano insufficienti per modelli di risoluzione superiore come SDXL, per *training* con *batch size* maggiori di 1, o per l'esecuzione simultanea di inferenza e *training*.

Ogni parametro di configurazione documentato nel Cap. 3.1.2 — la scelta di *SD v1.5*, l'ottimizzatore *AdamW8bit*, la precisione mista *fp16*, il *batch size* unitario — è una risposta diretta a questo vincolo. Il condizionamento *hardware* si estende oltre la fase di *fine-tuning* e investe l'intera catena del *workflow* sperimentale.

Nel contesto dell'integrazione *GHPython*, la generazione di geometrie dense — attrattori di Lorenz con 10.000 passi di integrazione, nuvole di punti con migliaia di cubi istanziati, superfici *sweep* con cinquanta sezioni trasversali e cinque *layer* di modulazione morfologica — produce carichi computazionali che rallentano significativamente il *feedback* interattivo di *Grasshopper* su *hardware consumer*. Il tempo di ricalcolo del *canvas*, che su *workstation* professionali con GPU dedicate avviene in frazioni di secondo, può estendersi a diversi secondi su *laptop*: un ritardo che interrompe il flusso cognitivo dell'esplorazione parametrica e scoraggia l'iterazione rapida.

La soluzione adottata — disabilitare il ricalcolo automatico e procedere per *step* manuali espliciti — è un adattamento metodologico diretto al limite *hardware*, che ha modificato la natura stessa del processo esplorativo da continuo a discreto[12].

---

12 La distinzione fra esplorazione parametrica continua e discreta, e le sue implicazioni cognitive sul processo progettuale, è discussa in D. Schön, G. Wiggins, *Kinds of Seeing and*

Il confronto con ciò che le medesime procedure avrebbero consentito su infrastrutture *cloud* o *workstation* professionali con GPU A100 o H100 — dove il *fine-tuning* LoRA si esegue in minuti anziché in ore, SDXL è accessibile come modello base, *Grasshopper* gestisce geometrie di milioni di poligoni con latenza nulla — non è un'autocritica ma una delimitazione onesta del perimetro sperimentale.
Ciò che è stato dimostrato è che la metodologia è praticabile su *hardware consumer*; ciò che non è stato dimostrato, e che ricerche future con accesso a infrastrutture più potenti potranno verificare, è fino a quale punto di qualità e complessità la metodologia può essere spinta quando il vincolo *hardware* viene rimosso.

Limiti dell'integrazione GHPython

L'integrazione fra *Large Language Models* e l'ambiente *GHPython* di *Grasshopper* ha rivelato un insieme di limiti tecnici specifici che merita documentazione dettagliata — sia perché concreti nell'esperienza di ricerca, sia perché istruttivi sulle frizioni strutturali fra l'ecosistema *Python* moderno e l'ambiente di *scripting* di *Grasshopper*. Il primo e più impattante di questi limiti è l'incompatibilità di *GHPython* con le librerie scientifiche *Python* di uso comune.
GHPython esegue codice attraverso l'interprete *IronPython* 2.7 — un'implementazione *Python* basata su *.NET Framework*, non *CPython* — che non supporta le librerie *C-based* come *NumPy*, *SciPy*, *Pandas* o *Matplotlib*. Queste librerie, che *ChatGPT* e *Claude* utilizzano sistematicamente nelle proprie soluzioni di *default* per l'implementazione di sistemi dinamici, calcolo numerico e visualizzazione scientifica, diventano inutilizzabili nell'ambiente *GHPython* senza conversione esplicita.
Questa incompatibilità ha generato nelle prime iterazioni

Their Functions in Designing, in «Design Studies», vol. 13, n. 2, 1992, pp. 135-156.

del dialogo con *ChatGPT* una serie di errori di importazione (ModuleNotFoundError: No module named 'numpy') che hanno richiesto cicli aggiuntivi di dialogo conversazionale per riformulare le soluzioni in *Python* puro, senza dipendenze esterne[13].

La conversione da implementazioni *NumPy* a implementazioni pure *Python* è metodologicamente documentata nel Cap. 3.1.3.1 per il caso dell'attrattore di Lorenz, in cui tre iterazioni successive hanno condotto dalla versione *NumPy* inizialmente proposta dall'*LLM* a un'implementazione basata su Rhino.Geometry.Point3d nativa: ogni iterazione ha aggiunto un ciclo di *debugging* non previsto nel *workflow* ideale.

Un secondo limite ricorrente è l'UnboundLocalError generato da variabili definite all'interno di blocchi condizionali o cicli e poi referenziate esternamente: un comportamento di *scoping* che *IronPython 2.7* gestisce diversamente da *CPython 3.x*, producendo errori inattesi su codice formalmente corretto secondo gli standard *Python* moderni.

Il problema del *casting* intero è un terzo vettore di errore ricorrente: funzioni come *range*() richiedono argomenti interi espliciti, mentre i valori provenienti da *slider* o parametri numerici di *Grasshopper* sono tipizzati come *float*, una discrepanza silenziosa che genera errori difficili da diagnosticare senza conoscenza specifica dell'ambiente[14].

Limiti sistemici

Al di là dei limiti specifici dei singoli strumenti, la ricerca

---

13 L'incompatibilità di *IronPython 2.7* con *NumPy* e le librerie *C-based* è una limitazione strutturale documentata nella *community* di *Grasshopper* sin dalla diffusione di *GHPython*. Cfr. la documentazione ufficiale di *Grasshopper/GHPython* su https://developer.rhino3d.com/guides/rhinopython/ghpython-introduction/.

14 Il problema del *casting* intero in *GHPython* è documentato nel Cap. 3.1.3.2 come uno dei tre errori tecnici ricorrenti emersi nelle sperimentazioni con la Strategia 2 ('Cubi e Attrattori'). La soluzione adottata — conversione esplicita tramite int() prima di ogni chiamata a range() — è stata incorporata come buona pratica nel *template* di generazione del codice utilizzato nelle iterazioni successive con *ChatGPT*.

ha incontrato un insieme di vincoli di ordine sistemico che attraversano l'intero ecosistema dell'IA generativa e condizionano strutturalmente qualsiasi metodologia progettuale che intenda fondarsi su di esso. Il primo e più pervasivo è l'obsolescenza rapida degli strumenti. Nel periodo di svolgimento della ricerca (dal 2023 al 2025) *Midjourney* ha rilasciato le versioni V5, V6 e V7, ciascuna con capacità generative significativamente diverse; *Meshy AI* ha aggiornato il proprio motore di ricostruzione 3D dalla versione 4 alla versione 6; *ChatGPT* ha transitato da *GPT-3.5* a *GPT-4o*; *Stable Diffusion* ha visto la progressione da *SD 1.5* a *SDXL* a *SD3*.

Questa accelerazione non è neutra per la ricerca: i parametri ottimizzati per una versione di uno strumento possono essere subottimali o direttamente obsoleti nella versione successiva; i risultati documentati in una fase della ricerca possono non essere replicabili con le versioni correnti al momento della pubblicazione; le procedure di *fine-tuning* sviluppate per *SD v1.5* richiedono adattamenti non banali per essere trasferite a *SDXL*.

Il secondo limite sistemico è la dipendenza da infrastrutture proprietarie. *Midjourney*, *Meshy AI*, *Luma AI* e *ChatGPT* sono strumenti commerciali erogati come servizi *cloud*: la loro disponibilità, i loro termini di utilizzo, le loro politiche di accesso ai dati e le loro strutture di prezzo possono cambiare unilateralmente, senza che il ricercatore che ha costruito la propria metodologia su di essi abbia alcuna possibilità di intervento.

Durante lo svolgimento di questa ricerca, *Midjourney* ha modificato più volte le proprie politiche di utilizzo — incluso un periodo di sospensione delle prove gratuite che ha costretto i ricercatori a valutare alternative — e ha aggiornato l'interfaccia utente in modo da rendere non più accessibili alcune funzionalità precedentemente disponibili. Queste discontinuità non hanno impedito il completamento

della ricerca ma hanno introdotto frizioni e adattamenti non previsti[15]. La contropartita degli strumenti *open-source* — *Stable Diffusion*, *Kohya_ss*, *GHPython* — è la stabilità e la controllabilità dell'ambiente di esecuzione, a costo di una maggiore complessità di configurazione e di *performance* generative tipicamente inferiori rispetto ai sistemi commerciali di ultima generazione.

Il terzo limite sistemico è la frammentazione capacitativa fra strumenti non interoperabili: come osservato nel Cap. 3.1, nessun singolo strumento di IA generativa possiede autonomamente tutte le capacità necessarie per la progettazione di spazi architettonici virtuali completi. La necessità di orchestrare *Midjourney*, *Meshy AI*, *Luma AI*, *Stable Diffusion*, *ChatGPT* e *Grasshopper* in *pipeline* multi-strumento introduce *overhead* operativo, potenziali punti di interruzione nel flusso di lavoro e problemi di compatibilità fra formati di *output* — dall'immagine *PNG* al *file* video *MP4*, alla *mesh FBX*, alla scena *NeRF*, al codice *Python*, alla geometria *Rhino* — che richiedono passaggi di conversione e verifica a ogni transizione.

Il limite come condizione di possibilità

La rassegna condotta nelle sezioni precedenti potrebbe suggerire una lettura pessimistica: gli strumenti di IA generativa sono pieni di limiti, l'*hardware consumer* è insufficiente, le *pipeline* sono fragili e dipendenti, le metodologie proposte rischiano l'obsolescenza prima ancora della pubblicazione.

Questa lettura sarebbe sbagliata, non perché i limiti documentati non siano reali (lo sono, e la loro documentazione è parte integrante del rigore scientifico di questa ricerca) ma perché fraintende il rapporto fra vincoli tecnici e sviluppo

15 La sospensione temporanea delle prove gratuite di *Midjourney* nel marzo 2023, annunciata via *Discord* dal fondatore David Holz, ha colpito numerose ricerche in corso in quel periodo, offrendo un caso esemplare di come la dipendenza da infrastrutture commerciali proprietarie costituisca un rischio strutturale per la ricerca scientifica.

metodologico. Nella storia dell'architettura digitale, come Carpo ha mostrato analizzando il passaggio dal primo al secondo digitale[16], le trasformazioni metodologiche più significative non sono avvenute quando gli strumenti erano privi di limiti ma precisamente quando i ricercatori hanno trasformato i limiti in condizioni generative: Greg Lynn ha sviluppato il paradigma dell'*Embryological House* con i vincoli computazionali dei *software* di animazione degli anni Novanta; Marcos Novak ha costruito il concetto di 'architettura liquida' con i limiti espressivi del VRML, con tutto ciò che esso comporta in termini di vincoli e possibilità. Il limite non è il contrario del metodo: è spesso la sua condizione di possibilità.

Guardando retrospettivamente alle sperimentazioni documentate nei capitoli precedenti è possibile riconoscere come ogni limite incontrato abbia orientato una scelta metodologica significativa. La frammentazione capacitativa fra strumenti non interoperabili ha costretto la costruzione di *pipeline* esplicite e documentate, rendendo il *workflow* un oggetto di riflessione metodologica anziché un processo trasparente e invisibile.

L'incompatibilità di *GHPython* con *NumPy* ha imposto la costruzione di codice *Python* puro, più portabile e didatticamente più leggibile. Il vincolo *hardware* sui 6 GB di VRAM ha reso le sperimentazioni replicabili su configurazioni accessibili. L'obsolescenza rapida degli strumenti ha obbligato a documentare sistematicamente parametri, versioni e decisioni operative, trasformando la ricerca in un registro metodologico che sopravvive alle specifiche tecnologie che ha utilizzato. In tutti questi casi, il limite non ha diminuito il valore della ricerca: ne ha costituito la forma.

---

16 M. Carpo, *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*, MIT Press, Cambridge 2017, pp. 3-15: la trattazione storica del passaggio dal primo al secondo digitale come sequenza di trasformazioni metodologiche generate non dall'eliminazione dei vincoli ma dalla loro trasformazione in condizioni generative.

3.2.3 PROSPETTIVE DI SVILUPPO

Ragionare sulle prospettive di sviluppo dell'IA generativa applicata all'architettura virtuale non significa compilare un elenco di tecnologie emergenti o proiettare linearmente le tendenze attuali verso un futuro immaginato: significa piuttosto leggere criticamente le traiettorie di trasformazione già in atto, identificando i punti di discontinuità che segnalano un cambiamento di paradigma rispetto a ciò che questa ricerca ha documentato.

I capitoli precedenti hanno costruito un'istantanea metodologica precisa e temporalmente situata: i *workflow* sperimentati con *Midjourney*, *Meshy AI*, *Stable Diffusion* e il sistema *ChatGPT-GHPython-Grasshopper* corrispondono allo stato dell'arte del 2023-2025, con tutti i limiti tecnici che il Cap. 3.2.2 ha documentato onestamente. I tre anni di durata di questa ricerca hanno però visto evoluzioni che alterano strutturalmente alcune delle premesse metodologiche su cui i *workflow* proposti si fondano.

Non si tratta di aggiornamenti incrementali agli strumenti esistenti — una nuova versione di *Midjourney*, un'iterazione di *Meshy AI* — ma di cambiamenti di categoria: il passaggio dalla generazione di immagini alla generazione di mondi navigabili, dalla ricostruzione 3D approssimata alla generazione 3D nativa ad alta fedeltà, dalla *pipeline* multi-strumento frammentata all'ecosistema integrato nativamente architettonico. Leggere queste trasformazioni criticamente è il compito di questa sezione conclusiva.

Va premessa una considerazione epistemologica che vale per tutto il ragionamento prospettico che segue: le tecnologie descritte in questa sezione sono, al momento della stesura della presente tesi, in uno stato di maturazione rapida e non uniforme. Alcune — come *TRELLIS.2* di *Microsoft Research* o *FORMAS.AI* — sono già disponibili come strumenti operativi, con documentazione tecnica pubblica e una comunità di utenti in crescita. Altre — come *Genie 3* di *Google DeepMind*

o *Marble* di *World Labs* — sono in stato di accesso limitato o prototipo, con caratteristiche che possono evolversi significativamente prima di una disponibilità generale.
Tutte condividono tuttavia una caratteristica che le rende rilevanti per il ragionamento metodologico di questa sezione: ciascuna affronta direttamente uno o più dei limiti strutturali documentati nel Cap. 3.2.2, segnalando concretamente in quali direzioni il campo si sta muovendo e quali aspetti della metodologia proposta potrebbero essere ridefiniti o amplificati nella prossima generazione di ricerche.

Spatial intelligence systems: da immagini a mondi navigabili

Il cambiamento di paradigma più significativo in atto nel campo dell'IA generativa applicata agli spazi virtuali è quello che i suoi protagonisti hanno denominato 'spatial intelligence': il passaggio da sistemi capaci di generare rappresentazioni planari di spazi a sistemi capaci di generare spazi navigabili, coerenti, persistenti, abitabili in tempo reale.
Questo passaggio non è quantitativo — non si tratta di immagini con più dettaglio o video con più *frame* — ma qualitativo: riguarda la natura stessa dell'*output*, che cessa di essere una rappresentazione dello spazio e diventa lo spazio stesso. Come ha sintetizzato Fei-Fei Li, fondatrice di *World Labs*, «*text became the universal interface for software; 3D is becoming the universal interface for space*»[17].
La formula cattura precisamente la discontinuità: non un miglioramento della generazione di immagini, ma l'emergere di una nuova categoria di *output* — il mondo generato — che richiede categorie analitiche e metodologiche differenti.

17 Fei-Fei Li, CEO e co-fondatrice di *World Labs*, in *worldlabs.ai*, 2025: la formula «*text became the universal interface for software; 3D is becoming the universal interface for space*» è il manifesto fondativo della strategia di *World Labs* ed è citata anche in R. Bellan, *Fei-Fei Li's World Labs speeds up the world model race with Marble, its first commercial product*, *TechCrunch*, 12 novembre 2025.

World Labs ha incarnato questa transizione con *Marble*, il proprio primo prodotto commerciale, lanciato nel novembre 2025 con una valutazione complessiva di un miliardo di dollari e una lista di investitori che include *Autodesk*, NVIDIA e AMD — segnale eloquente dell'interesse che il settore AEC e quello dei motori grafici ripongono in questa direzione[18]. *Marble* genera ambienti tridimensionali spazialmente coerenti e ad alta fedeltà visiva a partire da *input* testuali, immagini, video o panoramiche a 360 gradi, producendo mondi navigabili che l'utente può esplorare in tempo reale, espandere progressivamente e modificare attraverso comandi testuali.

La funzionalità *Chisel* — un *editor* 3D ibrido che consente di tracciare abbozzi di *layout* spaziale prima di lasciare al modello la generazione del dettaglio visivo — introduce una logica di lavoro riconoscibilmente architettonica: la separazione fra struttura e stile, fra organizzazione spaziale e trattamento materico, che rispecchia la distinzione fra pianta e *render* nel processo progettuale tradizionale. *World Labs* descrive esplicitamente l'architettura e il *design* come settori di applicazione prioritari, e *Marble* è già compatibile con i visori *Apple Vision Pro* e *Meta Quest 3*: il collegamento diretto con l'esperienza immersiva che il museo virtuale persegue è immediato.

Lungo la medesima traiettoria si muove *Genie 3* di *Google DeepMind*, annunciato il 5 agosto 2025 come *world model general purpose* capace di generare ambienti interattivi diversificati a partire da *prompt* testuali, a 24 fotogrammi al secondo e a risoluzione 720p, mantenendo coerenza spaziale per diversi minuti di esplorazione continua[19].

---

18 Cfr. R. Bellan, cit., *TechCrunch*, 12 novembre 2025, per la descrizione tecnica di *Marble* e della funzionalità *Chisel*. Per il finanziamento di un miliardo di dollari e gli investitori cfr. *World Labs' Spatial AI Vision to Revolutionise Science*, in «AI Magazine», 2026: fra gli investitori si segnalano *Autodesk*, *NVIDIA*, *AMD*, *Cisco*, *a16z*. Per la compatibilità con *Apple Vision Pro* e *Meta Quest 3* cfr. la pagina prodotto worldlabs.ai/labs.

19 Google DeepMind, *Genie 3: A new frontier for world models*, deepmind.google/blog, 5 agosto 2025: *Genie 3* genera ambienti interattivi da *prompt* testuali. (cfr. blog.google/innovation-and-ai/models-and-research/google-deepmind/project-genie/).

Il sistema — che si basa su un approccio autoregressivo *frame-by-frame* anziché su rappresentazioni 3D esplicite come *NeRF* o *Gaussian Splatting* — introduce inoltre i 'promptable world events': la possibilità di modificare l'ambiente generato attraverso comandi testuali durante l'esplorazione, alterando condizioni atmosferiche, introducendo nuovi oggetti, modificando caratteristiche spaziali senza interrompere la sessione.
Google DeepMind ha distribuito *Genie* 3 come prototipo sperimentale denominato *Project Genie*, accessibile agli abbonati *Google AI Ultra* negli Stati Uniti a partire dal febbraio 2026, con l'obiettivo dichiarato di espandere progressivamente l'accesso.
Nei due sistemi — *Marble* orientato alla qualità visiva statica ed espandibile, *Genie* 3 orientato alla coerenza temporale di mondi autoregressivi — emergono due strategie complementari per affrontare il medesimo limite strutturale documentato nel Cap. 3.2.2: l'incoerenza tridimensionale delle rappresentazioni 2D.
Entrambi risolvono il problema spostando il livello di astrazione: anziché generare proiezioni bidimensionali di uno spazio che il *designer* deve poi ricostruire tridimensionalmente, generano direttamente lo spazio come *output* primario.

Generazione 3D nativa: TRELLIS e TRELLIS.2

Sul versante della generazione tridimensionale di *asset* — il punto critico che nella *pipeline* documentata in questa ricerca era affidato a *Meshy AI* con tutti i limiti di opacità, perdita geometrica e incompatibilità analizzati nel Cap. 3.2.2 — la ricerca di *Microsoft Research* ha prodotto negli ultimi mesi due contributi che ridefiniscono concretamente lo stato dell'arte.
Il primo è *TRELLIS*, presentato come *Spotlight* al *CVPR* (*Computer Vision and Pattern Recognition*) 2025 con il

paper Structured 3D Latents for Scalable and Versatile 3D Generation: un modello per la generazione di *asset* 3D da immagini o *prompt* testuali basato su una rappresentazione denominata SLAT (*Structured LATent*) che consente di decodificare lo stesso oggetto generato in formati multipli — *Radiance Fields*, 3D *Gaussians*, *mesh* poligonali — mantenendo coerenza geometrica e qualità visiva attraverso le diverse rappresentazioni.

Il modello *large*, con 1,1 miliardi di parametri, è disponibile su *HuggingFace* con licenza *MIT* e può essere eseguito localmente su GPU con sufficiente VRAM; i risultati documentati nel *paper* superano significativamente quelli dei sistemi comparabili al momento della pubblicazione, inclusi i generatori *image-to-3D* commerciali come *Meshy*[20].

Il successivo e più radicale sviluppo è *TRELLIS.2*, pubblicato come *tech report* da *Microsoft Research* nel dicembre 2025 e reso disponibile come modello *open-source* con licenza *MIT*[21].

Con 4 miliardi di parametri e un'architettura basata su una nuova rappresentazione denominata *O-Voxel* — una struttura *voxel* sparsa priva di superfici *iso-campo*, che supera le limitazioni dei metodi precedenti basati su *SDF* o *Flexicubes* nella gestione di superfici aperte, geometrie non manifold e strutture interne — *TRELLIS.2* affronta direttamente tre dei limiti più critici documentati nel Cap. 3.2.2: la perdita di dettaglio nelle zone complesse (il metodo *O-Voxel* preserva spigoli netti e topologie arbitrarie senza conversioni *lossy*), la qualità della texturizzazione (*TRELLIS.2* genera mappe

---

20 J. Xiang et al., *Structured 3D Latents for Scalable and Versatile 3D Generation*, Microsoft Research / Tsinghua University, *CVPR 2025 Spotlight*. Il modello *TRELLIS-image-large* (1,1B parametri) è disponibile su *HuggingFace* all'indirizzo huggingface.co/microsoft/TRELLIS-image-large con licenza *MIT*. Il *repository GitHub* ufficiale è github.com/microsoft/TRELLIS.

21 J. Xiang et al., *Native and Compact Structured Latents for 3D Generation*, *Microsoft Research*, *Tech report*, 2025 (arXiv:2512.14692).
Il modello *TRELLIS.2-4B* è disponibile su *HuggingFace* all'indirizzo huggingface.co/microsoft/TRELLIS.2-4B con licenza *MIT*.
Per la documentazione tecnica di *O-Voxel* e i tempi di generazione su *H100* cfr. github.com/microsoft/TRELLIS.2 e la pagina progetto microsoft.github.io/TRELLIS.2/.

PBR complete includendo *base color*, *roughness*, *metallic* e trasparenza, compatibili con re-illuminazione dinamica in *engine real-time*) e la velocità di generazione (512^3 in circa tre secondi, 1024^3 in circa diciassette secondi su GPU NVIDIA H100).

Il confronto con la *pipeline Meshy AI* documentata nel Cap. 3.1.1 — che richiedeva importazione manuale di viste multiple, decimazione progressiva in tre stadi e operazioni di riparazione topologica in *Rhinoceros* — è netto: *TRELLIS.2* produce geometrie di qualità superiore in una frazione del tempo, con *output* direttamente esportabili in formato *GLB* per l'integrazione in *engine real-time* come *Unreal Engine*.

La disponibilità di *TRELLIS.2* come modello *open-source* — con *training code* rilasciato, *dataset TRELLIS-500K* pubblico e possibilità di *fine-tuning* su *dataset* personalizzati — ha implicazioni metodologiche specifiche per la presente ricerca.

Il processo di *fine-tuning LoRA* documentato nel Cap. 3.1.2, applicato a un modello di generazione di immagini 2D, potrebbe essere esteso a *TRELLIS.2* per addestrare un modello di generazione 3D specializzato sul linguaggio morfologico dell'*Embryological House*: non varianti bidimensionali del paradigma lynniano, ma *asset* tridimensionali con la logica formale di quel *corpus* — manipolabili, texturizzati, esportabili.

L'operazione sarebbe metodologicamente analoga a quella documentata in questa ricerca — costruzione di un *corpus* curatoriale, *fine-tuning* con controllo dei parametri, valutazione degli *output* — ma l'*output* non sarebbe una proiezione 2D bensì un *asset* tridimensionale completo: è il superamento diretto del limite strutturale di incoerenza tridimensionale identificato come il più profondo e meno risolvibile nel Cap. 3.2.2.

Framework dedicati all'architettura: FORMAS.AI

Mentre i sistemi descritti nei paragrafi precedenti — *World Labs*, *Genie* 3, *TRELLIS.2* — provengono da contesti di ricerca e sviluppo generalisti e trovano applicazione in architettura come caso d'uso fra altri, una seconda traiettoria evolutiva è quella degli strumenti progettati specificamente per il contesto architettonico, che stanno emergendo parallelamente ai grandi modelli generalisti. Un caso pertinente alle esigenze della presente ricerca è FORMAS.AI, una piattaforma definita dai suoi sviluppatori come AI *Orchestrator* per architettura, *interior design* e *spatial planning*[22].

A differenza dei generatori generalisti come *Midjourney*, che richiedono l'apprendimento di una sintassi di *prompt* specifica e producono *output* stilisticamente eterogenei rispetto ai linguaggi architettonici di riferimento, FORMAS.AI integra nativamente le dimensioni operative del processo progettuale: il controllo della camera e dell'inquadratura, la specificazione di materiali con coerenza stilistica fra generazioni successive, la gestione di modelli 3D importati come base per la generazione di *render*, la produzione di narrative video a partire da immagini statiche.

La piattaforma offre funzionalità che la documentazione tecnica di questa ricerca ha identificato come limitazioni strutturali di *Midjourney* nel contesto architettonico: il controllo diretto della geometria, la consistenza morfologica fra varianti, il mantenimento dell'identità visiva attraverso iterazioni successive senza la necessità di un processo di *fine-tuning* dedicato come quello documentato nel Cap. 3.1.2. Per la metodologia del metaprogetto proposta in questa tesi, l'implicazione è che i confini fra fase esplorativa e fase

---

22 Cfr. formas.ai, 2025: *FORMAS.AI* si definisce *The Best AI Orchestrator for Architecture, Interior Design & Spatial Planning* e include fra le funzionalità principali *Sketch to Image*, *Instant Video Narratives*, *3D Rendering* e *Vibe Architecture*. La piattaforma è attualmente disponibile su lista di attesa ed è progettata specificamente per il flusso di lavoro architettonico, con controllo diretto di camera, materiali e geometria che la distingue dai generatori generalisti come *Midjourney*.

esecutiva — che hanno in larga misura definito il perimetro di applicazione della metodologia sperimentata — sono destinati a diventare progressivamente più permeabili.

Il superamento della pipeline multi-strumento

La convergenza degli sviluppi descritti nei paragrafi precedenti segnala una trasformazione strutturale che va al di là del miglioramento dei singoli strumenti: il progressivo superamento della *pipeline* multi-strumento frammentata che ha caratterizzato — e strutturalmente vincolato — la metodologia sperimentata in questa ricerca. Nei Cap. 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3 la necessità di orchestrare *Midjourney*, *Meshy AI*, *Stable Diffusion/LoRA*, *ChatGPT* e *Grasshopper* in sequenze di passaggi mediati da conversioni di formato, verifiche topologiche e cicli di correzione manuale rifletteva uno stato di frammentazione capacitativa in cui nessuno strumento singolo era sufficiente per coprire l'intero percorso dalla descrizione verbale alla geometria manipolabile.

Ogni transizione fra strumenti era un potenziale punto di perdita: di informazione geometrica, di coerenza semantica, di controllo morfologico. La *pipeline* documentata in questa ricerca non è una scelta progettuale libera ma una risposta pragmatica a quella frammentazione, e il suo valore metodologico risiede precisamente nella trasparenza con cui la documenta e ne governa i passaggi critici.

Gli sviluppi in corso — *Marble* che genera mondi navigabili da immagini *Midjourney* o testi, *TRELLIS.2* che genera *asset* 3D texturizzati da immagini, *FORMAS.AI* che gestisce la coerenza stilistica attraverso l'intero ciclo di visualizzazione — configurano un futuro prossimo in cui la *pipeline* multi-strumento potrà essere sostituita da ecosistemi più integrati, in cui le transizioni fra modalità generative — dal testo all'immagine, dall'immagine al modello 3D, dal modello 3D al mondo navigabile — avvengono all'interno di un unico ambiente senza conversioni manuali di formato.

Questa integrazione non eliminerà la necessità di una metodologia progettuale: sposterà il momento del giudizio critico dal livello tecnico — *quale formato*, *quale strumento*, *quale conversione* — al livello semantico e compositivo, in cui il progettista decide non come tradurre fra strumenti ma come orientare il sistema generativo verso obiettivi culturali e spaziali specifici.

Evoluzione della metodologia sperimentata

La metodologia documentata in questa ricerca ha prodotto risultati documentati e verificabili, ma con un perimetro di applicazione definito dai limiti tecnologici del proprio tempo.

La disponibilità di *Marble* e di *Genie* 3 ridefinisce questo perimetro in modo diretto: la generazione di ambienti navigabili per l'esplorazione delle sale espositive potrà avvenire attraverso sistemi che generano direttamente l'ambiente immersivo partendo dalla descrizione degli spazi e delle opere. Parallelamente, l'integrazione di *TRELLIS.2* nella *pipeline* di generazione 3D sostituirebbe *Meshy AI* con un sistema qualitativamente superiore, *open-source*, *fine-tuneable* sul *corpus* morfologico specifico della ricerca: la possibilità di addestrare *TRELLIS.2* sulle morfologie lynniane documentate nel Cap. 3.1.2 — producendo *asset* tridimensionali coerenti con quel linguaggio, direttamente esportabili in *Unreal Engine* — rappresenta l'evoluzione naturale del *fine-tuning* LoRA 2D verso la generazione 3D nativa. L'adozione di *FORMAS.AI* come ambiente di visualizzazione dedicato all'architettura, infine, risolverebbe la necessità del processo iterativo di ottimizzazione del *prompt* documentato nella Fase 1 del Cap. 3.1.1, sostituendo la mediazione linguistica necessaria per orientare *Midjourney* verso morfologie architettoniche specifiche con un controllo diretto di camera, materiali e geometria pensato per il processo progettuale.

Queste non sono proiezioni speculative: sono evoluzioni metodologiche concrete, praticabili con gli strumenti già disponibili o in fase di rilascio generale al momento della stesura di questa tesi, che una ricerca successiva potrà verificare, documentare e confrontare criticamente con i risultati qui ottenuti. Il fatto che la metodologia qui documentata si collochi sul punto di essere superata non ne diminuisce il valore: al contrario, lo specifica.

Ogni metodologia sperimentale è situata nel proprio tempo tecnologico, e il suo contributo alla conoscenza non consiste nel sottrarsi all'obsolescenza ma nel documentare con precisione le condizioni operative in cui è stata praticata, rendendo possibile il confronto con ciò che verrà.

Così come Lynn lavorava con *Alias Wavefront* alla fine degli anni Novanta e le sue superfici *Blob* sono oggi documenti storici di un momento tecnolgico specifico — ma il paradigma dell'*embryological design* che quella pratica ha formulato rimane una coordinata permanente del pensiero architettonico computazionale — analogamente i *workflow* qui documentati costituiscono un riferimento metodologico preciso per una ricerca che sta rapidamente trasformandosi, e il principio della 'delega consapevole' che li ha orientati non dipende dagli strumenti specifici con cui è stato praticato: sopravvive al loro superamento, applicabile alle tecnologie che verranno nei termini in cui questa sezione ha cercato di prefigurarle.





SECONDA PARTE

METAPROGETTO DI UN MUSEO VIRTUALE

4 | REALIZZAZIONE DEL METAPROGETTO DI UN MUSEO VIRTUALE

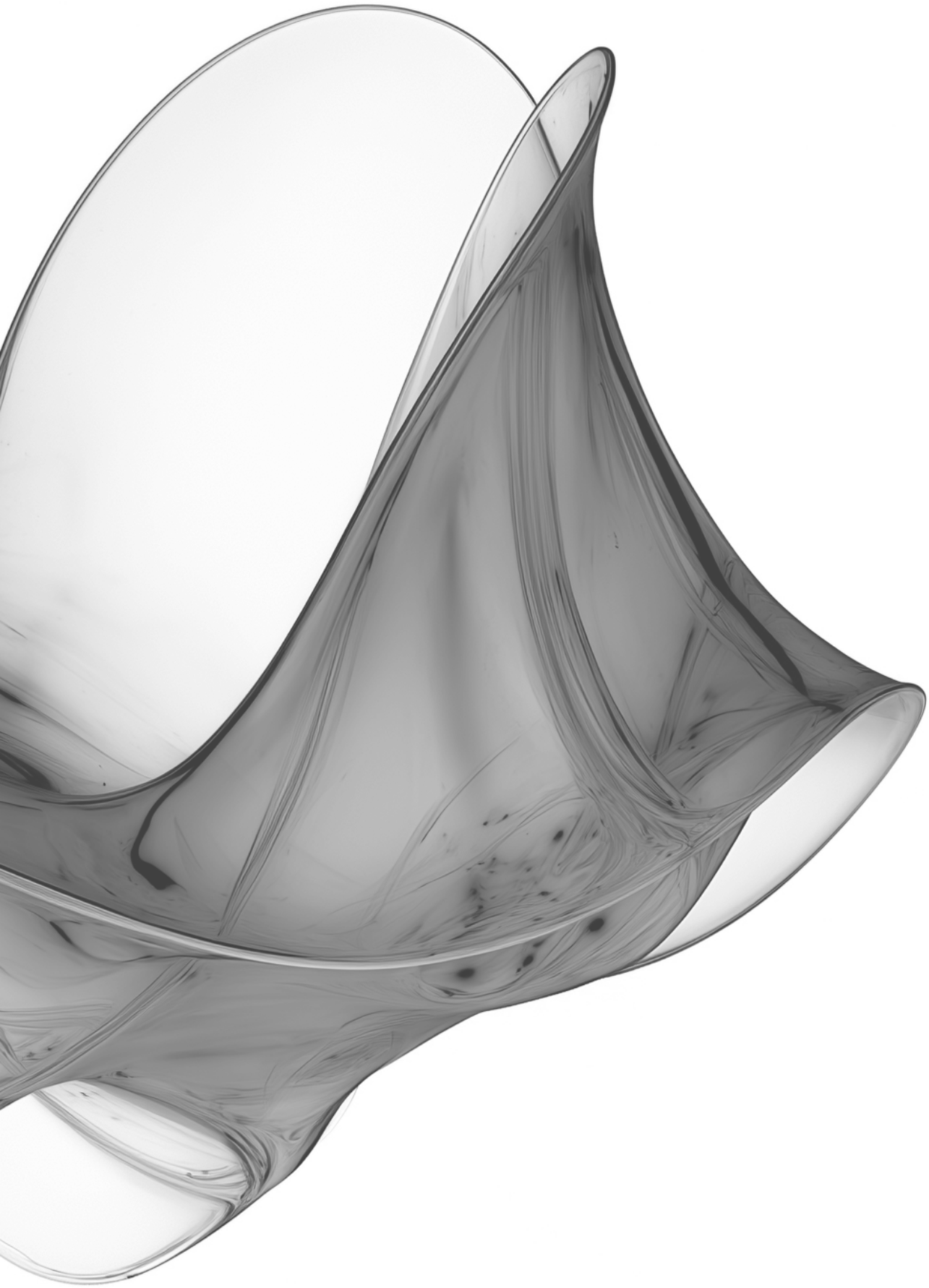


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

4 REALIZZAZIONE DEL METAPROGETTO DI UN MUSEO VIRTUALE

Il presente capitolo documenta la fase conclusiva del percorso metodologico sviluppato nella ricerca: quella in cui le componenti eterogenee elaborate nei capitoli precedenti convergono in un unico artefatto spaziale — il [vIrtuAl museum]. Se il Cap. 3 ha illustrato nel dettaglio i singoli strumenti operativi — dalla generazione *text-to-3D* con *Meshy AI* all'addestramento su *dataset* personalizzati, fino alle sperimentazioni parametriche condotte in *Grasshopper* — il Cap. 4 affronta la dimensione della sintesi: il processo attraverso cui geometrie di natura diversa vengono selezionate, composte, esportate e trasferite in un ambiente di visualizzazione *real-time*.

Questa fase non è meramente tecnica: ogni scelta operativa è al contempo una scelta compositiva e teorica.

Essa riflette il principio della 'delega consapevole'[1] che attraversa l'intera ricerca: l'intelligenza artificiale e gli strumenti computazionali non sostituiscono il giudizio progettuale ma lo amplificano, restituendo al progettista un campo di possibilità più vasto da cui selezionare con discernimento critico.

Il capitolo si articola in tre sezioni principali — la selezione e preparazione delle geometrie (Cap. 4.1), la composizione e organizzazione della scena in *Rhinoceros* (Cap. 4.2), l'esportazione verso *Twinmotion* con l'elaborazione finale dei materiali (Cap. 4.3) — a cui segue una nota conclusiva (Cap. 4.4) che apre la prospettiva verso *Unreal Engine* 5, ambiente in cui il modello è destinato a migrare per le fasi di *gamification* e interattività.

---

1 Il concetto di 'delega consapevole' è sviluppato nel preambolo del Cap. 1.3 come *stance* metodologica fondativa della ricerca, ripreso nel preambolo del Cap. 3.1 come principio operativo dell'integrazione fra strumenti di IA generativa e approfondito nel Cap. 3.2.1 in relazione all'autorialità come co-produzione asimmetrica fra progettista e sistema generativo.

4.1 SELEZIONE E PREPARAZIONE DELLE GEOMETRIE

La selezione delle geometrie costituisce il primo atto critico della sintesi progettuale. Il repertorio disponibile al termine delle fasi sperimentali del Cap. 3 è considerevole: include geometrie *quad* generate direttamente da *prompt* testuali attraverso *Meshy AI* (Cap. 3.1.1), geometrie derivate dall'addestramento su *dataset* personalizzati (Cap. 3.1.2) e strutture parametriche elaborate in *Grasshopper* attraverso le tre Strategie codificate nel Cap. 3.1.3. La selezione non avviene per saturazione — non si tratta di includere la totalità del prodotto della sperimentazione — ma per pertinenza compositiva e concettuale rispetto alla natura del museo virtuale.

4.1.1 GEOMETRIE QUAD DA MESHY AI: CRITERI DI VALUTAZIONE

Le geometrie *quad* generate attraverso *Meshy AI* nei Cap. 3.1.1 e 3.1.2 presentano caratteristiche morfologiche profondamente diverse da quelle delle strutture parametriche: superfici organiche, topologie irregolari, dettagli formali già incorporati nel processo generativo. La selezione all'interno di questo *corpus* avviene secondo tre criteri principali, documentati nella tavola di validazione allegata al capitolo.

Il primo criterio è la qualità topologica della geometria *quad*: viene privilegiata la coerenza delle superfici — assenza di normali invertite, di buchi non intenzionali, di artefatti geometrici che potrebbero compromettere la resa in ambienti *real-time* — verificata direttamente in *Rhinoceros* attraverso i comandi di analisi delle superfici.

Nella tavola di validazione questo criterio corrisponde alla valutazione della 'pulizia delle geometrie *quad*', articolata in tre classi qualitative decrescenti: Versione A (ottima), Versione B (buona con riserve), Versione C (problematica).

Il secondo criterio è la rispondenza con le immagini di *input*

fornite a *Meshy AI*: si valuta in che misura la geometria tridimensionale generata corrisponde all'immagine di riferimento utilizzata come *prompt* visivo. Anche in questo caso la scala di valutazione distingue fra alta corrispondenza (Versione A), corrispondenza parziale (Versione B) e bassa corrispondenza (Versione C).

Il terzo criterio — il più strettamente progettuale — è la risonanza formale con il programma del museo virtuale: la geometria deve possedere una qualità plastica autonoma, capace di dialogare con le strutture parametriche nella composizione finale[2].

I casi validati positivamente su entrambi i criteri tecnici hanno costituito la base del *dataset* utilizzato per l'addestramento del modello *LoRA* su *Stable Diffusion 1.5* (Cap. 3.1.2), definendo il collegamento fra la fase di ricostruzione geometrica e quella di affinamento del processo generativo.

4.1.2 SELEZIONE DELLE STRUTTURE PARAMETRICHE

Fra le tre Strategie parametriche sviluppate in *Grasshopper* nel Cap. 3.1.3, due vengono selezionate per la composizione finale del [vIrtuAl museum]: la curva elicoidale denominata *Helix Twisted* (Strategia 3, Cap. 3.1.3.3) e l'*Esplosione dei Cubi* (Strategia 2, Cap. 3.1.3.2). Questi due *script* incarnano principi compositivi complementari e coerenti con il programma concettuale del museo.

L'*Helix Twisted* esprime il principio della continuità e del percorso: la spirale elicoidale attraversa lo spazio in modo ascensionale, generando una traiettoria che evoca movimento, crescita, trasformazione. Nel contesto del [vIrtuAl museum] essa assume il ruolo di elemento strutturale principale e di dispositivo espositivo: le sue superfici diventano il supporto su cui vengono montati

2 La distinzione fra geometria 'conformativa' e geometria 'rappresentativa' nel contesto della modellazione digitale è discussa nel Cap. 3.1.1 in relazione alla complementarità operativa fra *Meshy AI* (conformativo: *mesh* poligonali manipolabili) e *Luma AI* (rappresentativo: scene *NeRF* navigabili non manipolabili).

i pannelli con le generazioni 2D prodotte nei Cap. 3.1.1 e 3.1.2, trasformando la geometria parametrica in una galleria avvolgente che il visitatore percorre dall'interno.
L'*Esplosione dei Cubi* produce una struttura frammentata e centrifuga, in cui elementi modulari regolari si allontanano da un nucleo centrale seguendo traiettorie vettoriali controllate. La geometria risultante è insieme ordinata e caotica: il cubo, nella sua regolarità elementare, viene destabilizzato e ricollocato in uno spazio di indeterminatezza dinamica.
Nella composizione museale questa struttura avvolge la struttura elicoidale centrale, fungendo da filtro e da soglia fra lo spazio interno — dedicato alla fruizione delle immagini — e lo spazio esterno del percorso tridimensionale.
Prima dell'inserimento nella composizione finale, entrambe le strutture parametriche vengono preparate attraverso operazioni specifiche in *Rhinoceros*: le geometrie vengono 'bakate' dall'ambiente *Grasshopper* e sottoposte a verifica topologica.

4.2 COMPOSIZIONE E ORGANIZZAZIONE DELLA SCENA

La composizione della scena in *Rhinoceros* costituisce il momento in cui il pensiero progettuale si esercita nella sua forma più diretta: la disposizione degli elementi nello spazio, la definizione delle relazioni volumetriche, la costruzione di una gerarchia percettiva che guidi il fruitore attraverso l'ambiente museale.
Rhinoceros 7 è l'ambiente scelto per questa fase per la sua capacità di gestire simultaneamente geometrie di natura diversa — *quad* poligonali, superfici NURBS, curve parametriche — all'interno di un unico spazio di lavoro coerente.

4.2.1 STRUTTURA COMPOSITIVA A TRE FASCE

La composizione del [vIrtuAl museum] è organizzata secondo una logica a tre fasce concentriche, ciascuna con una funzione spaziale e narrativa distinta.

La fascia centrale è dominata dall'*Helix Twisted*: la struttura elicoidale occupa il cuore della composizione, disponendosi lungo un asse verticale ascendente. Sulla superficie del nastro elicoidale vengono posizionate — come pannelli espositivi — le immagini 2D delle geometrie generate nei Cap. 3.1.1 e 3.1.2.

Il risultato è una galleria avvolgente: il visitatore che si trova all'interno della struttura è circondato dalle generazioni dell'intelligenza artificiale, disposte in sequenza lungo il percorso elicoidale (modalità *array*). Le immagini vengono trattate come oggetti piani — pannelli inclinati rispetto alla superficie del nastro — che seguono l'andamento torsionale della curva, creando un ritmo visivo continuo e variabile.

La fascia intermedia è occupata dall'*Esplosione dei Cubi*, che avvolge e filtra la struttura elicoidale centrale. I cubi bianchi, disposti secondo le traiettorie centrifughe dello *script GHPython*, penetrano parzialmente all'interno del nastro elicoidale, creando relazioni di compenetrazione spaziale che amplificano la tensione compositiva fra l'ordine parametrico della spirale e il dinamismo frammentato dell'esplosione.

Questa zona intermedia funziona come una soglia: non è né l'interno della galleria né lo spazio aperto del percorso esterno, ma uno spazio di transizione in cui le due logiche geometriche si sovrappongono e si contaminano.

La fascia esterna è definita da un secondo percorso elicoidale, formalmente derivato dall'*Helix Twisted* ma semplificato a due soli giri: l'elemento non ha funzione espositiva diretta ma struttura il perimetro dell'ambiente e la percorrenza, creando un confine dinamico che richiama l'elemento centrale senza duplicarlo.

Lungo questo percorso esterno vengono distribuiti i modelli tridimensionali selezionati dai Cap. 3.1.1 e 3.1.2: le geometrie *quad* organiche abitano lo spazio perimetrale come presenze scultoree autonome, accessibili al visitatore che percorre l'anello esterno del museo (cfr. Figg. 40-65).

4.2.2 ASSEMBLAGGIO, SCALA E VERIFICA TOPOLOGICA

L'importazione delle geometrie *quad* generate con *Meshy AI* in *Rhinoceros* avviene attraverso il formato *FBX*, che preserva sia la geometria sia le informazioni di mappatura *UV* associate. Le strutture parametriche già 'bakate' in *Grasshopper* sono direttamente disponibili nell'ambiente senza necessità di conversione.

La sfida principale di questa fase è la gestione dell'eterogeneità scalare: le geometrie generative vengono prodotte in scale interne arbitrarie e richiedono un'operazione sistematica di ridimensionamento e posizionamento rispetto alle strutture parametriche, che operano invece in unità metriche definite dagli *script GHPython*.

La scena viene organizzata attraverso un sistema di *layer* tematici: un *layer* per le strutture parametriche (*Helix Twisted* ed *Esplosione dei Cubi*), un *layer* per i pannelli 2D della galleria interna, un *layer* per i modelli tridimensionali del percorso esterno e un *layer* per il secondo anello elicoidale perimetrale.

Questa stratificazione consente di lavorare per piani di densità visiva progressiva, gestendo la visibilità dei singoli elementi durante le fasi di composizione.

Prima di procedere all'esportazione, la scena viene sottoposta a verifica topologica sistematica. Il comando *Check* di *Rhinoceros* identifica le superfici aperte non intenzionali e le normali invertite; le geometrie *quad* più complesse vengono analizzate con lo strumento di visualizzazione cromatica delle normali e, dove necessario, riparate attraverso i comandi *UnifyMeshNormals* e *FillMeshHoles*.

Le compenetrazioni intenzionali fra l'*Esplosione dei Cubi* e il nastro elicoidale vengono mantenute come sovrapposizioni visive, senza operazioni booleane, preservando la leggibilità delle due geometrie nella loro distinzione formale.

4.3 ESPORTAZIONE DELLA SCENA

La fase di esportazione da *Rhinoceros* e di importazione in *Twinmotion* rappresenta il momento in cui il modello tridimensionale compie il passaggio dall'ambiente di progettazione 3D all'ambiente di visualizzazione architettonica *real-time*. La ricerca adotta una strategia di doppia esportazione — *Datasmith* e *FBX* — che garantisce flessibilità operativa e compatibilità con flussi di lavoro diversi.

4.3.1 IL DOPPIO FLUSSO DI ESPORTAZIONE: DATASMITH E FBX

Il formato *Datasmith*, sviluppato da *Epic Games* nell'ecosistema *Unreal Engine*, rappresenta la soluzione di trasferimento più semplice disponibile per i modelli *Rhinoceros* destinati a *Twinmotion*. Il *plugin Datasmith for Rhino*[3] consente di esportare la scena preservando la struttura gerarchica dei *layer*, i nomi degli oggetti e le trasformazioni spaziali.

Il *file* risultante — con estensione .udatasmith — trasferisce in *Twinmotion* non soltanto la geometria ma l'intera logica organizzativa della scena, riducendo significativamente il lavoro di riorganizzazione nell'ambiente di destinazione.

L'esportazione parallela in formato *FBX* risponde a una logica di ridondanza strategica e di apertura verso *workflow* alternativi. Il formato FBX è lo standard *de facto* per lo scambio di geometrie tridimensionali fra applicazioni diverse:

3 Il formato *Datasmith* e il relativo *plugin* per *Rhinoceros* sono documentati in *Epic Games*, *Datasmith Overview*, *Unreal Engine Documentation*, docs.unrealengine.com/en-US/datasmith-overview.

universalmente supportato, garantisce la compatibilità con qualsiasi versione futura degli strumenti utilizzati e con eventuali *pipeline* di collaborazione.
Le due esportazioni non sono intercambiabili: il *Datasmith* viene privilegiato per l'*import* principale in *Twinmotion*, sfruttando la fedeltà del trasferimento gerarchico; l'*FBX* viene mantenuto come archivio di sicurezza e come formato di riferimento per eventuali integrazioni con altri strumenti.

4.3.2 IMPORTAZIONE IN TWINMOTION 2025 E RIELABORAZIONE NANITE

Twinmotion 2025, l'ultima versione disponibile della piattaforma sviluppata da *Epic Games*, integra nativamente la tecnologia *Nanite*[4] di *Unreal Engine* 5, estendendo al dominio della visualizzazione architettonica le capacità di gestione geometrica che avevano rivoluzionato il settore del *game development* con il lancio di *UE5*. *Nanite* è un sistema di geometria virtualizzata che gestisce automaticamente i livelli di dettaglio (*Level of Detail*, *LOD*) in funzione della distanza di visualizzazione e della risoluzione dello schermo, rendendo di fatto irrilevante il conto poligonale dei singoli modelli per le prestazioni *real-time*.
L'importazione del *file* .udatasmith in *Twinmotion* 2025 avviene attraverso il menu *Importa* della piattaforma. L'ambiente rileva automaticamente la struttura gerarchica esportata da *Rhinoceros* e la riproduce nel pannello *Scene*, preservando i raggruppamenti per *layer* e i nomi degli oggetti.
La prima operazione compiuta sull'*import* è la conversione della geometria in *Nanite*: attraverso il comando *Abilita Nanite*, *Twinmotion* processa le geometrie e le converte nel formato virtualizzato, preparandole per la gestione *LOD* automatica. Questa conversione è particolarmente

4 La tecnologia *Nanite* è descritta in dettaglio nella documentazione ufficiale di *Epic Games*: *Nanite Virtualized Geometry*, *Unreal Engine 5 Documentation*, docs.unrealengine.com/5.0/en-US/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine.

vantaggiosa per le geometrie *quad* generate da *Meshy AI*, che tendono a presentare un numero di poligoni significativo: con *Nanite* attivo, la loro resa visiva in *real-time* è identica a quella di una geometria ottimizzata manualmente, superando concretamente uno dei limiti documentati nel Cap. 3.2.2 (la necessità di decimazione progressiva delle *mesh Meshy AI*).

4.3.3 MATERIALI, MAPPATURE UV E ILLUMINAZIONE

Per l'elaborazione dei materiali, la ricerca adotta una soluzione intenzionalmente diretta: vengono utilizzati i materiali di *default* della libreria di *Twinmotion* 2025, assegnati alle geometrie della scena in combinazione con le mappature UV già generate da *Meshy AI* durante la fase di produzione delle geometrie *quad*[5]. Questa scelta non è una semplificazione tecnica ma una decisione progettuale coerente: i materiali predefiniti di *Twinmotion* offrono una qualità *PBR* (*Physically Based Rendering*) elevata e una neutralità visiva che lascia emergere la qualità formale delle geometrie, evitando che la *texture* distragga dall'articolazione spaziale della composizione. Le mappature UV di *Meshy AI*, già ottimizzate dal processo generativo, vengono trasferite direttamente in *Twinmotion* attraverso l'*import Datasmith* senza necessità di rimappatura manuale.

L'illuminazione della scena è definita attraverso il *preset* atmosferico *Moon* di *Twinmotion* 2025[6]. La scelta non è casuale: riprende e sintetizza l'immaginario lunare che attraversa la Prima Parte della ricerca, dove la Luna ricorre come archetipo dello spazio inaccessibile, del paesaggio non terrestre, della soglia fra il reale e l'immaginato.

Il *preset* genera un'illuminazione notturna con fonte lunare

---

5 Sul *Physically Based Rendering* (*PBR*) come paradigma per la simulazione fotorealistica dei materiali in ambienti *real-time* cfr. B. Burley, *Physically Based Shading at Disney*, *SIGGRAPH 2012 Course Notes*, disneyanimation.com/publications/physically-based-shading-at-disney.

6 L'immaginario lunare come archetipo dello spazio altro e dello spazio virtuale è sviluppato nella Prima Parte della ricerca (Cap. 1.1), con riferimento alla tradizione iconografica e letteraria del viaggio lunare come proiezione dell'alterità spaziale.

dominante, producendo ombre lunghe, superfici che alternano zone di luce fredda e profonde aree d'ombra, e un cielo *HDRI* che riflette nelle superfici lucide delle geometrie parametriche.
Il risultato visivo è un ambiente onirico e straniante, coerente con la natura del museo virtuale come spazio che non aspira a simulare la realtà costruita ma a costruire una realtà alternativa (cfr. Figg. 40-65).

4.4 PROSPETTIVE DI SVILUPPO: VERSO UNREAL ENGINE 5

Il percorso metodologico documentato in questo capitolo si configura come un processo aperto: la composizione realizzata in *Twinmotion* 2025 non rappresenta il punto di arrivo della ricerca ma una stazione intermedia di un percorso che conduce verso forme di fruizione più radicalmente interattive.
La migrazione del modello verso *Unreal Engine* 5 è la naturale prosecuzione di questo percorso e costituisce la prospettiva di sviluppo principale indicata dalla ricerca.
Twinmotion e *Unreal Engine* 5 condividono il medesimo ecosistema tecnologico: entrambi sviluppati da *Epic Games*, entrambi fondati sul motore di *rendering Lumen* e sulla geometria virtualizzata *Nanite*.
Il passaggio da *Twinmotion* a UE5 è facilitato dall'*export* nativo in formato .udatasmith, che trasferisce l'intera scena — geometrie, materiali, illuminazione, struttura gerarchica — nell'ambiente di sviluppo avanzato senza perdita di informazioni.
Questa continuità tecnica è uno degli argomenti principali a favore della scelta di *Twinmotion* come ambiente di visualizzazione intermedio: esso funge da ponte fra il mondo della progettazione 3D e quello dello sviluppo di esperienze interattive.
In *Unreal Engine* 5 il modello del [vIrtuAl museum] è destinato

a ricevere le componenti di interattività che definiscono la natura propriamente esperienziale del museo virtuale. La *gamification* — intesa non come trivializzazione ludica del contenuto culturale ma come progettazione di meccaniche di esplorazione e scoperta che aumentino il coinvolgimento e la ritenzione cognitiva del visitatore[7] — viene implementata attraverso il sistema *Blueprint* di *UE5*[8], l'ambiente di *scripting* visuale che consente la programmazione di comportamenti interattivi senza richiedere la scrittura di codice C++ diretto. Attraverso i *Blueprint* è possibile progettare percorsi narrativi, attivare contenuti informativi legati agli oggetti della scena, definire sequenze di animazione innescate dalla presenza del visitatore e costruire sistemi di progressione che guidino la visita museale con logiche dinamiche.

L'integrazione di contenuti video rappresenta l'ulteriore dimensione interattiva prevista per la fase *UE5*. Attraverso il sistema *Media Framework* di *Unreal Engine*[9] è possibile riprodurre video in tempo reale su superfici della scena — proiezioni su pareti, *texture* animate, schermi virtuali — senza impatto sulle prestazioni *real-time* grazie alla gestione ottimizzata del motore. Nel contesto del [vIrtuAl museum] questa funzionalità si raccorda direttamente con la struttura espositiva dei pannelli 2D già presenti nell'*Helix Twisted*: i pannelli statici del museo in *Twinmotion* potranno diventare, in *UE5*, superfici video attive, capaci di riprodurre le documentazioni audiovisive delle pratiche culturali immateriali in risposta alla posizione e all'azione del visitatore.

---

7 Sul rapporto fra *gamification* e mediazione del patrimonio culturale immateriale cfr. UNESCO, *Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage*, Parigi 2003. Per il quadro concettuale della *gamification* come strategia di mediazione culturale cfr. anche Cap. 1.2.3 (esperienza, interazione e dispositivi immersivi).

8 Il sistema *Blueprint* di *Unreal Engine 5* è discusso in *Epic Games*, *Blueprints Visual Scripting*, *Unreal Engine 5 Documentation*, docs.unrealengine.com/5.0/en-US/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine.

9 Sull'integrazione di contenuti video in *Unreal Engine* attraverso il *Media Framework* cfr. *Epic Games*, *Media Framework*, *Unreal Engine 5 Documentation*, docs.unrealengine.com/5.0/en-US/media-framework-in-unreal-engine.

La migrazione verso *Unreal Engine* 5 non è dunque un semplice aggiornamento tecnico ma il completamento del programma progettuale che questa ricerca ha tracciato: dal *prompt* testuale alla geometria *quad* generativa, dalla struttura parametrica alla composizione spaziale, dall'ambiente *real-time* all'esperienza interattiva immersiva. In questa traiettoria il [vIrtuAl museum] si configura non come oggetto finito ma come metaprogetto aperto — uno spazio di forme e di relazioni che la tecnologia di oggi consente di realizzare come visualizzazione navigabile e che la tecnologia di domani consentirà di abitare come esperienza interattiva compiuta.

Le immagini generate durante il processo di virtualizzazione delle geometrie (cfr. Figg. 40-65) sono documentate nell'apparato grafico allegato al presente capitolo.

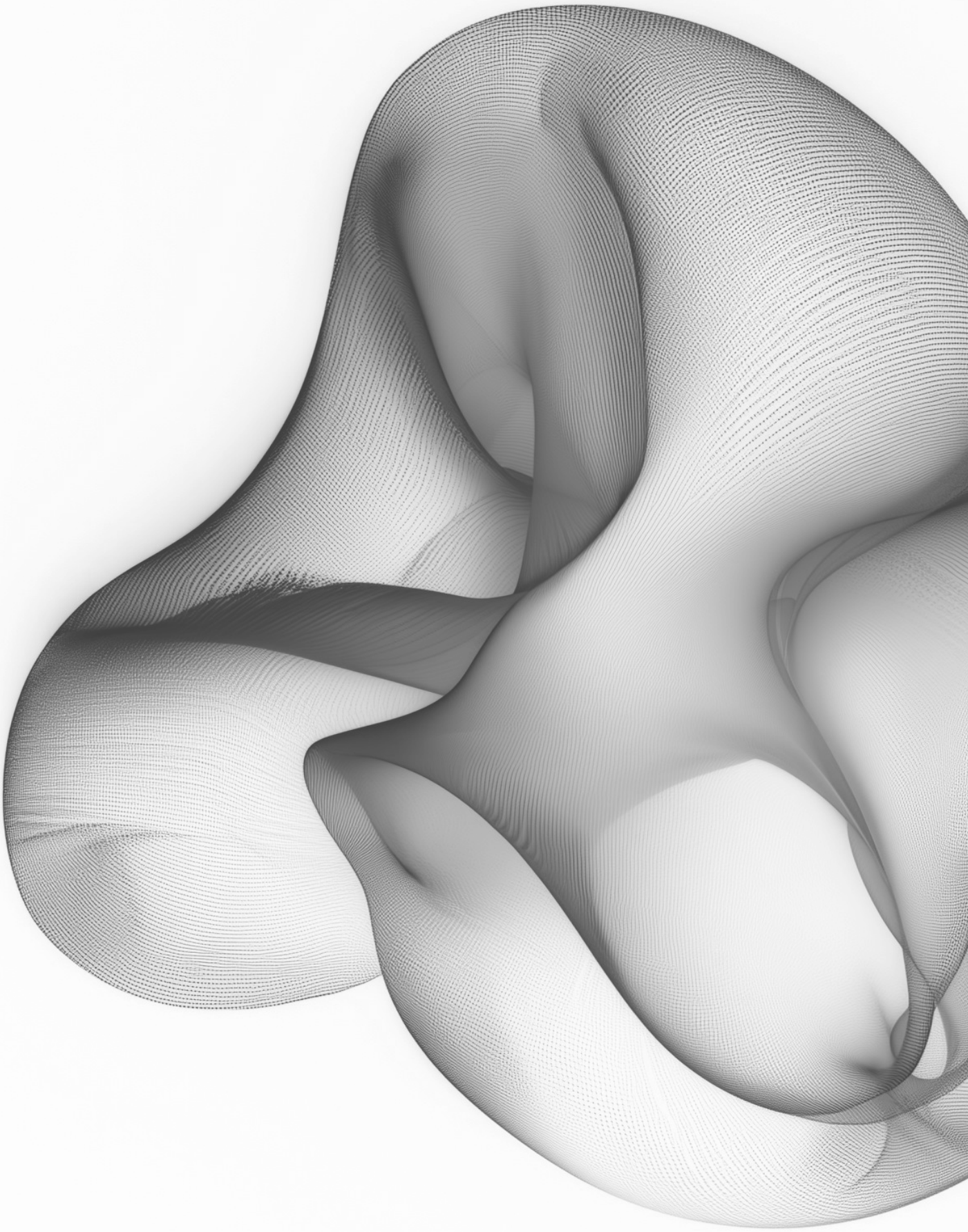


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

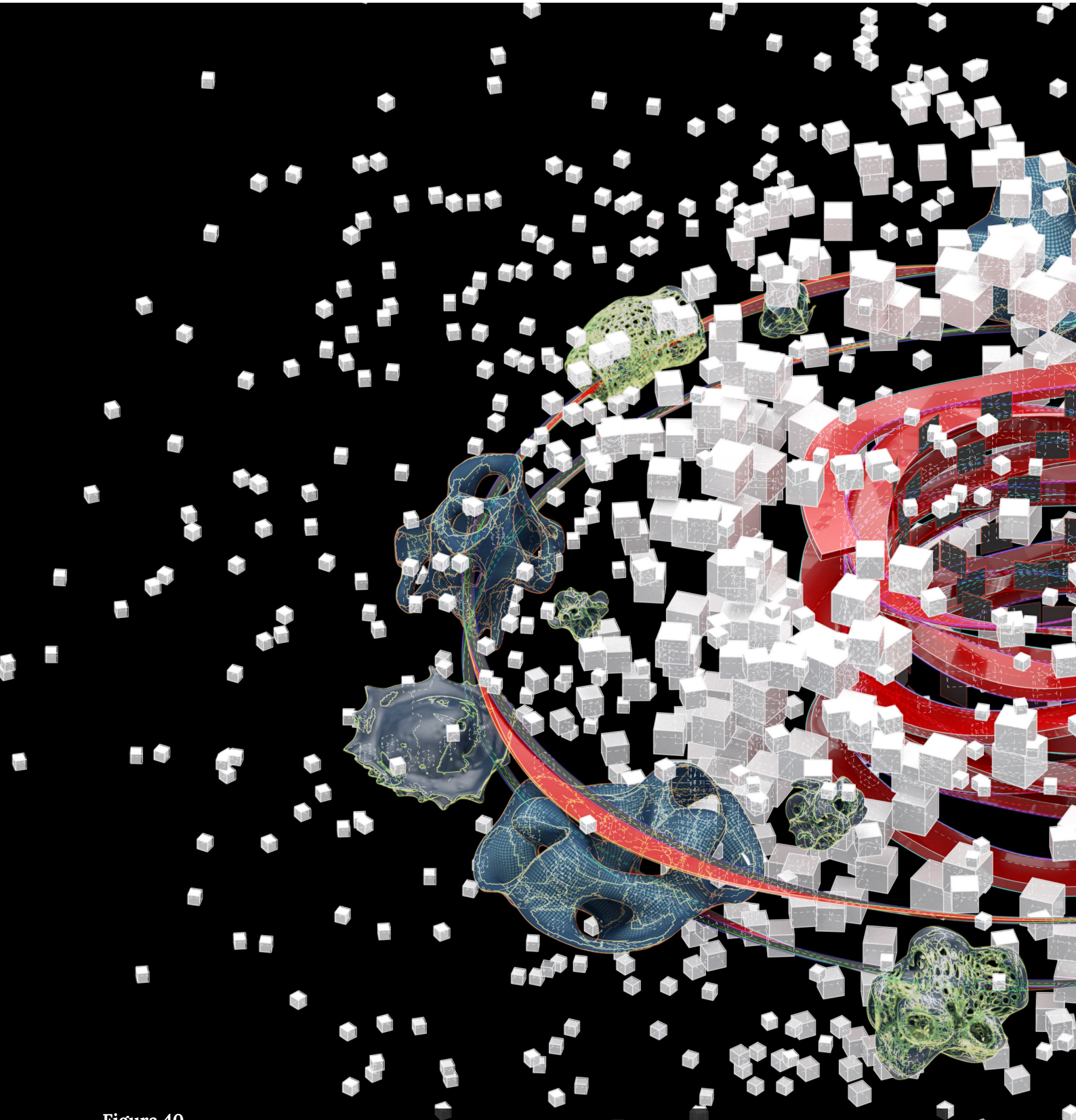


Figura 40.
[vIrtuAl museum] — Vista isometrica della sintesi metaprogettuale (Cap. 4); elaborazione in Rhinoceros della composizione spaziale completa del museo virtuale: la struttura elicoidale sweep in rosso (Strategia 3, Cap. 3.1.3.3) funge da nastro espositivo centrale; la nuvola di cubi bianchi con distribuzione radiale (Strategia 2, Cap. 3.1.3.2) costituisce il layer di filtro intermedio; le geometrie quad organiche in wireframe ciano-verde (output della pipeline text-image-video-3D, Cap. 3.1.1 - 3.1.2) sono distribuite nella fascia esterna come elementi scultorei. La composizione concentrica documenta l'integrazione delle tre strategie metodologiche in un unico ambiente virtuale. F. Zollo, 2025.

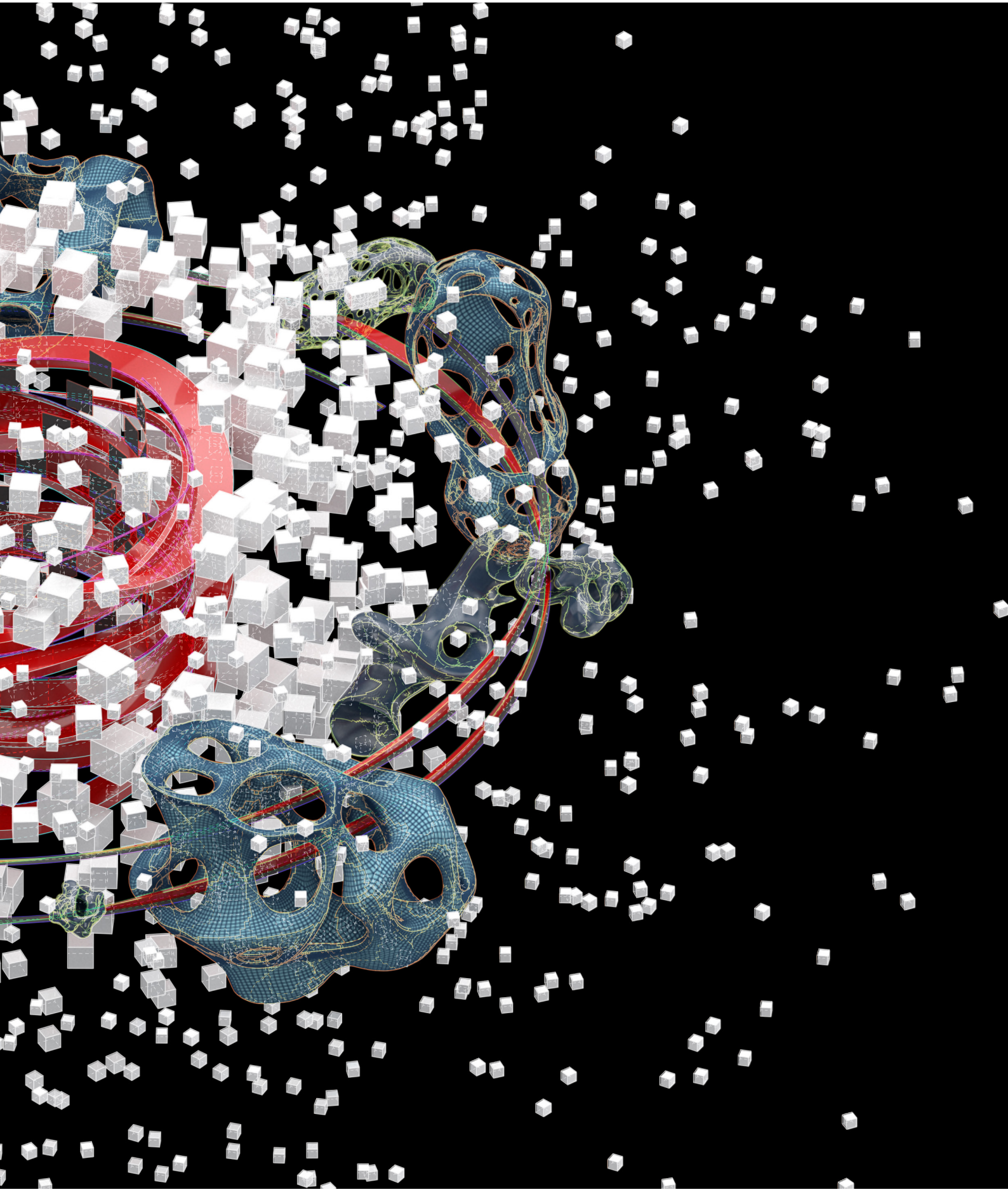
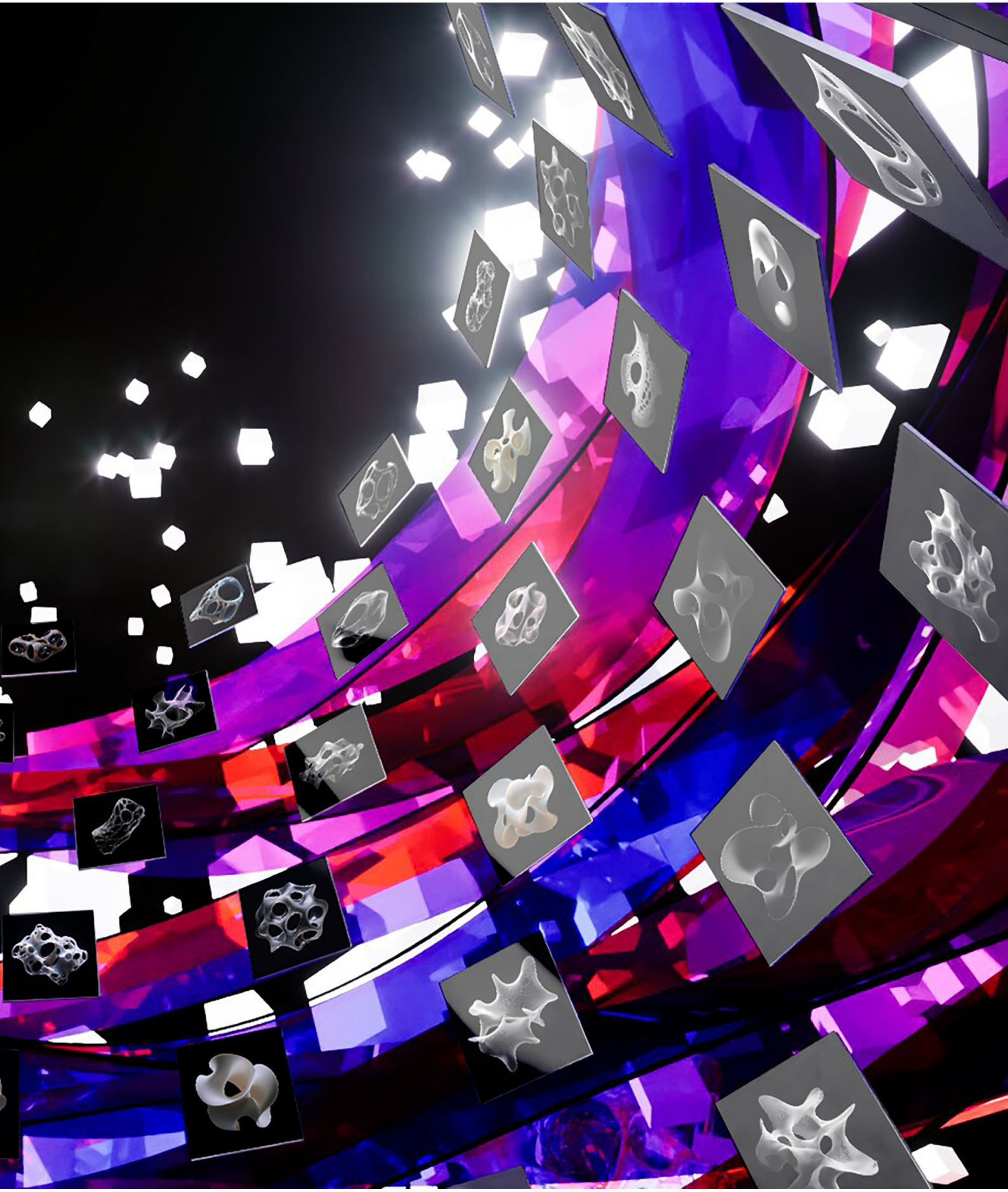




Figura 41.
[vIrtuAl museum] — Vista immersiva della hall espositiva in Twinmotion 2025; Render prospettico interno della struttura elicoidale sweep che funge da nastro espositivo principale del museo virtuale: i pannelli bidimensionali con le immagini delle morfologie blob generate dal workflow text-image-video-3D (Cap. 3.1.1) sono distribuiti lungo la superficie interna dell'elica, leggibili durante la navigazione in prima persona. I cubi bianchi della Strategia 2 (Cap. 3.1.3.2) fluttuano nello spazio intermedio insieme alle geometrie quad organiche, mentre l'illuminazione preset Moon di Twinmotion genera i riflessi viola-magenta sulle superfici metalliche dell'elica. La vista documenta la qualità spaziale e atmosferica dell'ambiente virtuale navigabile ottenuto dall'integrazione delle tre strategie metodologiche. F. Zollo, 2025.



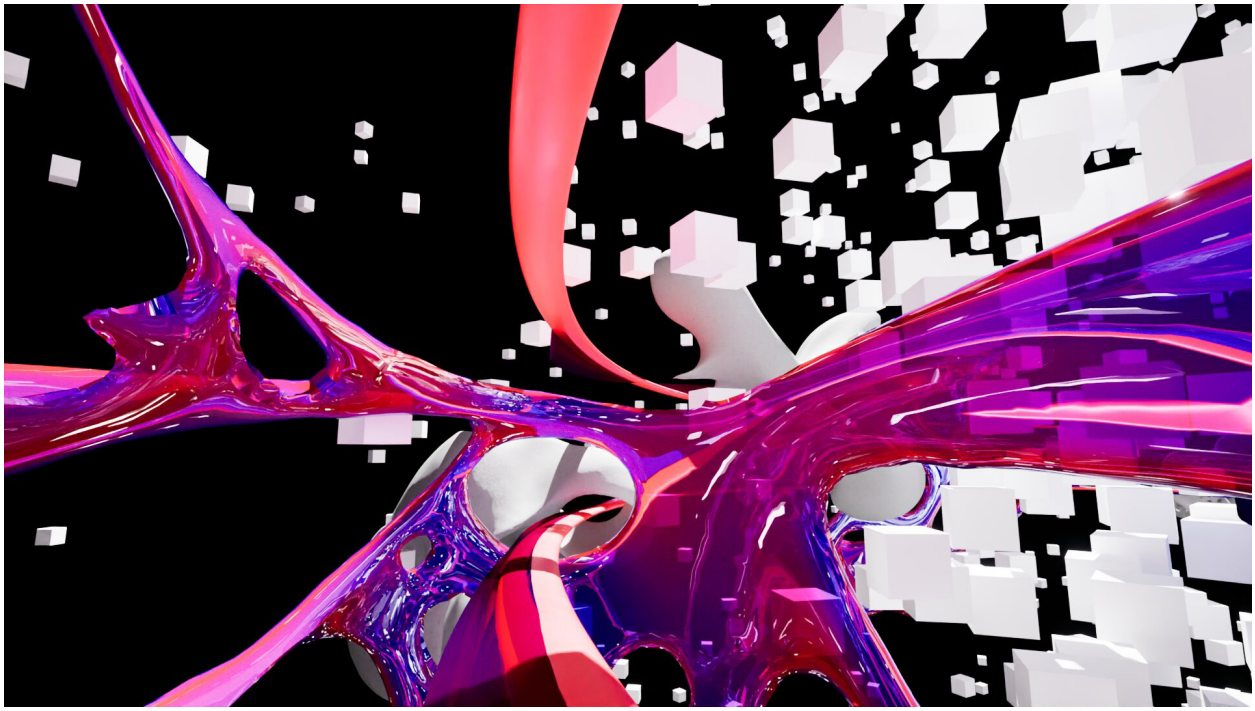


Figura 42.
[vIrtuAl museum] — Vista dal percorso elicoidale esterno, con cubi fluttuanti; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

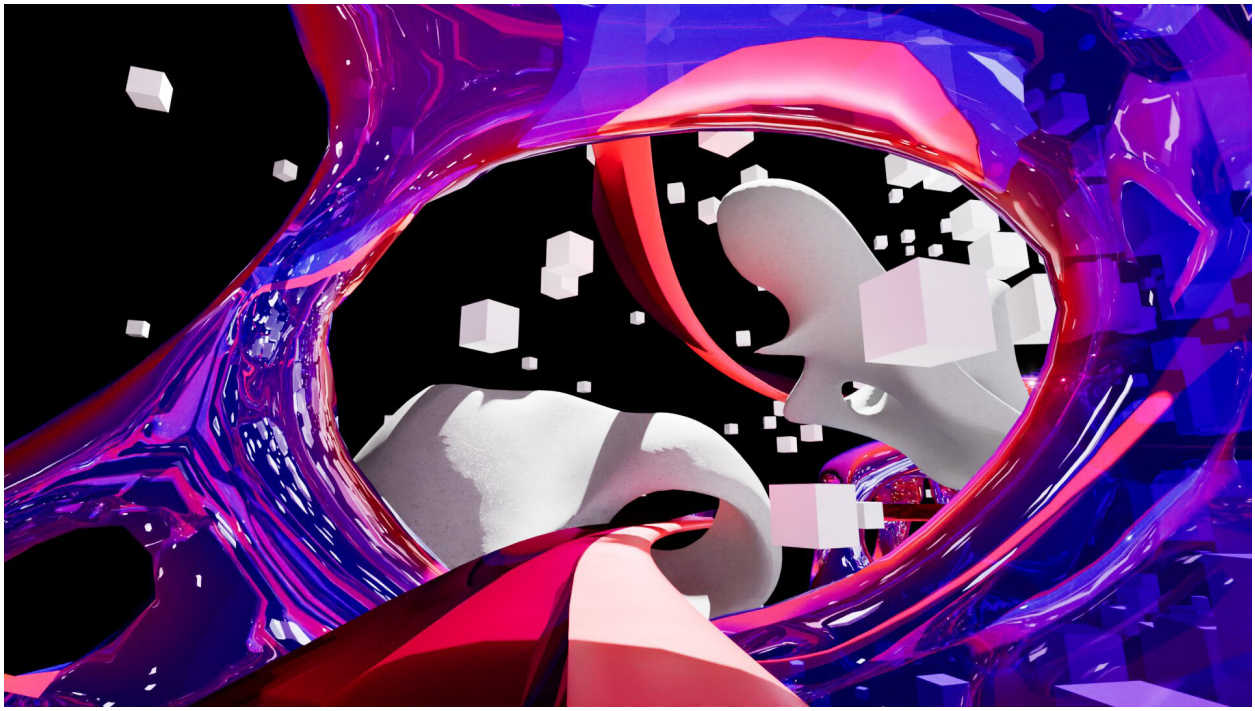


Figura 43.
[vIrtuAl museum] — Vista dal percorso elicoidale esterno, con cubi fluttuanti; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

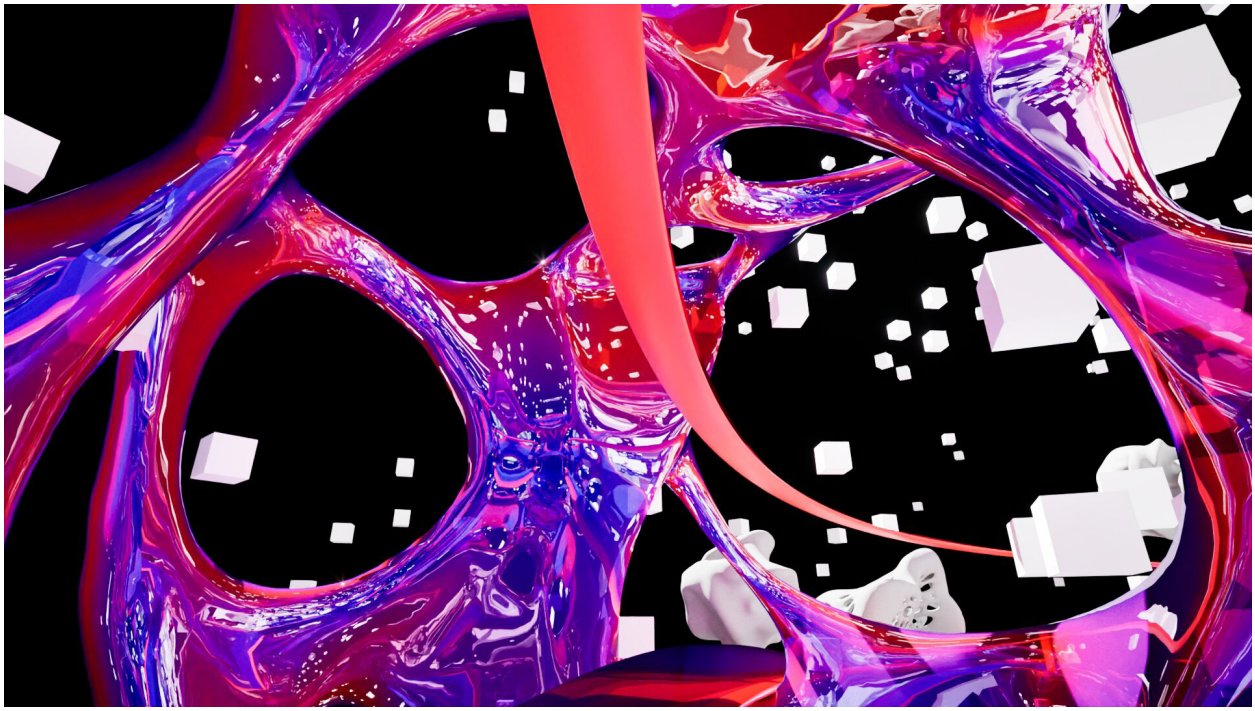


Figura 44.
[vIrtuAl museum] — Vista dall'interno di una geometria generata in Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

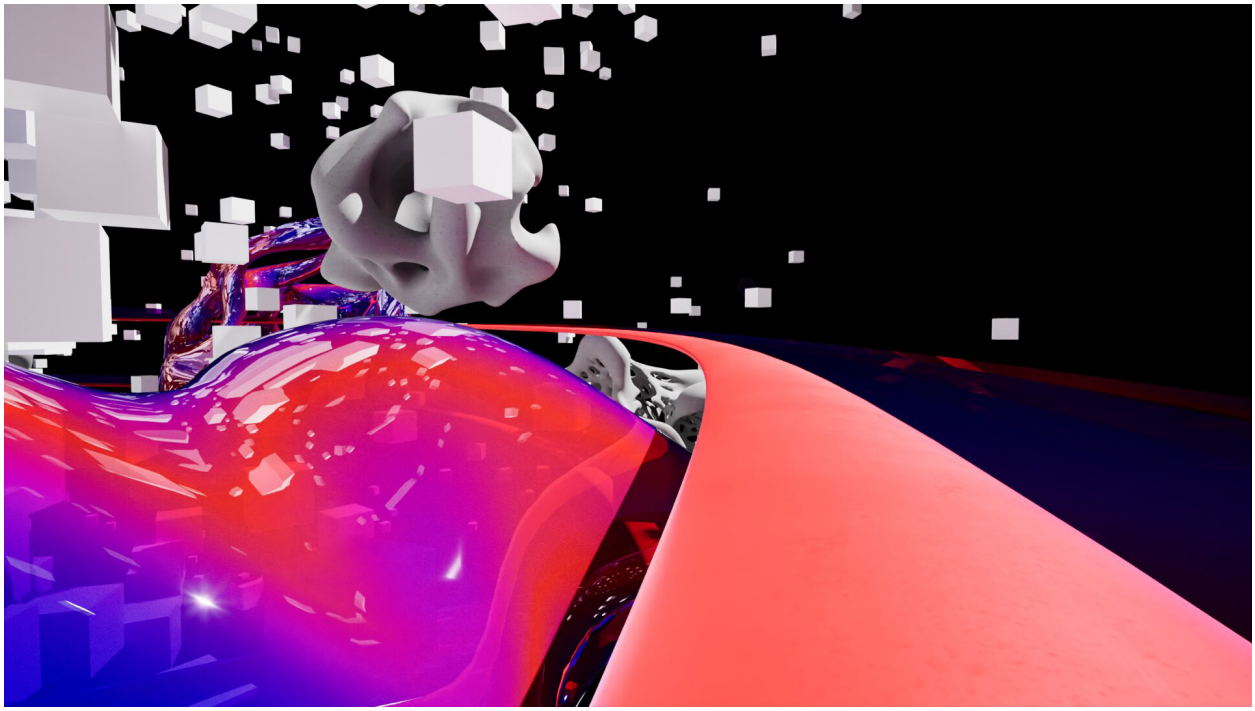


Figura 45.
[vIrtuAl museum] — Vista dal percorso elicoidale esterno con elementi Blob; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

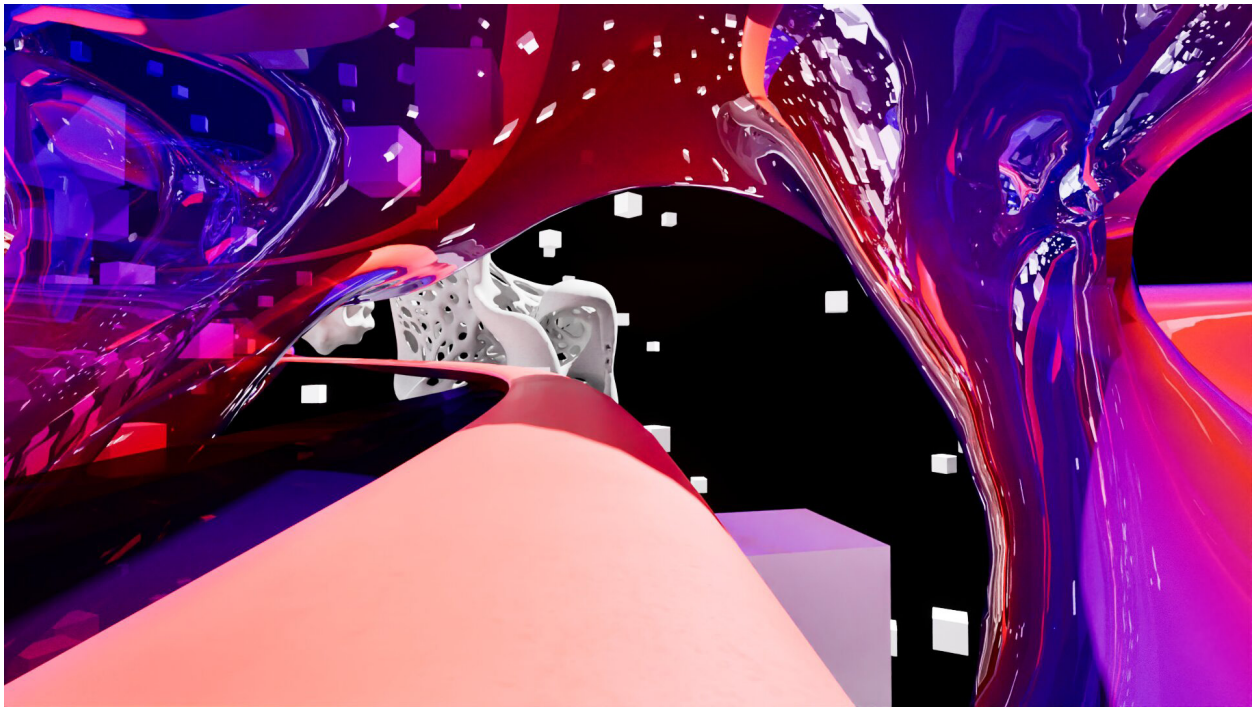


Figura 46.
[vIrtuAl museum] — Vista dall'elica esterna; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.



Figura 47.
[vIrtuAl museum] — Vista con contrapposizione degli elementi cubici e geometrie organiche in primo piano; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

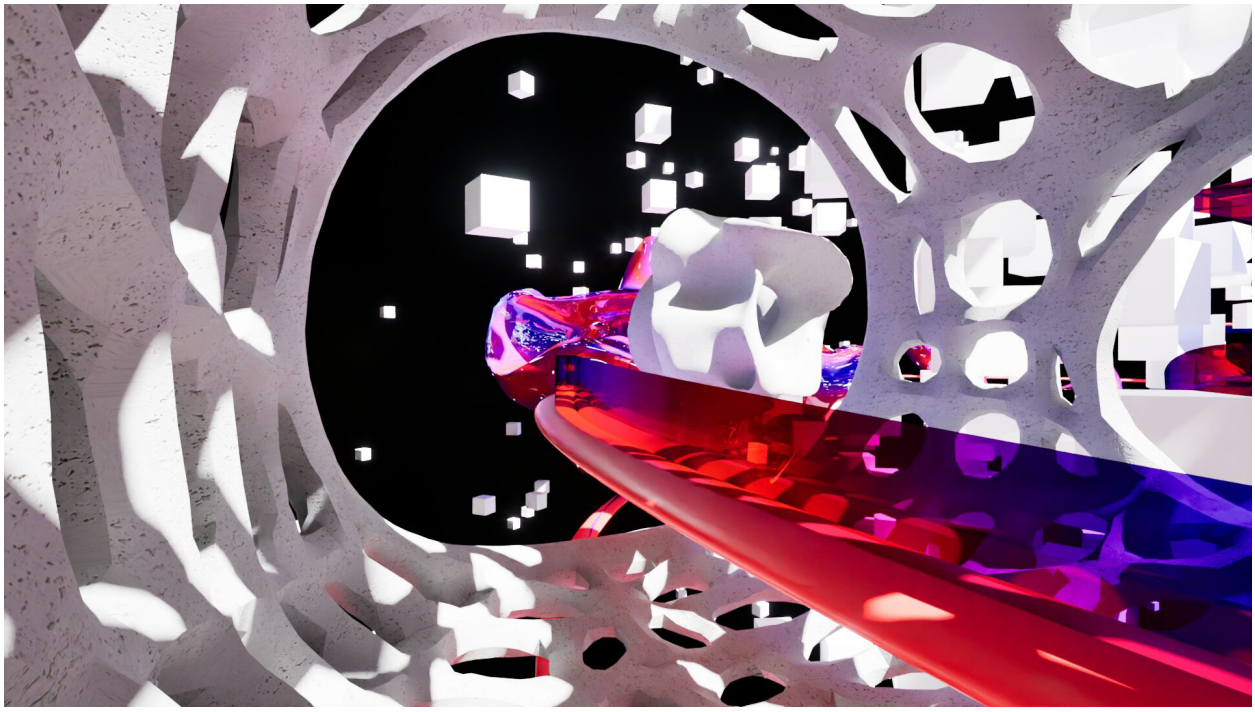


Figura 48.
[vIrtuAl museum] — Vista dall'interno di una geometria generata in Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

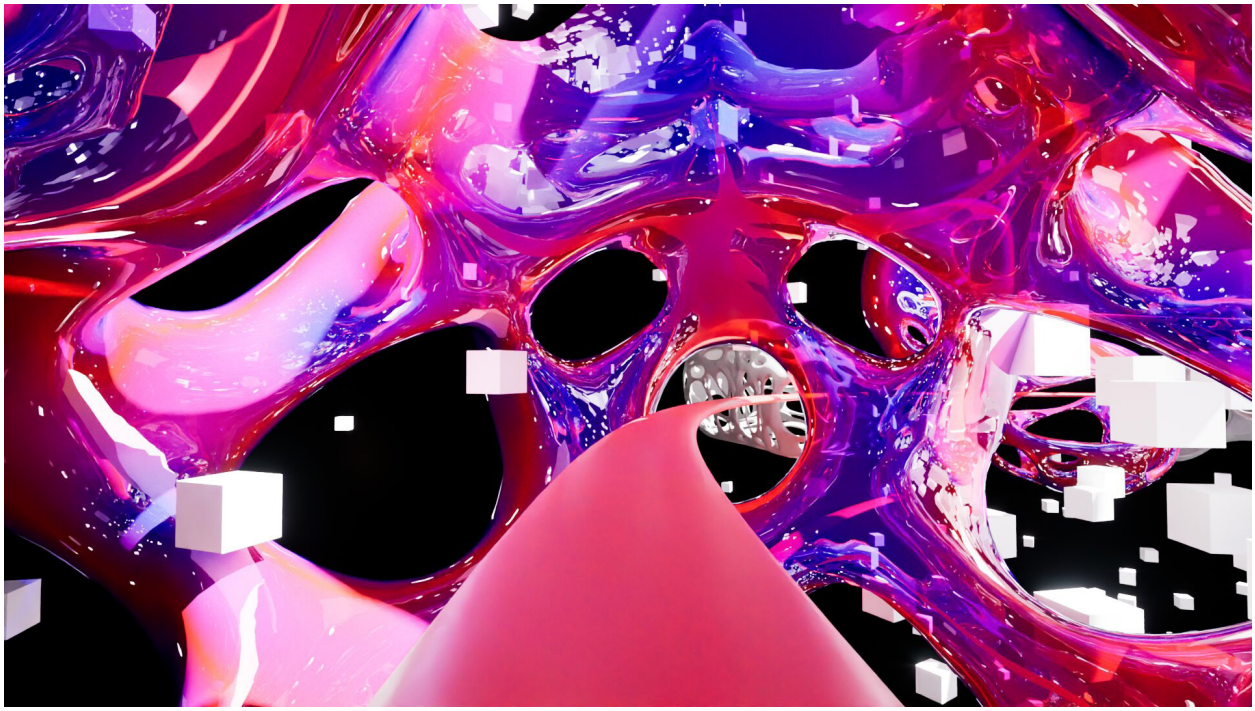


Figura 49.
[vIrtuAl museum] — Vista dall'interno di una geometria generata in Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

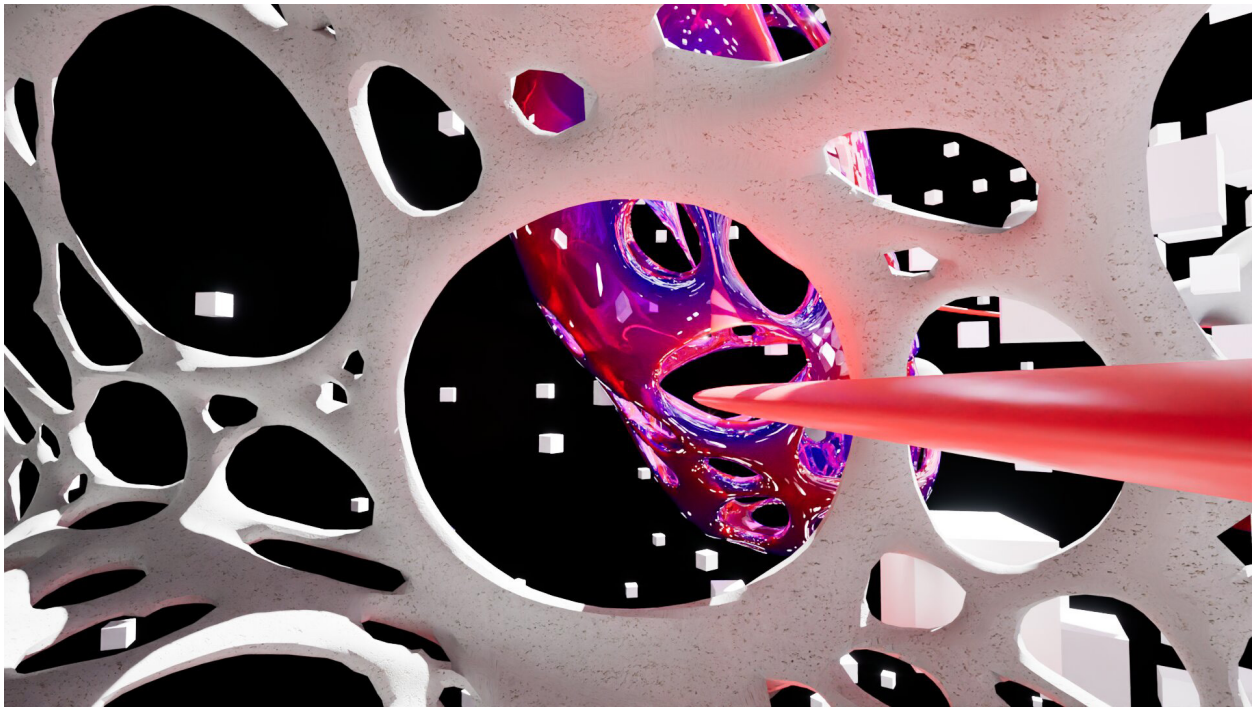


Figura 50.
[vIrtuAl museum] — Vista attraverso la geometria organica generata con Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

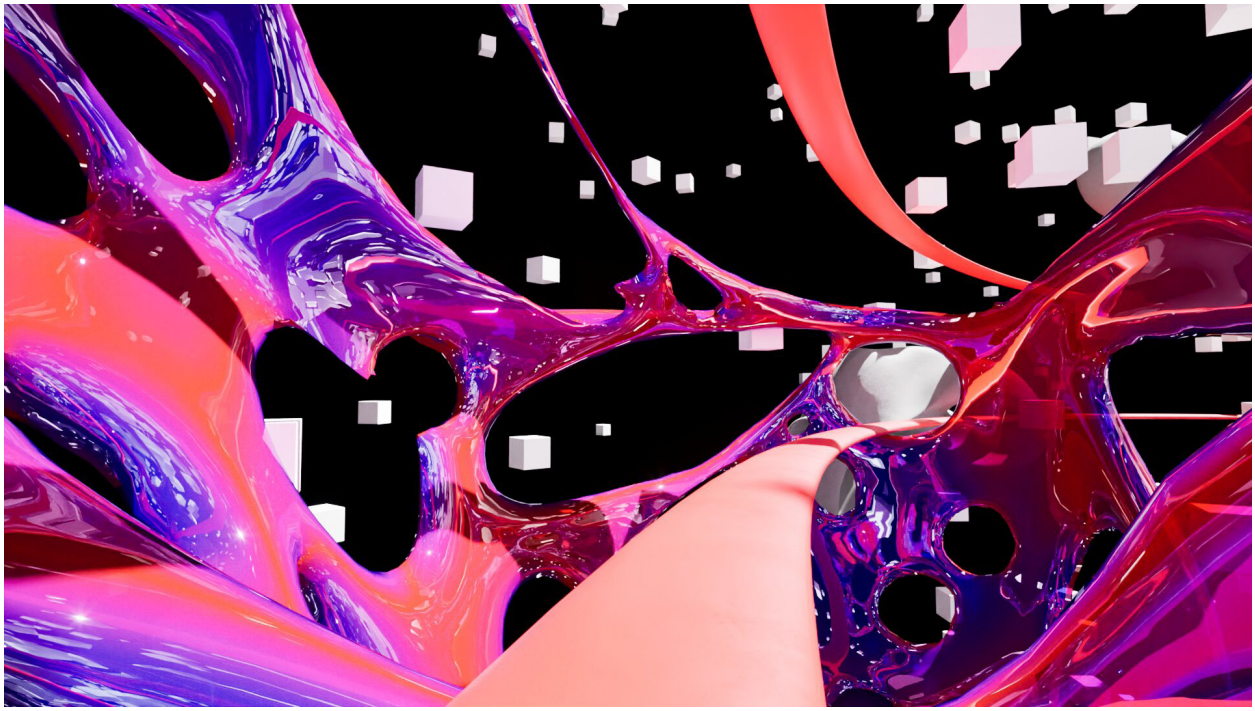


Figura 51.
[vIrtuAl museum] — Vista dall'interno di una geometria generata in Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

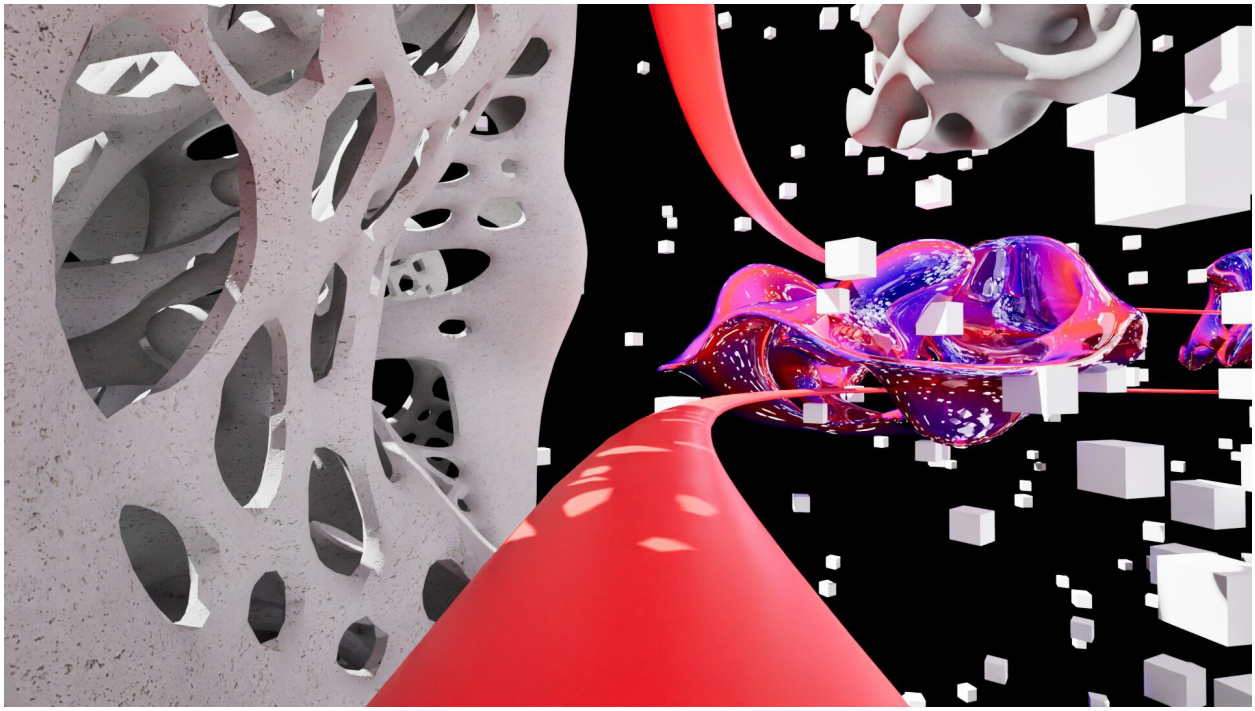


Figura 52.
[vIrtuAl museum] — Vista sul percorso rosso con geometria organica laterale; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

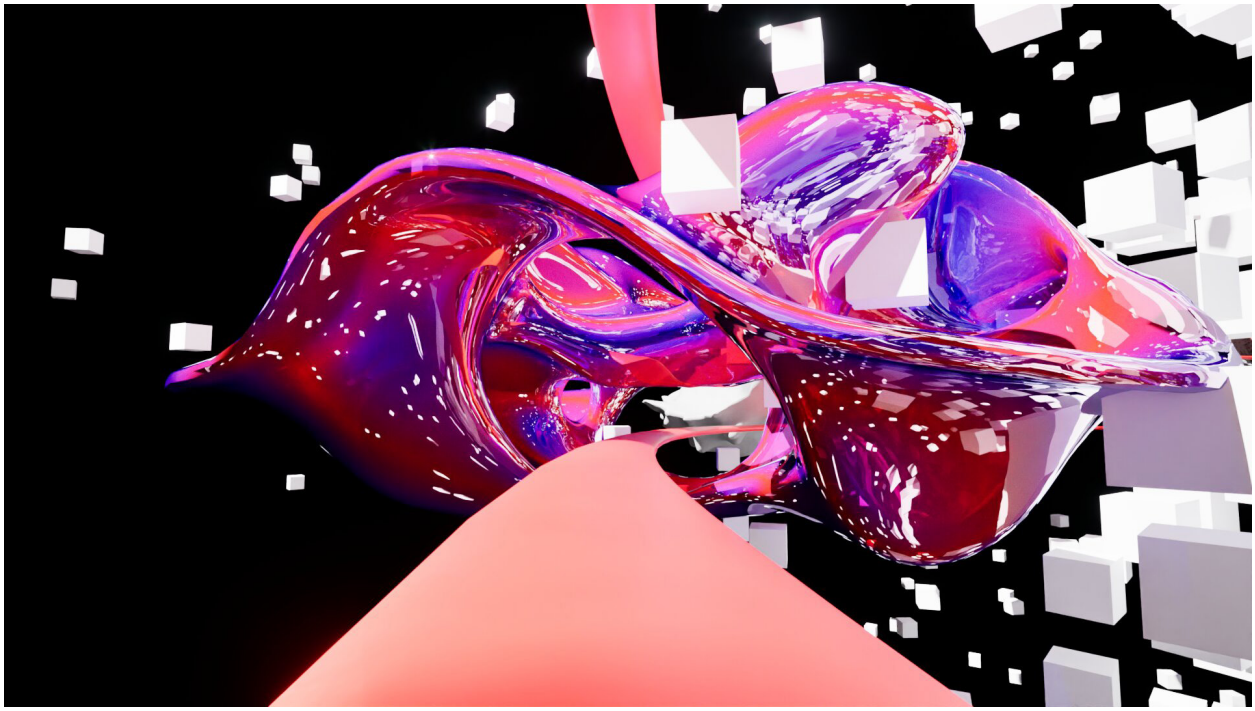


Figura 53.
[vIrtuAl museum] — Vista ravvicinata sulla superficie elicoidale con geometria Blob traslucida; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

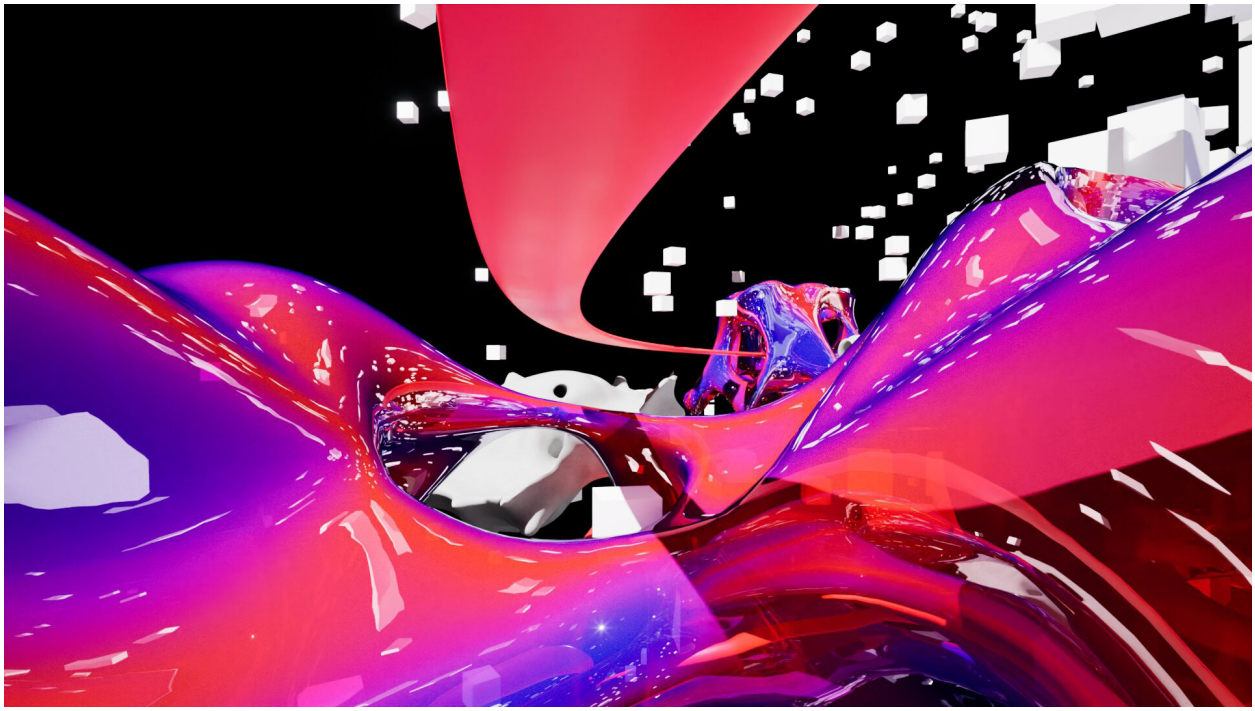


Figura 54.
[vIrtuAl museum] — Vista sulle superfici Blob traslucide; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

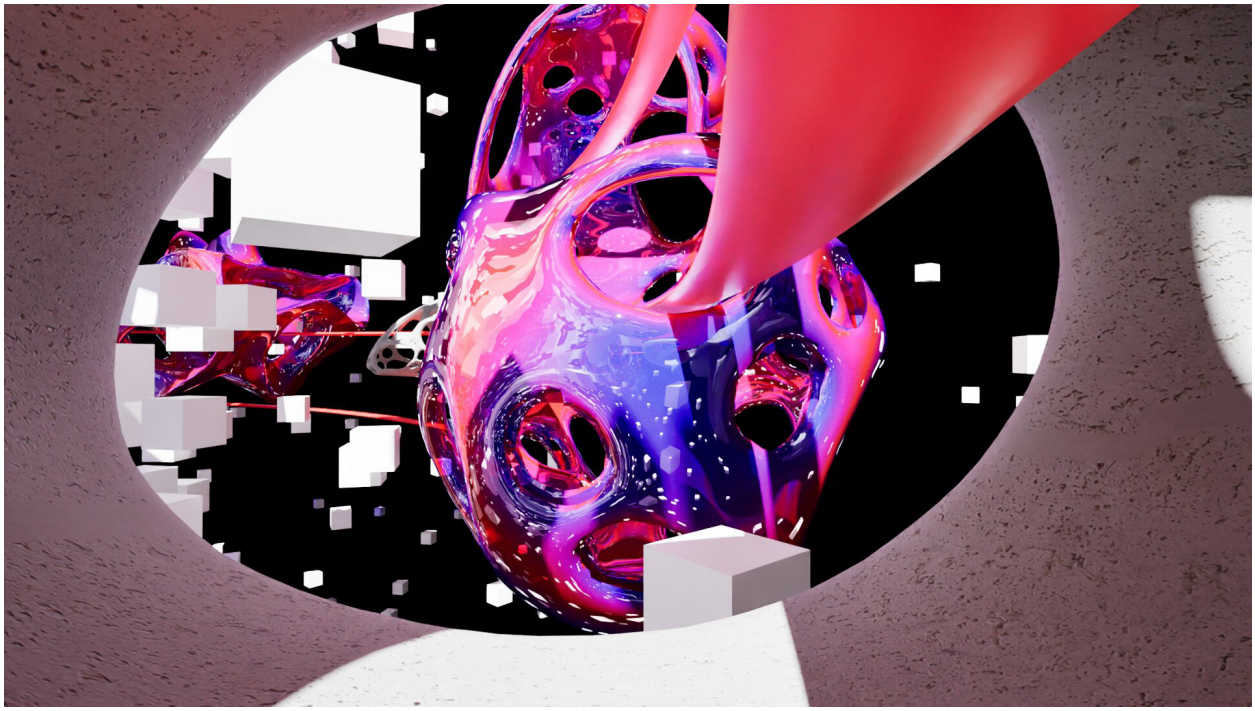


Figura 55.
[vIrtuAl museum] — Vista dall'interno di una geometria organica di morfologia sferica con cavità; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

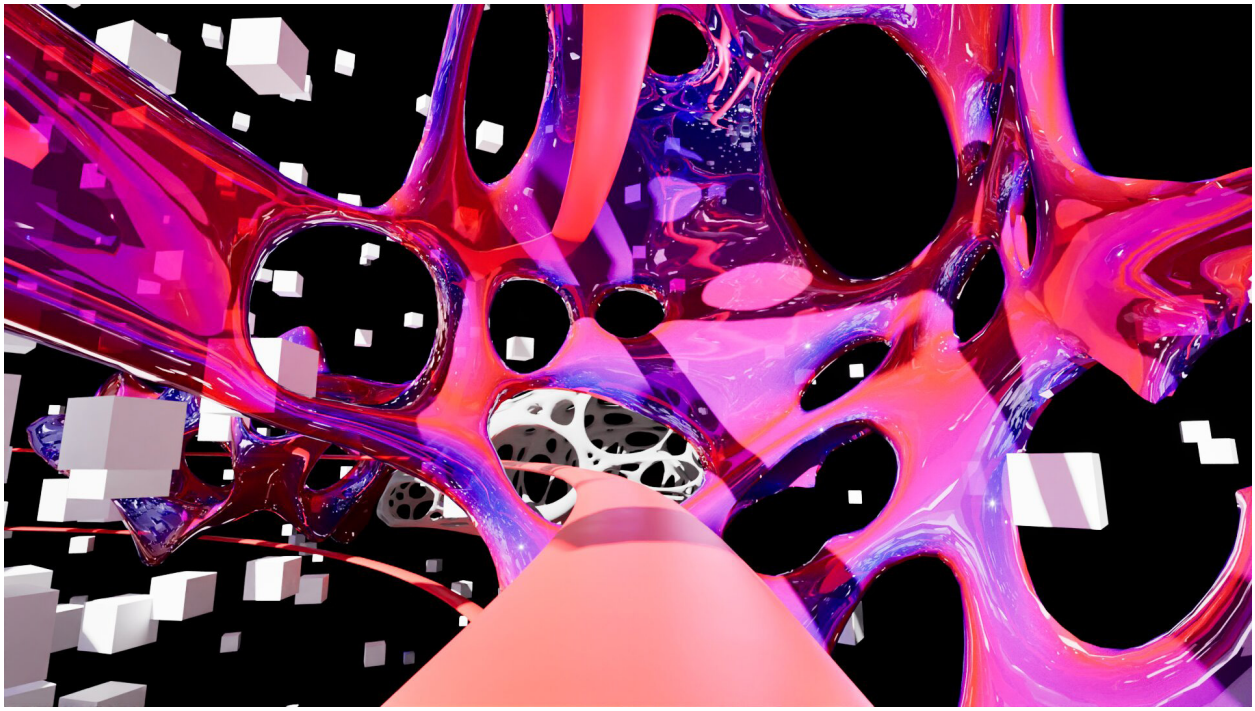


Figura 56.
[vIrtuAl museum] — Vista frontale dall'interno di una geometria generata in Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

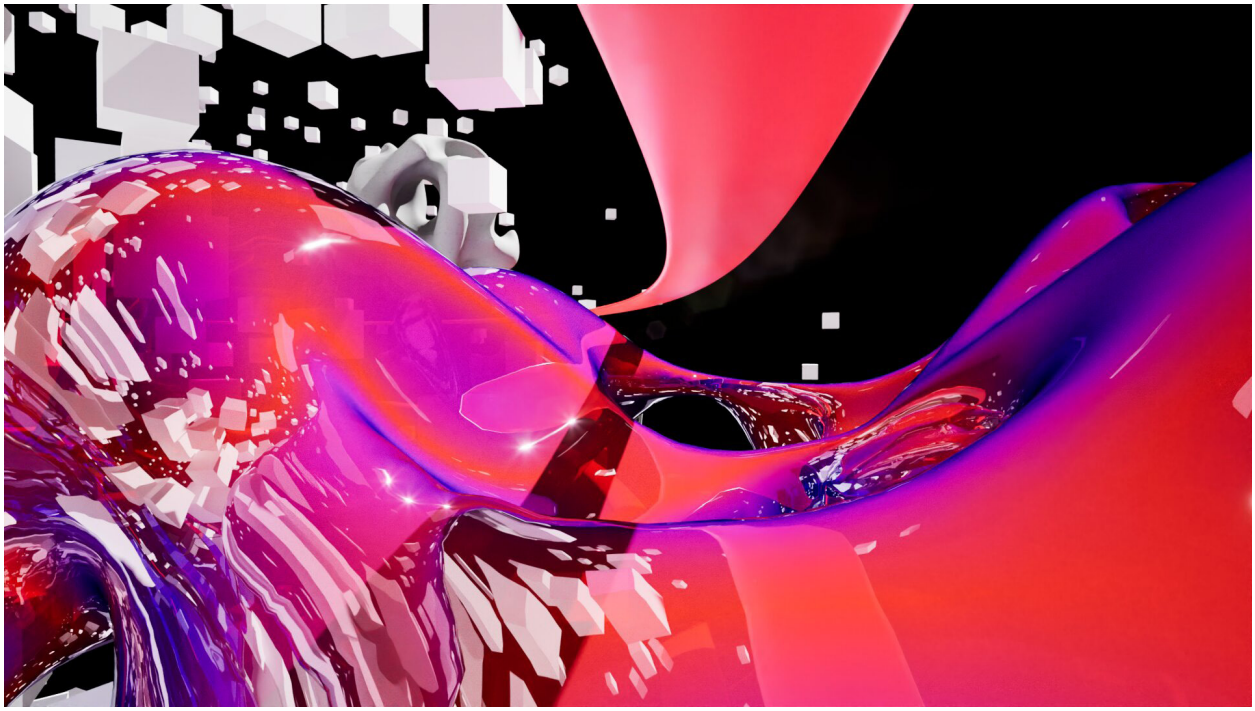


Figura 57.
[vIrtuAl museum] — Vista sopra una superficie Blob generata in meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

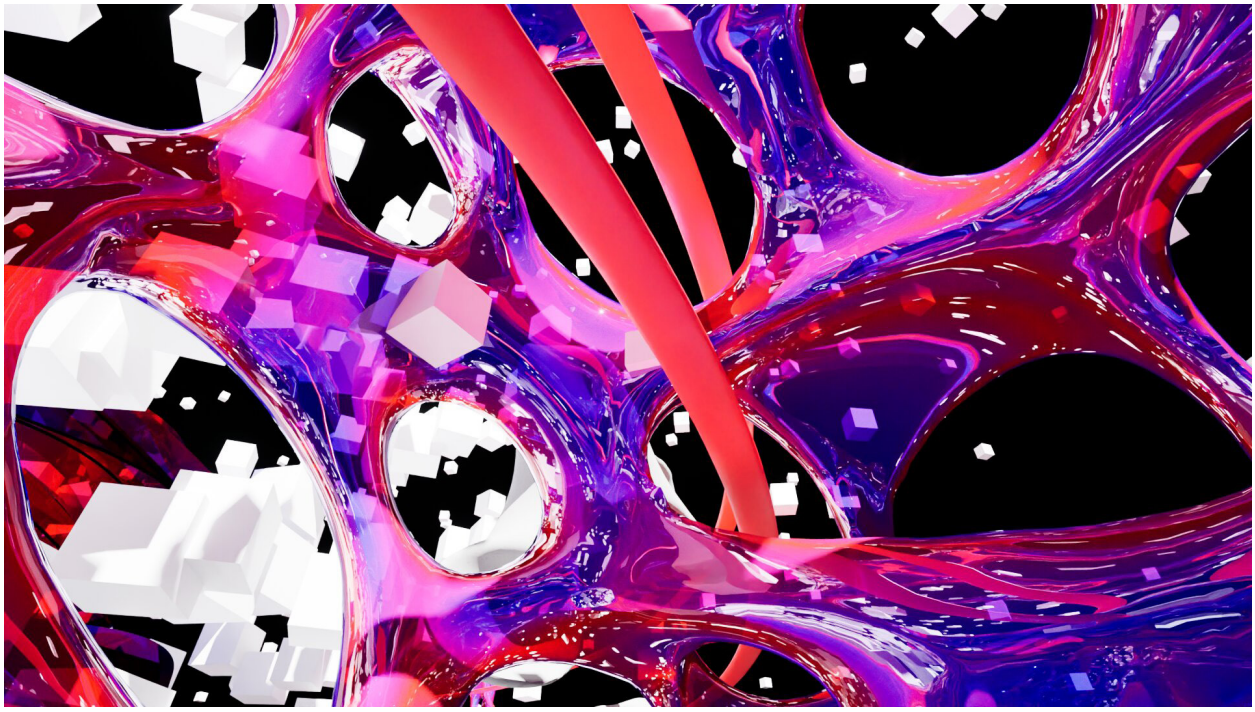


Figura 58.
[vIrtuAl museum] — Vista dal basso che mostra la relazione tra percorso e geometrie realizzate con Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

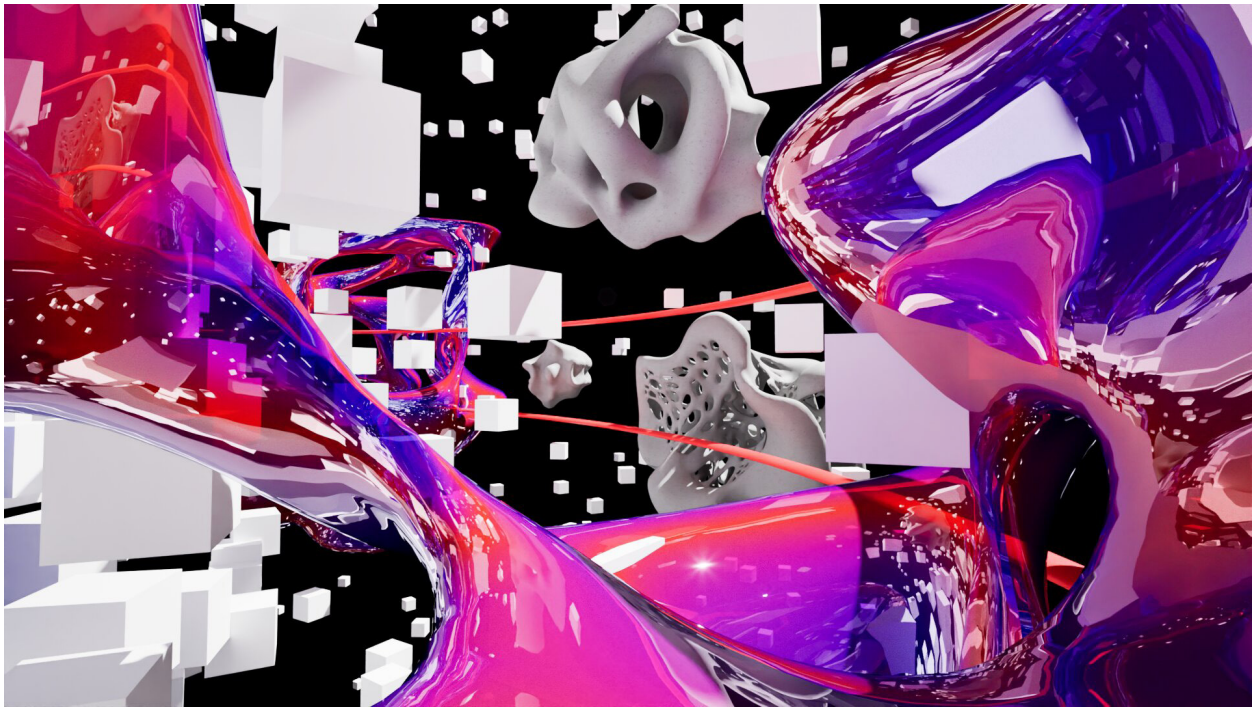


Figura 59.
[vIrtuAl museum] — Vista con geometrie organiche multiple e percorso elicoidale; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

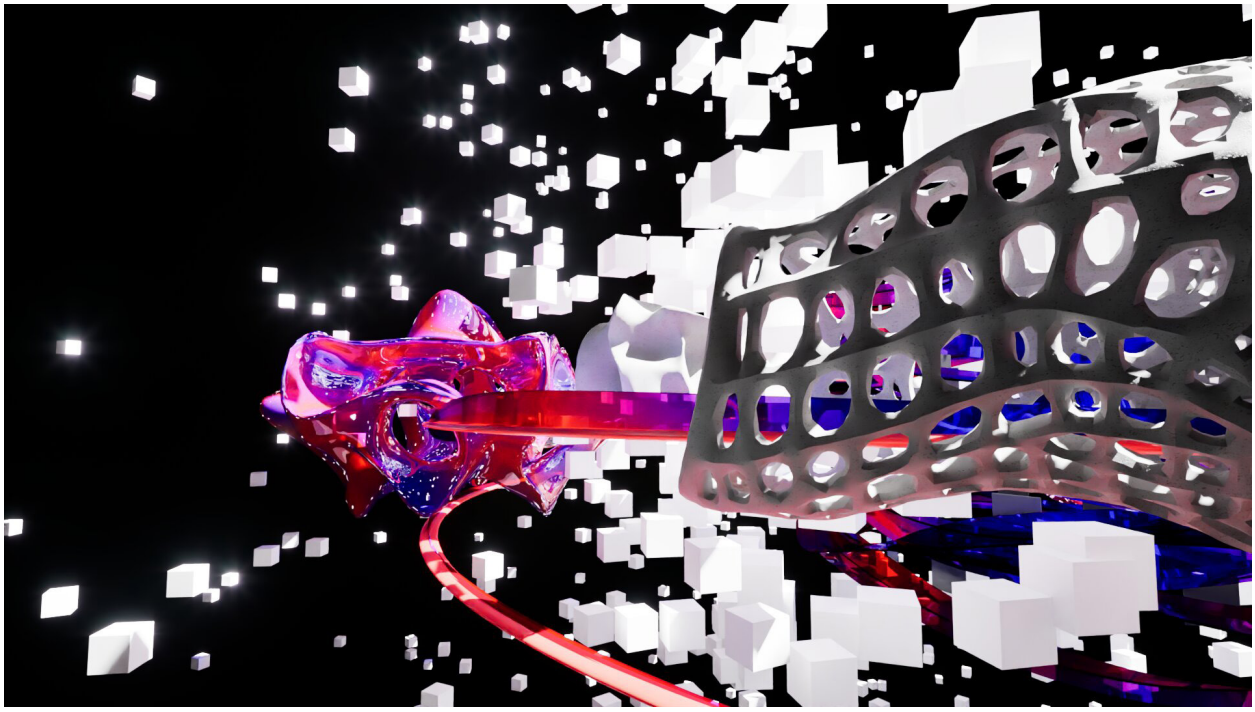


Figura 60.
[vIrtuAl museum] — Vista che mostra la relazione tra geometrie realizzate in Meshy AI, la struttura elicoidale rossa e i cubi bianchi distribuiti nello spazio; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

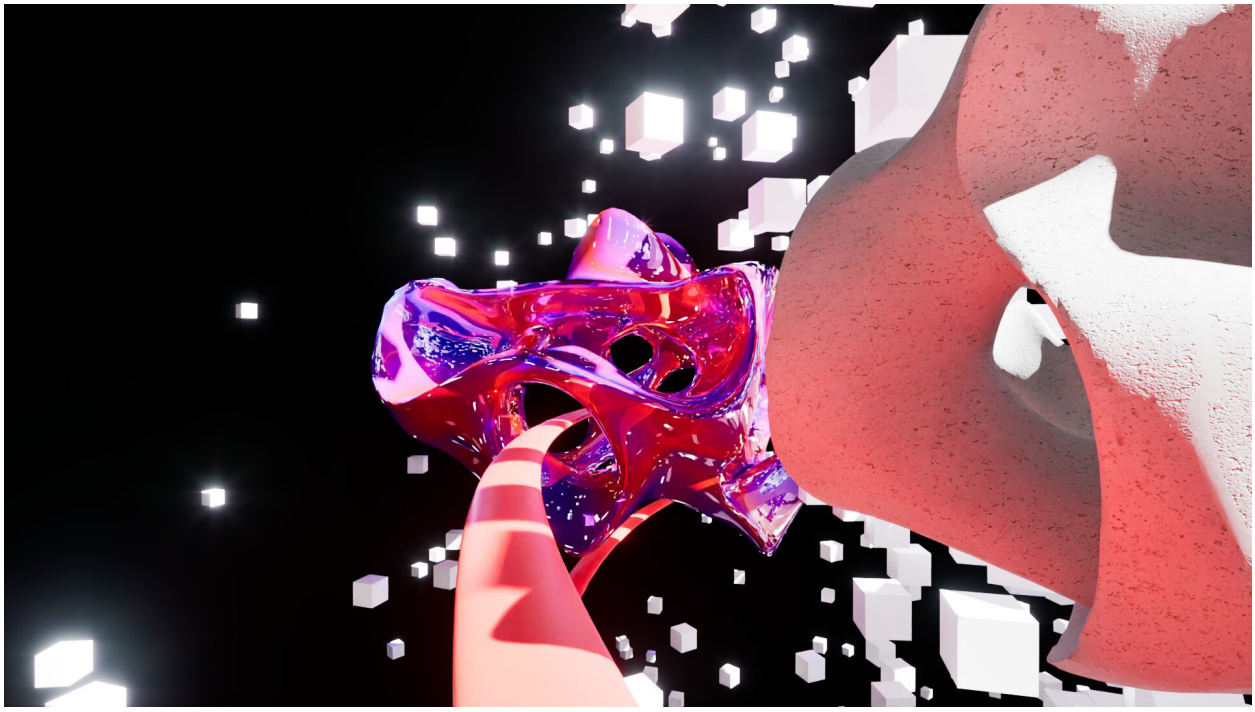


Figura 61.
[vIrtuAl museum] — Vista dal percorso rosso con elementi generati in Meshy AI; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

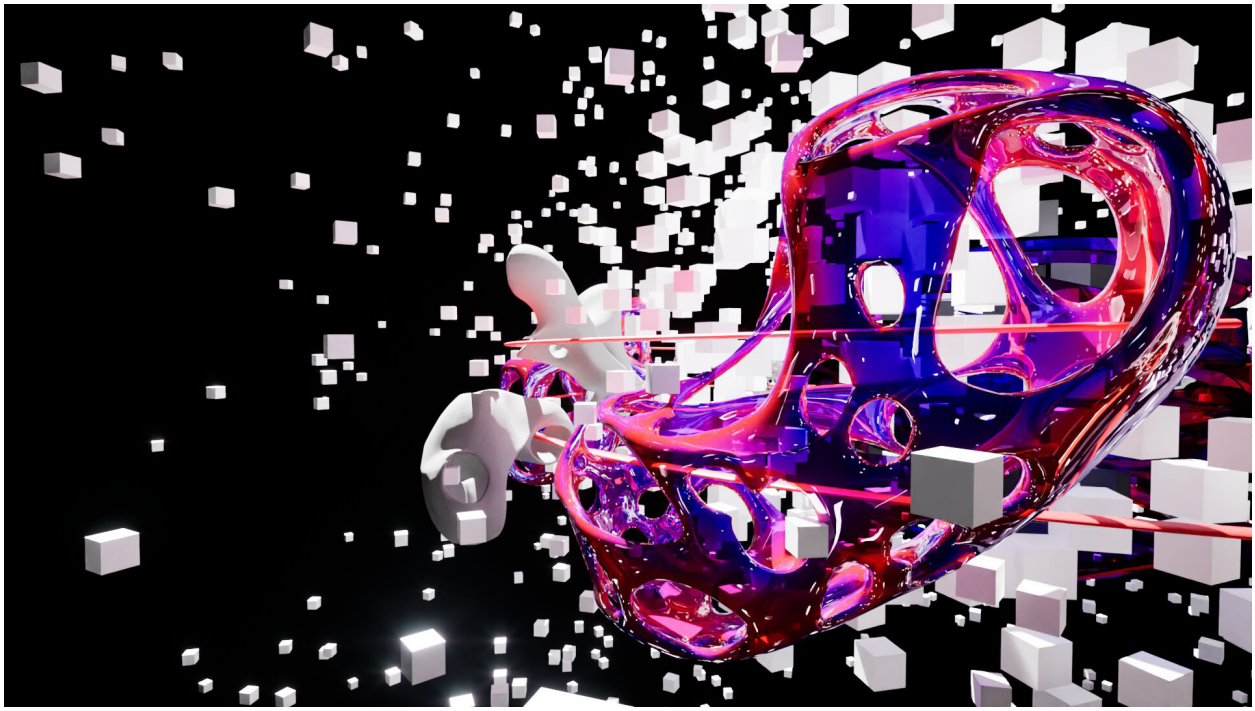


Figura 62.
[vIrtuAl museum] — Vista che mostra la relazione tra geometrie realizzate in Meshy AI, la struttura elicoidale rossa e i cubi bianchi distribuiti nello spazio; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

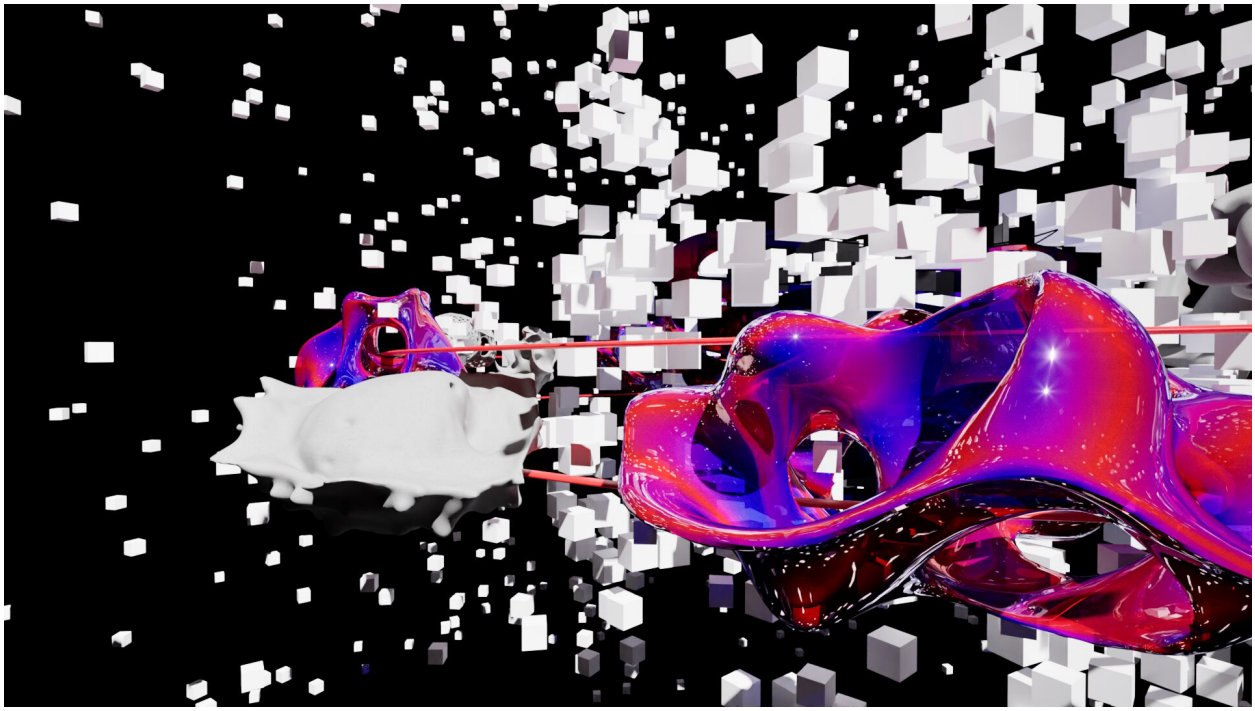


Figura 63.
[vIrtuAl museum] — Vista che mostra la relazione tra geometrie realizzate in Meshy AI, la struttura elicoidale rossa e i cubi bianchi distribuiti nello spazio; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

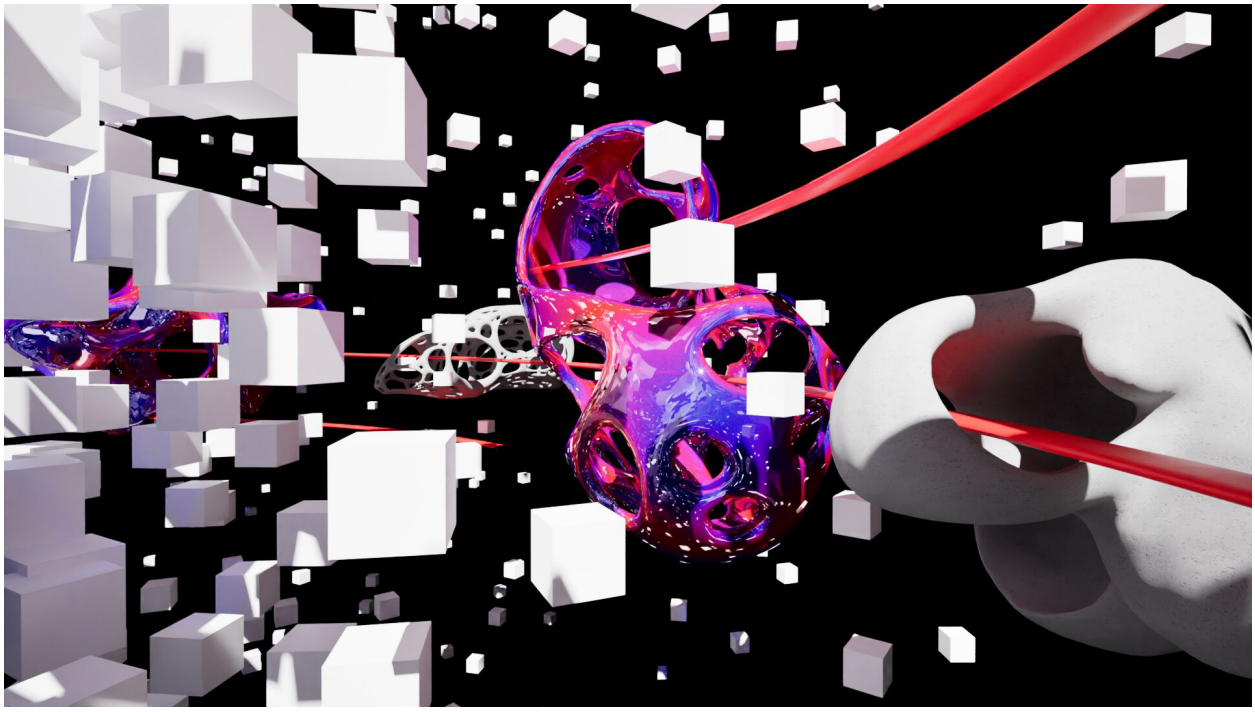


Figura 64.
[vIrtuAl museum] — Vista che mostra la relazione tra geometrie realizzate in Meshy AI, la struttura elicoidale rossa e i cubi bianchi distribuiti nello spazio; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

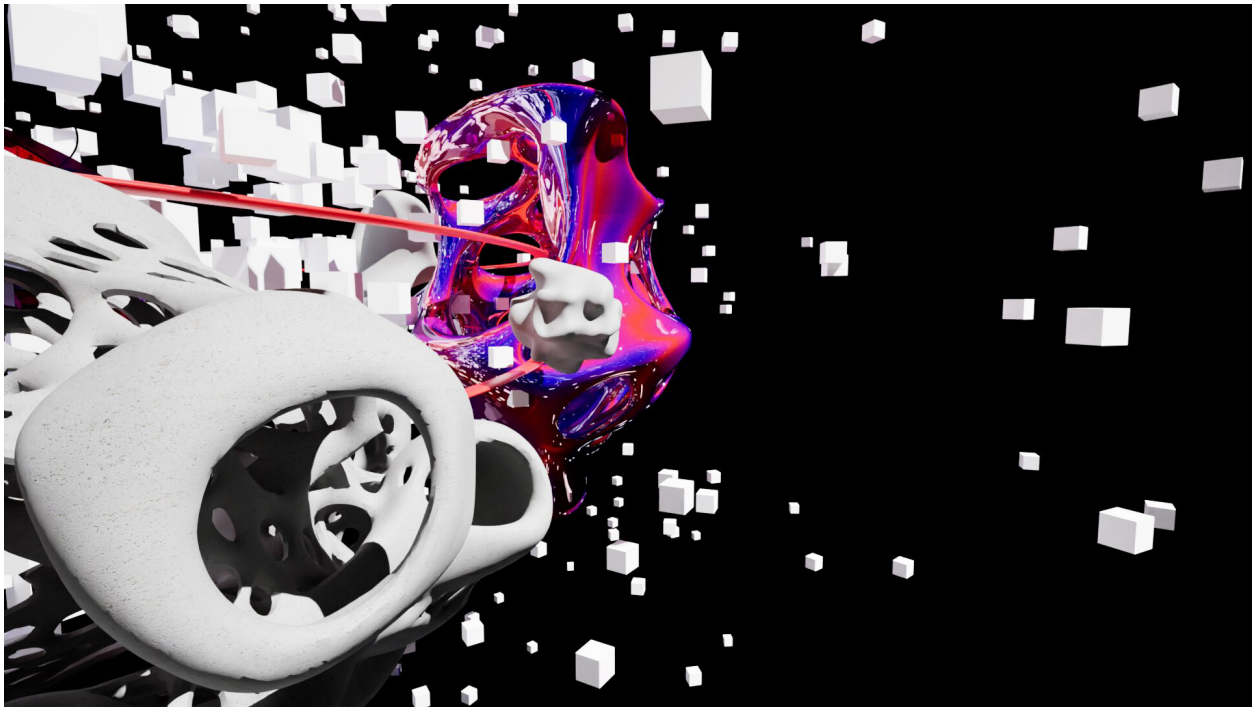
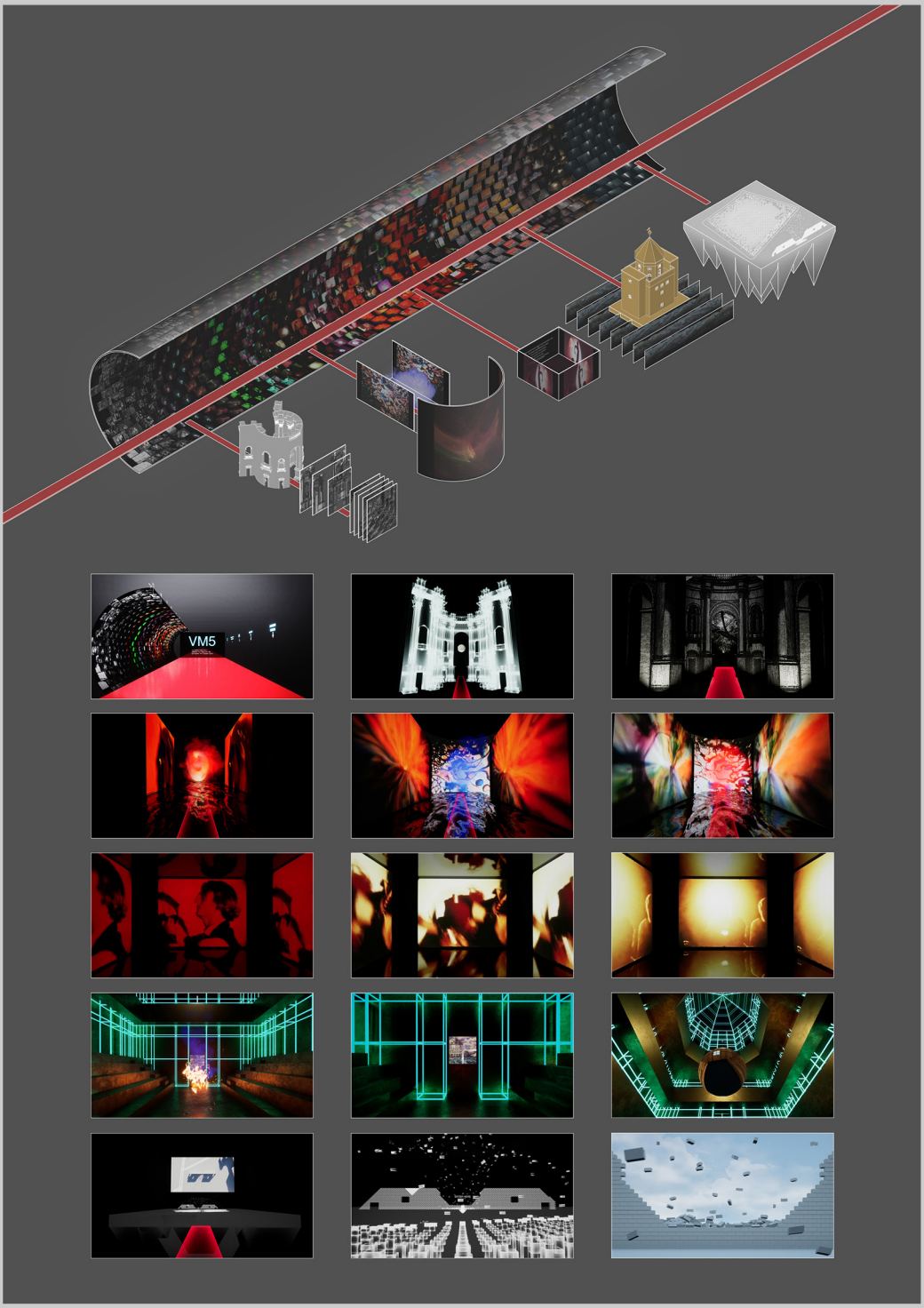


Figura 65.
[vIrtuAl museum] — Vista su geometria organica grigia con cavità interne e cubi; Render in Twinmotion 2025. F. Zollo, 2025.

BOX _ Antefatti:

VM5 2022 - Progetto di un Museo Virtuale dell'Architettura Effimera - Fabio Zollo.

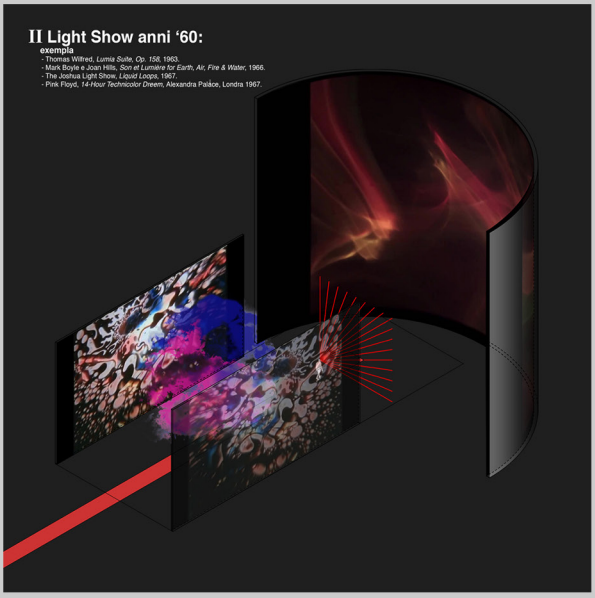
Laboratorio di Tesi di Laurea quinquennale in Architettura, coordinato dai proff. G. Caffio e M. Unali, del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti e Pescara.



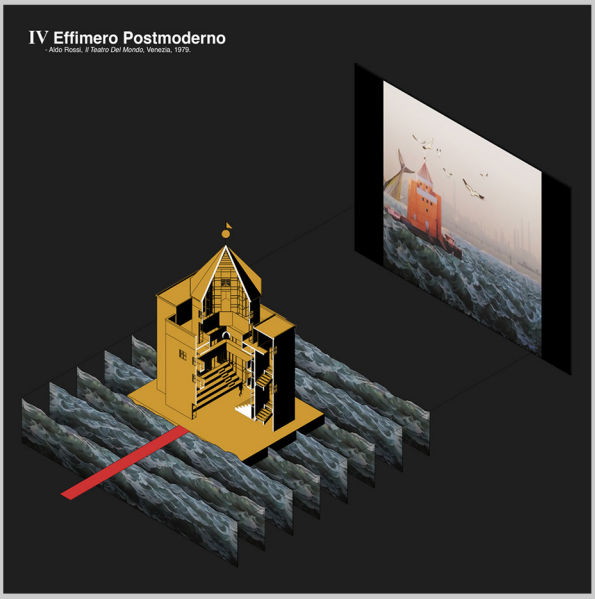
Caffio, G., Unali, M., Zollo, F. (2024), *Towards a Virtual Museum of Ephemeral Architecture: Methods, Techniques and Semantic Models for a Post-digital Metaverse*, in GIORDANO A., RUSSO M., SPALLONE R. (a cura di), *Beyond Digital Representation. Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design*. Springer, pp. 191-207.

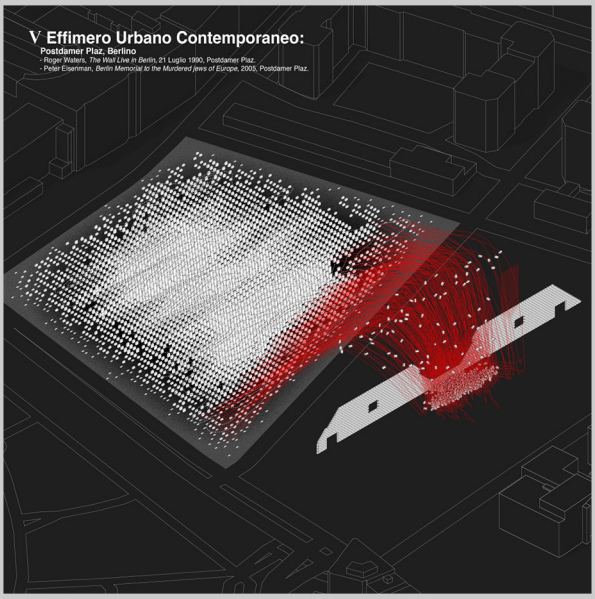

VM5
2022


I Effimero Storico:
dal *Teatro Sacro* di Andrea Pozzo alle *Carceri* del Piranesi
- Andrea Pozzo, *Teatro Sacro*, 1695.
- Giovanni Battista Piranesi, *Le Carceri d'Invenzione, Tavola VII*, 1745.


II Light Show anni '60:
exempla
- Thomas Wilfred, *Lumia Suite, Op. 158*, 1963.
- Mark Boyle e Joan Hills, *Son et Lumière for Earth, Air, Fire & Water*, 1966.
- The Joshua Light Show, *Liquid Loops*, 1967.
- Pink Floyd, *14-Hour Technicolor Dreem*, Alexandra Palace, Londra 1967.


III Il Modello EPI
- Andy Warhol, Velvet Underground e Nico, *Exploding Plastic Inevitable*, 1966.
EPI
ENTER HERE


IV Effimero Postmoderno
- Aldo Rossi, *Il Teatro Del Mondo*, Venezia, 1979.

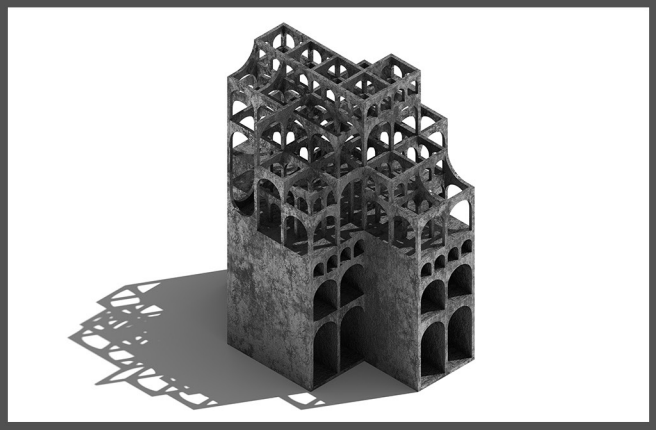

V Effimero Urbano Contemporaneo:
Postdamer Plaz, Berlino
- Roger Waters, *The Wall Live in Berlin*, 21 Luglio 1990, Postdamer Plaz.
- Peter Eisenman, *Berlin Memorial to the Murdered Jews of Europe*, 2005, Postdamer Plaz.

BOX _ Visioni Future: Dall'immagine allo spazio abitabile.

La tavola documenta ulteriori passaggi della ricerca: la transizione dall'immagine sintetica allo spazio virtuale navigabile. L'immaginario piranesiano delle Carceri d'Invenzione viene qui ibridato con un modello poligonale aggregativo di progetto, generando una serie di visioni intermedie, queste immagini, a loro volta, diventano input per la costruzione di un mondo tridimensionale esplorabile in prima persona.

"monumental piranesian carceri interior fused with modular aggregated architectural volumes, vast vaulted space with impossible staircases and suspended walkways, stacked cubic black masses dissolving into engraved architecture, dramatic chiaroscuro, deep atmospheric perspective, tiny human figures for scale, etched line work, hatched shadows, high contrast black and white"

+





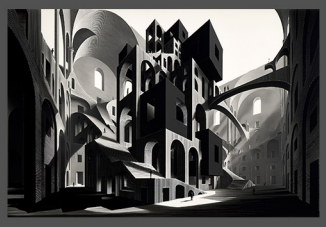
=













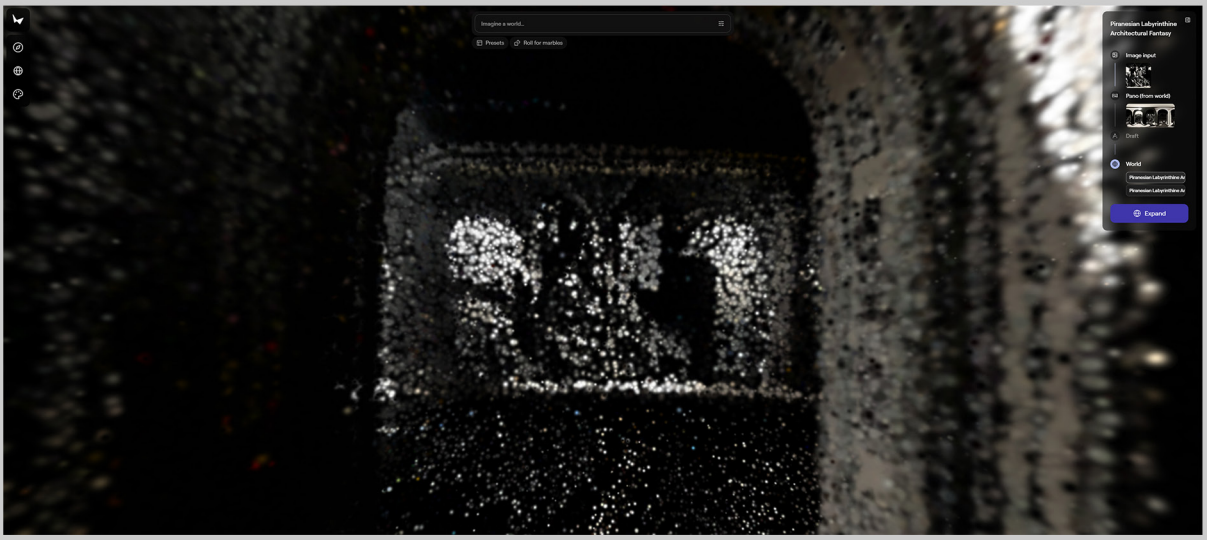




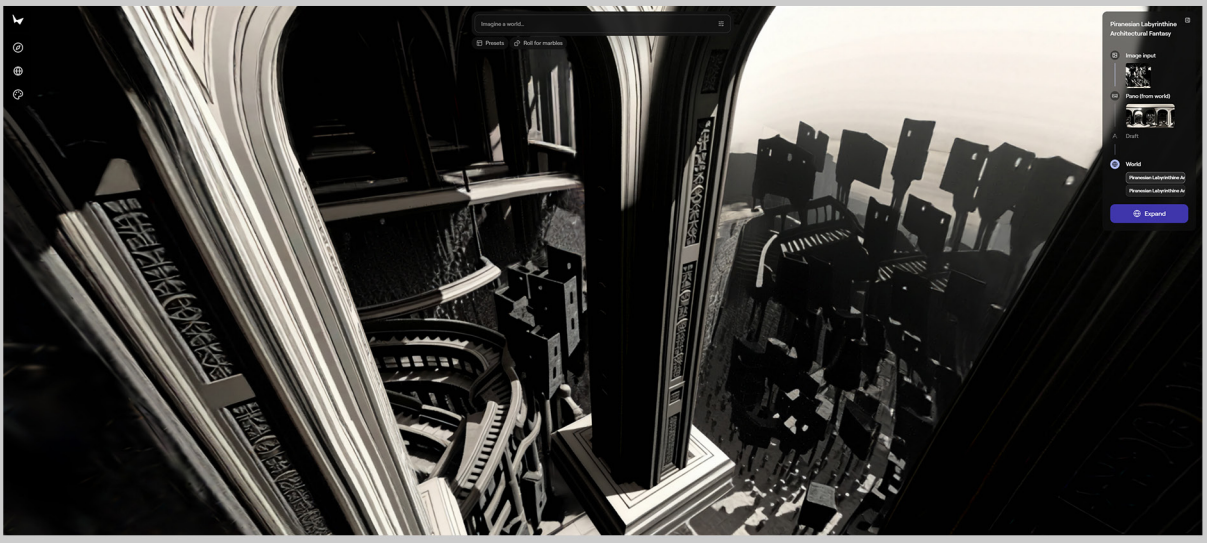


Ibridazione tra modello poligonale e immaginario piranesiano tramite generazione sintetica (Midjourney V6, V8); gli output diventano input per un mondo navigabile in tempo reale (Marble, World Labs). L'esito finale della sperimentazione è consultabile come mondo navigabile in tempo reale: *marble.worldlabs.ai/world/55a78472-93e0-44f0-805d-917b5f7e3027.*

"Vast piranesian interior space with monumental vaulted arches, impossible staircases climbing in multiple directions, aggregated modular cubic black volumes suspended within the architecture, nested arches receding into deep atmospheric perspective, dramatic chiaroscuro lighting, etched engraving aesthetic, high contrast black and white hatched textures, tiny human figures for scale, infinite labyrinthine carceri atmosphere"











CONCLUSIONI

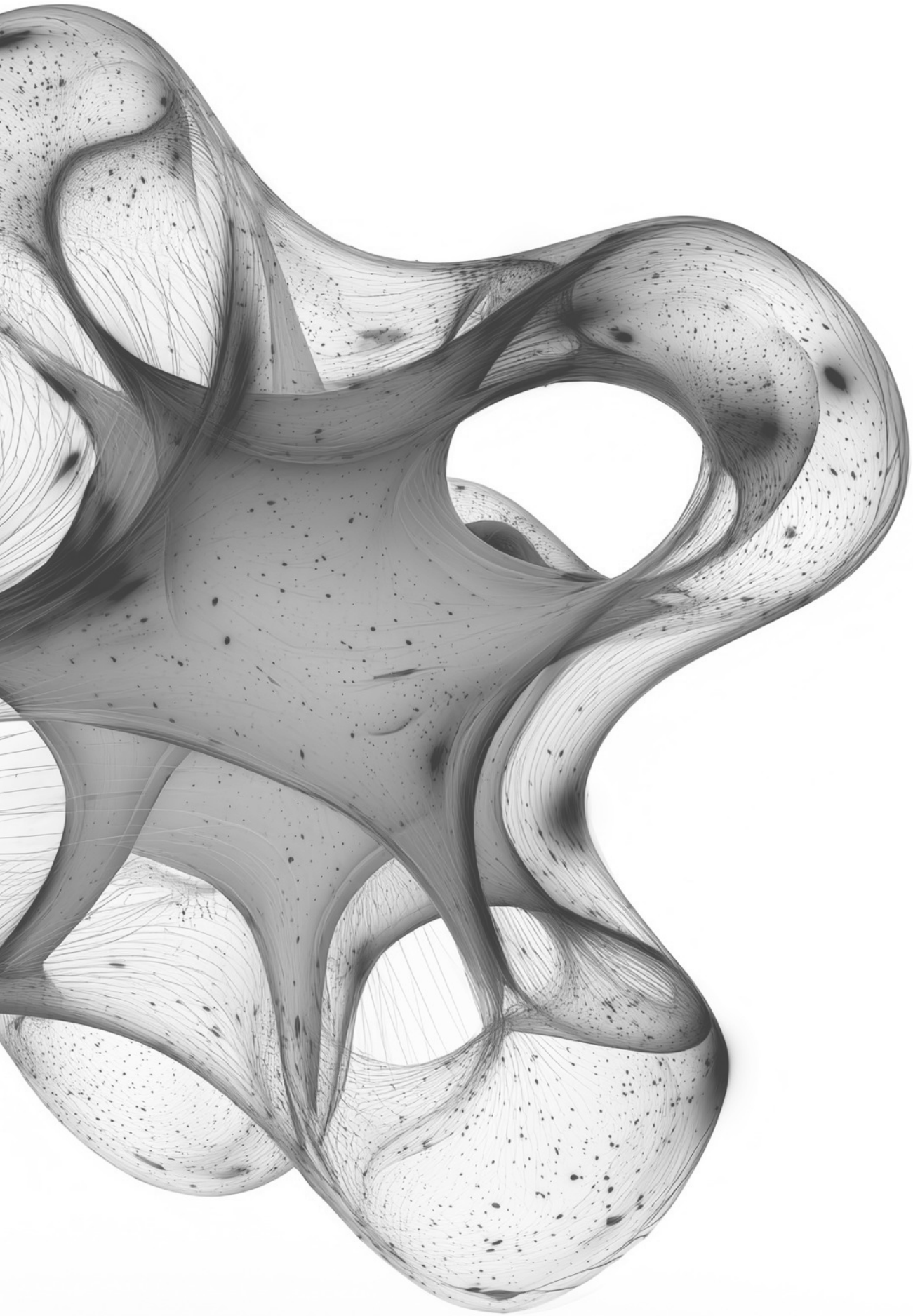


Immagine tratta dalle Figg. 07 - 08, Cap. 3.1.1 Selezione delle immagini ad alta risoluzione per il corpus di addestramento LoRA. Rappresentazione in modalità inversa di una selezione di immagini ad alta risoluzione generate con Midjourney V7 in modalità Raw. F. Zollo, 2025.

CONCLUSIONI

Questa ricerca nasce dall'obiettivo principale di studiare l"abitare virtuale' generato dalle tecnoculture digitali e, in particolare, dall'uso delle applicazioni di IA generativa nella costruzione dell'idea di museo virtuale.
Le prime domande a cui tentare di dare una risposta sono state:
Come si progetta un ambiente che non è pensato per essere realizzato nello spazio fisico?
Come si abita un luogo senza materia, senza gravità, senza vincoli costruttivi?
Come si governa un processo progettuale in cui l'agente generativo non è più solo il progettista umano?
Come si può immaginare un metodo progettuale quando gli strumenti partecipano attivamente alla produzione della forma?
Il percorso di ricerca ha preso inizio da un'ipotesi progettuale legata alle tematiche del museo virtuale in un periodo in cui era ancora vitale l'idea di metaverso.
Successivamente, con l'aumentare degli studi e delle ricerche nell'ambito dell'IA generativa, la ricerca si è spostata più verso lo sviluppo di una metodologia metaprogettuale che integri teoria, rilievo storico-critico e sperimentazione con strumenti di intelligenza artificiale generativa, mantenendo al centro la responsabilità autoriale del progettista, pensato come regista di un fenomeno complesso.
A conclusione di questa ricerca, una prima valutazione conferma l'interesse del metodo ipotizzato per la progettazione di spazi virtuali di qualità architettonica, riconoscibile attraverso strumenti di IA generativa.
Abbiamo così verificato che è possibile mantenere un controllo metodologico su questo processo, documentarlo con rigore scientifico, renderlo replicabile da altri ricercatori.
Abbiamo verificato anche che il museo virtuale si conferma

come caso paradigmatico: non per le sue peculiarità ‘istituzionali’, ma perché concentra in modo esemplare le tensioni che l’architettura digitale contemporanea sta affrontando, tra creatività generativa e controllo curatoriale, tra sperimentazione formale e responsabilità culturale, tra potenza degli strumenti tecnoculturali e consapevolezza critica del loro uso.

Il ‘sistema binario’ che ha strutturato l’indice della ricerca — Rilievo dell”abitare virtuale’; Sperimentazioni metaprogettuali — si è dimostrato non solo come un valido metodo organizzativo ma come fondamentale principio epistemologico e operativo: le due fasi della ricerca non sono sequenziali ma ricorsive, ciascuna retroalimentando l’altra in un continuo processo di ibridazione culturale e riciclaggio estetico.

La genealogia critica costruita nella Prima Parte della ricerca non è rimasta asettica rispetto alla sperimentazione progettuale della Seconda Parte, ma ha orientato concretamente le scelte metodologiche. Ad esempio, la scelta di aver individuato nell’*Embryological House* di Greg Lynn un interessante corpus di riferimento per il *fine-tuning* LoRA non è stata arbitraria ma fondata sulla genealogia del paradigma parametrico ricostruita nel Cap. 1.1; la scelta delle tre strategie GHPython non è stata casuale ma motivata dalla tripartizione degli approcci alla geometria algoritmica documentata nel catalogo.

Queste intense relazioni tra le parti della ricerca sono state fondamentali sia per aver alimentato la collocazione storica evolutiva del fenomeno, sia per aver reso replicabili a livello metodologico le scelte adottate.

Entrando più nello specifico, è possibile riconoscere un primo contributo di ordine teorico e storiografico nell’aver tracciato un’evoluzione genealogica e critica dell’abitare virtuale.

Oltre alla rassegna cronologica delle opere, si è tracciata

una periodizzazione argomentata suddivisa in sei fasi di trasformazione, ciascuna definita da eventi-soglia e da una mutazione di paradigma che la distingue dalle precedenti e ne prepara le successive.

Il catalogo di 112 schede (Appendice A1) che accompagna la periodizzazione non è un repertorio passivo ma uno strumento di ricerca attivo: la sua organizzazione in tre macro-categorie — *Tecnoculture*; *Riferimenti Concettuali e Visivi*; *Abitare Virtuale* — riflette una classificazione interpretativa che permette di leggere le relazioni trasversali tra paradigmi apparentemente distanti, e che ha orientato la costruzione del *framework* metodologico della seconda parte dello studio.

Il contributo teorico in questa parte della ricerca può essere sintetizzato in due elementi specifici: la sistematizzazione delle sei fasi in relazione alla questione dell'IA generativa come elemento periodizzante; il collegamento esplicito tra la genealogia storica e le scelte metodologiche della sperimentazione.

Riflettendo ancora sui risultati ottenuti riguardo al metodo utilizzato nella ricerca, possiamo affermare che si è messo a punto un *framework* operativo per la progettazione di spazi architettonici virtuali attraverso IA generativa, articolato in tre approcci complementari che corrispondono a tre diversi livelli di controllo e a tre diverse tipologie di *output*.

Il primo approccio (il *workflow* sequenziale *text-to-image-to-video-to-3D* documentato nel Cap. 3.1.1) dimostra come la frammentazione tra strumenti specializzati possa essere trasformata in risorsa metodologica attraverso un'orchestrazione consapevole delle transizioni tra modalità operative differenti.

Le scelte tecniche documentate nel Cap. 3.1.1 (l'uso del *background* nero nei *prompt Midjourney* per ottimizzare la segmentazione in *Meshy AI*, la selezione delle viste video per il *Multi-view 3D*, la *pipeline* di decimazione in tre stadi) non

sono consigli pratici ma dimostrazioni del principio che ogni scelta tecnica ha conseguenze estetiche e morfologiche, e che la consapevolezza di questa catena causale è la forma concreta in cui si manifesta il controllo autoriale nel processo generativo.

Il secondo approccio (il *fine-tuning* LoRA documentato nel Cap. 3.1.2) introduce un principio metodologico che ha implicazioni che trascendono la specifica tecnica impiegata: l'importanza della costruzione del *dataset* come atto progettuale primario.

La selezione delle 128 immagini del corpus di addestramento, la variazione sistematica delle angolazioni e dei materiali, la definizione dei criteri di esclusione qualitativa: queste operazioni hanno preceduto e condizionato tutto il processo di addestramento. Il curatore del *dataset* è il primo progettista del modello, e questa responsabilità, che il processo tecnico tende a rendere invisibile, va esplicitata e assunta consapevolmente.

Il terzo approccio (il *workflow ChatGPT-GHPython-Grasshopper* documentato nel Cap. 3.1.3 e nelle sue tre strategie), infine, dimostra che i *chatbot* sono in grado di supportare le scelte in ambito computazionale e soprattutto fornire implementazioni eseguibili che mantengono la manipolabilità parametrica.

Tornando a un argomento accennato all'inizio di queste conclusioni — quando ragionavamo sull'idea di 'metaverso' come sbocco ideale futuro dell'abitare virtuale (cfr. l'annuncio di Mark Zuckerberg nel video noto come *Founder's Letter* del 28 ottobre 2021) —, dobbiamo sottolineare come durante il percorso della ricerca abbiamo modificato la tecnologia di costruzione dello spazio virtuale condiviso, passando dalle sperimentazioni del metaverso a quelle delle IA generative.

In altre parole, il periodo della ricerca ha coinciso con le profonde trasformazioni dei media di simulazione dello spazio virtuale generando all'inizio un primo apparente

disorientamento, successivamente, invece, sostituito dall'opportunità di verificare sul campo un importante cambio di paradigma concettuale e tecnologico nella costruzione di ambienti virtuali condivisi.
In particolare, questo cambiamento delle tecnoculture di progettazione di spazi virtuali ha anche consentito di rendere più accessibili a ricercatori e progettisti strumenti *consumer* o *open-source*.
In questo contesto di novità tecnoculturali, sembra allora configurarsi una nuova opportunità per rilanciare anche l'idea di metaverso, superando le questioni etiche sollevate nel Cap. 3.2, dove si è ragionato sulla *governance* degli spazi virtuali, sulla tutela della privacy, sul colonialismo algoritmico, sulla sostenibilità ambientale; questioni che rimangono tuttora aperte, che richiedono risposte e che la qualità visiva degli ambienti generati non sembra ancora risolvere.
In questo senso, la parabola del metaverso Meta è istruttiva per la ricerca sull'architettura virtuale.
La *Metaverse Architecture Biennale* del 2023, che ha riunito in *Decentraland* e *W3rlds* studi di architettura, istituzioni culturali e ricercatori per esplorare le possibilità dell'architettura nel metaverso, ha rappresentato un segnale significativo di questa storia dell'abitare virtuale: una riappropriazione dell'idea di spazio virtuale da parte della cultura architettonica, con gli strumenti e la consapevolezza critica che la prima ondata dell'idea metaverso sembrava non avere.
Seguendo questo ragionamento, un altro significativo contributo della ricerca può essere, quindi, rintracciato nel tentativo di dimostrare che il museo virtuale sia un paradigma metodologico applicabile per molti spazi virtuali.
Come argomentato nell'Introduzione, la scelta del metaprogetto [vIrtuAl museum] non è stata limitativa ma amplificante: concentrando le tensioni della contemporaneità

digitale — tra istituzione e ambiente immersivo, tra archivio e interfaccia, tra conservazione e sperimentazione — il museo virtuale ha permesso di verificare la metodologia in condizioni di massima esigenza prestazionale.

Affrontiamo ora la questione dei limiti riscontrati durante l'evolversi della ricerca.

Il limite più rilevante è stato quello temporale: una ricerca condotta tra il 2023 e il 2025 in un campo che si trasforma con la velocità documentata nel Cap. 3.2.2 è inevitabilmente una rappresentazione temporale in evoluzione più che una mappa definitiva.

Alcuni degli strumenti documentati (Meshy AI v4-v6, Stable Diffusion v1.5, Midjourney Model Standard) sono già stati superati o affiancati da alternative qualitativamente superiori e i *workflow* proposti sono stati verificati secondo le tecnologie più avanzate presenti al momento della loro sperimentazione.

Questo non può invalidare la ricerca poiché il valore metodologico risiede nei principi, nella trasparenza del processo, nel controllo curatoriale, nella delega consapevole e, infine, nella documentazione sistematica e nella riproducibilità del processo, non negli specifici strumenti utilizzati in un dato momento storico.

Un secondo limite riscontrato riguarda l'*hardware* di riferimento: la scelta di condurre l'intera sperimentazione su *hardware consumer* (ad es. GPU RTX 4050 con 6 GB di VRAM, sistema operativo Windows 11) ha dimostrato la replicabilità democratica della metodologia ma ha definito un tetto qualitativo preciso, particolarmente rilevante per il *fine-tuning* LoRA (limitato a SD v1.5 invece di SDXL) e per la gestione di geometrie dense in Grasshopper.

Ricerche successive condotte su infrastrutture *cloud* o *workstation* professionali potranno verificare fino a quale punto di qualità e complessità la metodologia può essere spinta implementando l'*hardware* utilizzato.

Un terzo limite riguarda la copertura del catalogo: le 112 schede documentate in Appendice A1 costituiscono una selezione argomentata, non un censimento esaustivo. L'inevitabile parzialità di qualsiasi selezione storiografica è stata mitigata attraverso i criteri di classificazione e la motivazione delle scelte, ma rimane un limite riconoscibile.
Per quanto riguarda le possibili aperture che la ricerca suggerisce verso sviluppi futuri, queste si orientano in direzioni molteplici che vanno dall'estensione del *fine-tuning* ai modelli di generazione 3D nativa come TRELLIS.2; dall'integrazione di Marble e Genie 3 nella *pipeline* di generazione degli ambienti espositivi, fino alla documentazione sistematica di ulteriori *layer* del metaprogetto.
Il percorso compiuto durante la ricerca — dalla genealogia critica dell'abitare virtuale alla sperimentazione con i sistemi di IA generativa, dalla documentazione dei limiti tecnologici alla lettura prospettica dei *world models*, dalla questione etica dell'autorialità alla responsabilità ambientale del calcolo — descrive, quindi, la storia di un periodo dell'abitare virtuale, punto di partenza per ulteriori riflessioni e sviluppi.
Questa posizione si articola attorno a due affermazioni che, prese singolarmente, potrebbero sembrare contraddittorie ma che nella pratica si sostengono reciprocamente.
La prima: l'Intelligenza Artificiale generativa non è uno strumento neutro che il progettista maneggia senza conseguenze, ma un agente che porta con sé scelte implicite, tendenze statistiche, disposizioni culturali che il progettista deve comprendere, interrogare e, dove necessario, bilanciare, evitando la conformazione e l'omologazione.
La seconda: l'Intelligenza Artificiale generativa non sostituisce il progettista ma prolunga e trasforma la sua capacità di agire nello spazio della forma, consentendo esplorazioni morfologiche, generazioni parametriche e costruzioni di ambienti che senza di essa non sarebbero

immaginabili e accessibili. Ma anche prima dell'uso diffuso dell'IA nell'elaborazione del progetto di architettura, da Tomás Maldonado[1] — che già nel 1992 descriveva l'ibridazione uomo-macchina come condizione propria dell'abitare contemporaneo — a Mario Carpo — che nel 2017 ha anticipato la convergenza tra calcolo digitale e apprendimento automatico come "secondo passaggio digitale"[2] —, da Greg Lynn — che ha costruito il paradigma dell'*Embryological House* dimostrando che il sistema generativo non sostituisce l'autore ma moltiplica le istanze di una logica formale da lui progettata —, al *design* parametrico — spazio infinito di forme possibili —, era già evidente come il progettista non dovesse rinunciare alla sua responsabilità di controllo dell'esito formale del progetto, garantendo una consapevole regia del fenomeno complesso.

In questo quadro di riferimenti, il processo metaprogettuale qui sperimentato ha cercato di definire le possibili regole che generano soluzioni, ha ipotizzato un procedimento aperto che possa governare il processo invece di descrivere semplicemente il risultato; ha, infine, così selezionato le molteplici possibilità innescate dalle IA generative, scegliendo un flusso di lavoro multiplo, di cui tenere sempre la regia.

È una forma di autorialità che l'architettura digitale ha sviluppato nel corso di decenni e che l'IA generativa non ha superato ma ampliato: ora le possibilità generate sono più numerose, varie, forse più difficili da governare e proprio

---

1 T. Maldonado, *Reale e virtuale*, Feltrinelli, Milano 1992, p. 78. Maldonado analizza il rapporto tra uomo e macchina come condizione di ibridazione irriducibile: il progettista contemporaneo non delega alla macchina la responsabilità dell'azione ma ne governa il potenziale, mantenendo il giudizio critico come dimensione insopprimibile della pratica progettuale. La "complessa metà umana e metà tecnica" che Maldonado individua come condizione propria dell'abitare contemporaneo anticipa con notevole precisione la struttura del rapporto uomo-IA generativa che questa ricerca documenta operativamente.

2 M. Carpo, *The Second Digital Turn. Design Beyond Intelligence*, MIT Press, Cambridge (MA) 2017, p. 9. Carpo distingue un 'primo passaggio digitale' — fondato sulla logica parametrica e sull'ottimizzazione di funzioni esplicite — da un 'secondo passaggio digitale' caratterizzato dall'apprendimento automatico e dalla minimizzazione statistica dell'errore rispetto a un corpus di esempi.

per questo il giudizio critico del progettista diventa sempre più necessario.
Il progetto di ricerca ha cercato di esplorare questi temi in modo rigoroso e trasparente, nella consapevolezza che la storia della cosiddetta ‘architettura digitale’ non è solo la storia dell’evoluzione degli strumenti tecnologici di rappresentazione, ma è il continuo confronto tra il potenziale della tecnica e la responsabilità della cultura nella sua dimensione storica.





BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

A

Abbate, J. (1999). *Inventing the Internet*. MIT Press.

Adjaye, D. (2011). *Adjaye Africa Architecture* (7 voll.). Thames & Hudson.

Ames, A. L., Nadeau, D. R., & Moreland, J. L. (1997). *The VRML 2.0 sourcebook*. Wiley.

Anadol, R. (2018). *WDCH Dreams* [Installazione *site-specific*, Walt Disney Concert Hall]. Refik Anadol Studio.

Anadol, R., Kuo, M., & Antonelli, P. (2022). *Unsupervised: Machine Hallucinations — MoMA* [Catalogo della mostra]. Museum of Modern Art.

Andersen et al. v. Stability AI Ltd. et al. (2023). Case No. 3:23-cv-00201, United States District Court for the Northern District of California.

Anguelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., Ogale, A., Vincent, L., & Weaver, J. (2010). Google Street View: Capturing the world at street level. *IEEE Computer*, 43(6), 32–38. https://doi.org/10.1109/MC.2010.170

Anthropic. (2023, 14 marzo). *Introducing Claude*. https://www.anthropic.com/news/introducing-claude

Apple Inc. (2023). *Apple Vision Pro: Spatial computing* [Press release]. Apple.

Au, W. J. (2008). *The making of Second Life: Notes from the new world*. Collins.

Autodesk Research. (2017). *The future of making things: Generative design* [White paper]. Autodesk.

Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355

Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34–47. https://doi.org/10.1109/38.963459

B

Ball, M. (2022). *The metaverse: And how it will revolutionize everything*. Liveright.

Belitskaja, A., James, B., & McCallum, S. (2020). *iheartblob – Augmented architectural objects: A new visual language* (IoA Institute of Architecture, Ed.). Birkhäuser.

Bellan, R. (2025, 12 novembre). Fei-Fei Li's World Labs speeds up the world model

race with Marble, its first commercial product. *TechCrunch*. https://techcrunch.com/2025/11/12/fei-fei-lis-world-labs-speeds-up-the-world-model-race-with-marble-its-first-commercial-product/

Berners-Lee, T., & Fischetti, M. (1999). *Weaving the Web: The original design and ultimate destiny of the World Wide Web*. HarperSanFrancisco.

Betsky, A. (2008). *Out there: Architecture beyond building*. Marsilio / La Biennale di Venezia.

Blauert, J. (1997). *Spatial hearing: The psychophysics of human sound localization*. MIT Press.

Boellstorff, T. (2008). *Coming of age in Second Life: An anthropologist explores the virtually human*. Princeton University Press.

Bolter, J. D., & Grusin, R. (1999). *Remediation: Understanding new media*. MIT Press.

Britton, K. C. (Ed.). (2010). *Constructing the ineffable: Contemporary sacred architecture*. Yale University Press.

Brooks, F. P. (1986). Walkthrough: A dynamic graphics system for simulating virtual buildings. In *Proceedings of the 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics* (pp. 9–21). ACM. https://doi.org/10.1145/319120.319122

Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners [GPT-3]. In *Advances in Neural Information Processing Systems 33 (NeurIPS 2020)* (pp. 1877–1901).

Brusaporci, S. (2017). *Digital innovations in architectural heritage conservation: Emerging research and opportunities*. IGI Global.

Bukatman, S. (1993). *Terminal identity: The virtual subject in postmodern science fiction*. Duke University Press.

Burdett, R. (a cura di). (2006). *Cities, architecture and society: 10. Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.

Burdett, R., & Sudjic, D. (Eds.). (2007). *The endless city*. Phaidon.

Burley, B. (2012). *Physically based shading at Disney*. SIGGRAPH 2012 Course Notes.

Burry, M. (2011). *Scripting cultures: Architectural design and programming*. Wiley.

C

Cabugueira, M. (2020). *Parametric responsiveness: Architecture for behavioral data*. Architectural Association Publications.

Caffio, G., & Unali, M. (2022). Verso una storia dell'abitare virtuale. Dal *cyberspace* a *Second Life* fino al metaverso di Facebook e oltre. In C. Battini & E. Bistagnino (a cura di), *Dialoghi visioni e visualità* (pp. 205–219). FrancoAngeli.

Caffio, G., Unali, M., & Zollo, F. (2024). *Hypotheses of images and architectural spaces in the age of artificial intelligence*. In A. Giordano, M. Russo, & R. Spallone (Eds.), Advances in representation: New AI- and XR-driven transdisciplinarity. REAACH 2023 (pp. 851–865). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-62963-1_52

Caffio, G., & Unali, M. (2025). Sei esercizi di disegno di architettura, contro il rischio dell'omologazione. In L. Carlevaris et al. (a cura di), *Èkphrasis: Descrizioni nello spazio della rappresentazione / Èkphrasis: Descriptions in the space of representation. Atti del 46° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione* (pp. 2385–2404). FrancoAngeli. https://series.francoangeli.it/index.php/oa/catalog/book/1430

Cameron, J. (Regia). (2009). *Avatar* [Film]. 20th Century Fox / Lightstorm Entertainment.

Carpo, M. (2017). *The second digital turn: Design beyond intelligence*. MIT Press.

Carpo, M. (2018, 5 luglio). The post-digital will be even more digital, says Mario Carpo: The cycle of digital innovation in architecture is far from over. *Metropolis*. https://metropolismag.com/viewpoints/post-digital-will-be-more-digital/

Castronova, E. (2005). *Synthetic worlds: The business and culture of online games*. University of Chicago Press.

Caudell, T., & Mizell, D. (1992). Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 659–669). IEEE. https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317

Chaillou, S. (2022). *Artificial intelligence and architecture: From research to practice*. Birkhäuser.

Chen, M., Tworek, J., Jun, H., Yuan, Q., Pinto, H. P. de O., Kaplan, J., Edwards, H., Burda, Y., Joseph, N., Brockman, G., Ray, A., Puri, R., Krueger, G., Petrov, M., Khlaaf,

H., Sastry, G., Mishkin, P., Chan, B., Gray, S., ... Zaremba, W. (2021). Evaluating large language models trained on code [HumanEval]. arXiv:2107.03374.

Cheng, I. (2018). *Emissaries guide to worlding: How to navigate the unnatural*. Koenig Books / Serpentine Galleries.

Cheng, I. (2021). *BOB (Bag of Beliefs): A chalice study* [Libro d'artista]. Metasim Inc. / Koenig Books.

Chion, M. (2001). *Kubrick's cinema odyssey*. British Film Institute.

Clark, A., Donahue, J., & Simonyan, K. (2019). Adversarial video generation on complex datasets [DVD-GAN]. arXiv:1907.06571.

Cline, E. (2011). *Ready player one*. Crown Publishers.

Cline, E. (2020). *Ready player two*. Ballantine Books.

Costa, M. (2005). *Dimenticare l'arte: Nuovi orientamenti nella teoria e nella sperimentazione estetica*. FrancoAngeli.

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). *The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism*. Stanford University Press.

D

Damer, B. (1998). *Avatars! Exploring and building virtual worlds on the Internet*. Peachpit Press.

Davidson, C. (Ed.). (1997). The Virtual House [Numero monografico]. ANY: *Architecture New York*, *19/20*.

Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science*, 323(5910), 66–69. https://doi.org/10.1126/science.1167311

De Fusco, R. (2001). *Trattato di architettura*. Laterza.

Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In *Proceedings of NAACL-HLT 2019* (pp. 4171–4186). Association for Computational Linguistics.

Diller, E., & Scofidio, R. (2002). *Blur: The making of nothing*. Harry N. Abrams.

Docci, M., & Maestri, D. (2000). *Scienza del disegno*. UTET.

Duncan, J., & Fitzpatrick, L. (2010). *The making of Avatar*. Abrams.

E

Eisenman, P. (1993). *Eisenman architects: Selected and current works*. Images Publishing.

Esser, P., Rombach, R., & Ommer, B. (2021). Taming transformers for high-resolution image synthesis. In *Proceedings of CVPR 2021* (pp. 12873–12883). IEEE. https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.01268

F

Fisher, S., McGreevy, M., Humphries, J., & Robinett, W. (1986). Virtual environment display system. In *Proceedings of the 1986 ACM Workshop on Interactive 3D Graphics* (pp. 77–87). ACM. https://doi.org/10.1145/319120.319127

Fondazione Museo delle Antichità Egizie di Torino. (2019–2022). *Archeologia invisibile: Virtual tour* [Tour virtuale]. Museo Egizio. https://cdn-cache.museoegizio.it/static/virtual/ArcheologiaInvisibileITA/index.html

Forrester, J. W. (1969). *Urban dynamics*. MIT Press.

Frayling, C. (1993). Research in art and design. *Royal College of Art Research Papers*, 1(1), 1–5.

Freiberger, P., & Swaine, M. (2000). *Fire in the valley: The making of the personal computer*. McGraw-Hill.

Fuksas, M. (a cura di). (2000). *Less aesthetics, more ethics: Catalogo della VII Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.

G

Galofaro, L. (1999). *Eisenman digitale*. Testo & Immagine.

Garland, M., & Heckbert, P. S. (1997). Surface simplification using quadric error metrics. In *Proceedings of SIGGRAPH 1997* (pp. 209–216). ACM. https://doi.org/10.1145/258734.258849

Gatys, L. A., Ecker, A. S., & Bethge, M. (2015). A neural algorithm of artistic style. arXiv:1508.06576.

Gaynor, S. (2013). *Gone Home* [Videogioco]. The Fullbright Company.

Gaynor, S. (2014). *Why Is Gone Home a Game?* [Conferenza]. Game Developers Conference 2014, San Francisco.

Gelernter, D. (1991). *Mirror worlds, or the day software puts the universe in a shoebox*. Oxford University Press.

Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin.

Gibson, W. (1982). Burning chrome. *Omni*, luglio.

Gibson, W. (1984). *Neuromancer*. Ace Books.

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.

Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. In *Advances in Neural Information Processing Systems 27 (NeurIPS 2014)* (pp. 2672–2680).

Grau, O. (2003). *Virtual art: From illusion to immersion*. MIT Press.

Grimmelmann, J. (2016). Copyright for literate robots. *Iowa Law Review*, 101, 657–681.

H

Haraway, D. (1991). *Simians, cyborgs, and women: The reinvention of nature*. Routledge. (Contiene "A *Cyborg Manifesto*", originariamente pubblicato in Socialist Review nel 1985)

Haraway, D. (2008). *When species meet*. University of Minnesota Press.

Harman, G. (2011). *The quadruple object*. Zero Books.

Haugen, F. (2021, 5 ottobre). *Statement before the United States Senate Subcommittee on Consumer Protection, Product Safety and Data Security*. U.S. Senate.

Hayward, V., & MacLean, K. E. (2007). Do it yourself haptics: Part I. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 14(4), 88–104. https://doi.org/10.1109/MRA.2007.907921

Heatherwick, T. (2012). *Heatherwick Studio: Designing the extraordinary*. V&A Publications.

Hertzfeld, A. (2004). *Revolution in the valley: The insanely great story of how the Mac was made*. O'Reilly Media.

Ho, J., Jain, A., & Abbeel, P. (2020). Denoising diffusion probabilistic models. In *Advances in Neural Information Processing Systems 33 (NeurIPS 2020)*.

Ho, J., Salimans, T., Gritsenko, A., Chan, W., Norouzi, M., & Fleet, D. J. (2022). Video diffusion models. In *Advances in Neural Information Processing Systems 35 (NeurIPS 2022)*.

Ho, J., Chan, W., Saharia, C., Whang, J., Gao, R., Gritsenko, A., Kingma, D. P., Poole,

B., Norouzi, M., Fleet, D. J., & Salimans, T. (2022). *Imagen Video: High definition video generation with diffusion models*. arXiv:2210.02303.

Hoffman, H. G., Patterson, D. R., Carrougher, G. J., Sharar, S. R., & Furness, T. A. (2001). Effectiveness of virtual reality for pediatric pain distraction during IV placement. *CyberPsychology & Behavior*, 4(6), 633–638. https://doi.org/10.1089/109493101753235180

Hollein, H. (a cura di). (1996). *Sensori del futuro: L'architetto come sismografo. Catalogo della VI Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.

Hou, H. (Ed.). (2010). *Cao Fei: RMB City*. Walther König.

Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., & Chen, W. (2022). LoRA: Low-rank adaptation of large language models. arXiv:2106.09685.

I

Ingels, B. (2009). *Yes is more: An archicomic on architectural evolution*. Taschen.

Ito, T. (1997). Tarzans in the media forest. *2G*, 2.

Ito, T. (1999). *Blurring architecture*. Charta.

J

Jencks, C. (1977). *The language of post-modern architecture*. Academy Editions.

Jenkins, D. R. (2001). *Space Shuttle: The history of the National Space Transportation System*. Motorbooks.

Jenkins, H. (2004). Game design as narrative architecture. In N. Wardrip-Fruin & P. Harrigan (Eds.), First person: *New media as story, performance, and game* (pp. 118–130). MIT Press.

Jerald, J. (2015). *The VR book: Human-centered design for virtual reality*. Morgan & Claypool.

K

Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design*. MIT Press.

Karras, T., Laine, S., & Aila, T. (2019). A style-based generator architecture for generative adversarial networks. In *Proceedings of CVPR 2019* (pp. 4401–4410). IEEE.

https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00453

Karras, T., Aittala, M., Hellsten, J., Laine, S., Lehtinen, J., & Aila, T. (2020). *Training generative adversarial networks with limited data* [StyleGAN2-ADA]. arXiv:2006.06676.

Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkühler, T., & Drettakis, G. (2023). 3D Gaussian splatting for real-time radiance field rendering. *ACM Transactions on Graphics*, *42*(4), 1–14. https://doi.org/10.1145/3592433

Kim, K. (2014). *Techism Manifesto*. Krista Kim Studio.

Kim, K. (2021). *Mars House* [Architettura digitale NFT]. SuperRare.

Kingma, D. P., & Welling, M. (2014). Auto-encoding variational Bayes. arXiv:1312.6114.

Kirkpatrick, D. (2010). *The Facebook effect: The inside story of the company that is connecting the world*. Simon & Schuster.

Koolhaas, R. (1995). *S, M, L, XL: Office for Metropolitan Architecture*. Monacelli Press.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NeurIPS 2012)* (pp. 1097–1105).

L

Lagarde, S., & de Rousiers, C. (2014). Moving Frostbite to physically based rendering 3.0. In *SIGGRAPH 2014 Course: Physically based shading in theory and practice*. ACM.

Lambot, I. (Ed.). (1986). *Norman Foster, Foster Associates: Buildings and projects*. Watermark Publications.

Lanier, J. (2017). *Dawn of the new everything: Encounters with reality and virtual reality*. Henry Holt.

Langbehn, E., & Steinicke, F. (2018). Redirected walking in virtual reality. In N. Lee (Ed.), *Encyclopedia of computer graphics and games*. Springer.

Lawrence, M. (2004). *Like a splinter in your mind: The philosophy behind the Matrix trilogy*. Blackwell.

Lee, J., Olwal, A., Ishii, H., & Boulanger, C. (2013). SpaceTop: Integrating 2D and spatial 3D interactions in a see-through desktop environment. In *Proceedings of CHI 2013* (pp. 189–192). ACM.

Lesmes, L., & Hellberg, F. (Eds.). (2020). Virtual aesthetics in architecture [Numero monografico]. *Architectural Design*, 90(6).

Levine, N. (1996). *The architecture of Frank Lloyd Wright*. Princeton University Press.

Lévy, P. (1997). *Il virtuale*. Raffaello Cortina.

Levy, S. (2020). *Facebook: The inside story*. Penguin Random House.

Liarokapis, F. (2014). From AR annotations to SLAM. *IEEE Pervasive Computing*, 13(2), 72–78. https://doi.org/10.1109/MPRV.2014.27

Liarokapis, F., Mourkoussis, N., White, M., Darcy, J., Sifniotis, M., Petridis, P., Basu, A., & Lister, P. F. (2004). Web3D and augmented reality to support engineering education. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 3(1), 11–14.

Li, P., Yang, J., Islam, M. A., & Ren, S. (2023). *Making AI less "thirsty": Uncovering and addressing the secret water footprint of AI models*. arXiv:2304.03271.

Lin, C.-H., Gao, J., Tang, L., Takikawa, T., Zeng, X., Huang, X., Kreis, K., Fidler, S., Liu, M.-Y., & Lin, T.-Y. (2023). Magic3D: High-resolution text-to-3D content creation. In *Proceedings of CVPR 2023* (pp. 300–309). IEEE.

Lin, H. H. (1994). *Lin Hsin Hsin Art Museum* [Museo virtuale]. https://www.lhh.art/

Liu, P., Yuan, W., Fu, J., Jiang, Z., Hayashi, H., & Neubig, G. (2023). Pre-train, prompt, and predict: A systematic survey of prompting methods in natural language processing. *ACM Computing Surveys*, 55(9), 1–35. https://doi.org/10.1145/3560815

Lodder, C. (1983). *Russian constructivism*. Yale University Press.

Lokko, L. (a cura di). (2023). *The laboratory of the future: XVIII Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.

London Charter for the Computer-Based Visualisation of Cultural Heritage. (2009). *The London Charter for the computer-based visualisation of cultural heritage* (version 2.1). https://www.londoncharter.org/

Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20(2), 130–141. https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2

Lowood, H. (2009). Videogames in computer space. *IEEE Annals of the History of Computing*, 31(3), 5–19. https://doi.org/10.1109/MAHC.2009.51

Luccioni, S., Jernite, Y., & Strubell, E. (2024). Power hungry processing: Watts driving the cost of AI deployment? In *Proceedings of the 2024 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (FAccT '24) (pp. 85–99). ACM. https://doi.org/10.1145/3630106.3658542

Luigini, A. (2016). Of morphogenetic images: Five notes between science, art and architecture / Delle immagini morfogenetiche: Cinque note tra scienza, arte e

architettura. XY *Digital*, 1(1). https://doi.org/10.15168/xy.v1i1.21

Luigini, A. (2018). *Grafemi e tipi standard: Una metodologia per l'analisi evoluzionistica dell'opera di Oscar Niemeyer*. Aracne.

Luigini, A., Brusaporci, S., Vattano, S., & Tata, A. (2019). 3D digital models for a widespread museum: The Renon's "Bauernhöfe". In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 3D-ARCH 2019 — 3D virtual reconstruction and visualization of complex architectures (pp. 447–453).

Lynn, G. (a cura di). (1993). *Folding in architecture* [Architectural Design Profile, n. 102]. Academy Editions.

Lynn, G. (1999). *Animate form*. Princeton Architectural Press.

M

Maldonado, T. (1970). *La speranza progettuale: Ambiente e società*. Einaudi.

Maldonado, T. (1992). *Reale e virtuale*. Feltrinelli.

Manzini, E. (1990). *Artefatti: Verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*. Domus Academy.

Mateas, M., & Stern, A. (2003). Façade: An experiment in building a fully-realized interactive drama. In *Proceedings of the Game Developers Conference* 2003. CMP Game Group.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge University Press.

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115–133. https://doi.org/10.1007/BF02478259

McCurdy, H. E. (1997). *Space and the American imagination*. Smithsonian Institution Press.

McKinsey & Company. (2024). *China luxury report 2024*. McKinsey.

Meadows, M. S. (2008). *I, avatar: The culture and consequences of having a second life*. New Riders.

Metcalfe, R. M., & Boggs, D. R. (1976). Ethernet: Distributed packet switching for local computer networks. *Communications of the ACM*, 19(7), 395–404.

Microsoft Research. (2016). *Microsoft HoloLens: Mixed reality technology* [White paper].

Midjourney. (s.d.). *Midjourney documentation: Model versions*. https://docs.midjourney.com/

Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorthi, R., & Ng, R. (2020). NeRF: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. In *Proceedings of ECCV 2020* (pp. 405–421). Springer.

Minsky, M., & Papert, S. (1969). *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. MIT Press.

Mitchell, W. J. (1995). *City of Bits: Space, place, and the Infobahn*. MIT Press.

N

Naik, N., Kominers, S. D., Raskar, R., Glaeser, E. L., & Hidalgo, C. A. (2017). Computer vision uncovers predictors of physical urban change. *PNAS*, 114(29), 7571–7576.

Negroponte, N. (1995). *Being digital*. Knopf.

Niccolucci, F., & Hermon, S. (2003). La logica fuzzy e le sue applicazioni alla ricerca archeologica. *Archeologia e Calcolatori*, 14, 97–110.

Nichol, A., Jun, H., Dhariwal, P., Mishkin, P., & Chen, M. (2022). *Point-E: A system for generating 3D point clouds from complex prompts*. arXiv:2212.08751.

Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Academic Press.

Noble, S. U. (2018). *Algorithms of oppression: How search engines reinforce racism*. New York University Press.

Norman, D. A. (1988). *The design of everyday things*. Basic Books.

Norman, D. A. (2004). *Emotional design*. Basic Books.

Novak, M. (1991). Liquid architectures in cyberspace. In M. Benedikt (Ed.), *Cyberspace: First steps* (pp. 225–254). MIT Press.

O

Ordano, E., Meilich, A., Jardi, Y., & Araoz, M (2018). *Decentraland: A blockchain-based virtual world* [White paper]. Decentraland Foundation.

Otto, F., & Rasch, B. (1995). *Finding form: Towards an architecture of the minimal*. Edition Axel Menges.

P

Parry, R. (2010). *Museums in a digital age*. Routledge.

Pearce, C. (2002). Sims, BattleBots, cellular automata God and Go. *Game Studies*, 2(1).

Persson, M. (2009). *Minecraft* [Videogioco]. Mojang Studios.

Pesce, M., & Parisi, T. (1994). *Labyrinth: A proposal* [Presentazione]. First International Conference on the World Wide Web. CERN, Ginevra.

Pharr, M., Jakob, W., & Humphreys, G. (2016). *Physically based rendering: From theory to implementation* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.

Piegl, L., & Tiller, W. (1997). *The NURBS book* (2nd ed.). Springer.

Plaza, B. (2010). Valuing museums as economic engines: Willingness to pay or discounting of cash flows? *Journal of Cultural Heritage*, *11*(2), 155–162. https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.04.002

Plummer, H. (2009). *The architecture of natural light*. Thames & Hudson.

Poole, B., Jain, A., Barron, J. T., & Mildenhall, B. (2022). *DreamFusion: Text-to-3D using 2D diffusion*. arXiv:2209.14988.

Populous. (2023). *Sphere at The Venetian Resort, Las Vegas* [Edificio]. Populous.

Portoghesi, P. (a cura di). (1980). *La presenza del passato: Prima Mostra Internazionale di Architettura*. Electa.

Prusinkiewicz, P., & Lindenmayer, A. (1990). *The algorithmic beauty of plants*. Springer.

Purini, F. (1995). Tre divagazioni al margine. XY, *dimensione del disegno*, *23/24/25*, 15.

Purini, F. (2003). Digital divide. In L. Sacchi & M. Unali (a cura di), *Architettura e cultura digitale* (pp. 90–91). Skira.

Purini, F. (2012). Il disegno tra letteratura, scienza e arte. In L. Carlevaris & M. Filippa (a cura di), *Elogio della teoria. Identità delle discipline del disegno e del rilievo.* Ediz. italiana e inglese (pp. 152–153). Gangemi.

Q

Quici, F. (2004). *Tracciati d'invenzione: Euristica e disegno di architettura*. UTET Libreria.

Quici, F. (2024). *Architettura e cultura visuale*. Libria.

Qi, C. R., Su, H., Mo, K., & Guibas, L. J. (2017). PointNet: Deep learning on point sets for 3D classification and segmentation. In *Proceedings of CVPR 2017* (pp. 652–660). IEEE.

R

Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D., & Sutskever, I. (2019). *Language models are unsupervised multitask learners* [GPT-2]. OpenAI.

Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., Ramesh, A., Goh, G., Agarwal, S., Sastry, G., Askell, A., Mishkin, P., Clark, J., Krueger, G., & Sutskever, I. (2021). Learning transferable visual models from natural language supervision. In *Proceedings of ICML 2021* (pp. 8748–8763). PMLR.

Radiohead, Donwood, S., & Epic Games. (2021). *Kid A Mnesia Exhibition* [Esperienza interattiva immersiva]. Unreal Engine.

Raggett, D. (1994). Extending WWW to support platform independent virtual reality. In *Proceedings of the First International Conference on the World Wide Web*. CERN.

Ramesh, A., Pavlov, M., Goh, G., Gray, S., Voss, C., Radford, A., Chen, M., & Sutskever, I. (2021). *Zero-shot text-to-image generation* [DALL-E]. arXiv:2102.12092.

Ramesh, A., Dhariwal, P., Nichol, A., Chu, C., & Chen, M. (2022). *Hierarchical text-conditional image generation with CLIP latents* [DALL-E 2]. arXiv:2204.06125.

Rashid, H., & Couture, L. A. (2002). *Asymptote: Flux*. Phaidon Press.

Ratti, C. (a cura di). (2025). *Intelligens. Natural. Artificial. Collective.: 19. Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Edizioni La Biennale di Venezia / Silvana Editoriale.

Reilly, P. (1990). Towards a virtual archaeology. In K. Lockyear & S. Rahtz (Eds.), *Computer applications in archaeology 1990* (pp. 133–139). BAR International Series.

Reilly, P. (1996). The Dudley Castle Visualisation Project. *Internet Archaeology*, 1(1).

Risam, R. (2018). *New digital worlds: Postcolonial digital humanities in theory, praxis, and pedagogy*. Northwestern University Press.

Riva, G., Gaggioli, A., & Wiederhold, B. K. (2006). Virtual reality as empowering environment. In *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine* (pp. 7–12). IOS Press.

Rombach, R., Blattmann, A., Lorenz, D., Esser, P., & Ommer, B. (2022). High-resolution image synthesis with latent diffusion models. In *Proceedings of CVPR 2022* (pp. 10684–10695). IEEE. https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.01042

Roose, K. (2021). *Futureproof: 9 rules for humans in the age of automation*. Random House.

Roose, K. (2023, 16 febbraio). A conversation with Bing's chatbot left me deeply unsettled. *The New York Times*. https://www.nytimes.com/

Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage

and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408. https://doi.org/10.1037/h0042519

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323(6088), 533–536. https://doi.org/10.1038/323533a0

Ryan, M.-L. (2001). *Narrative as virtual reality: Immersion and interactivity in literature and electronic media*. Johns Hopkins University Press.

S

Sacchi, L. (2015). La fine del disegno? *Op. Cit.*, 153.

Sacchi, L., & Unali, M. (a cura di). (2003). *Architettura e cultura digitale*. Skira.

Salen, K., & Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. MIT Press.

Sarkis, H. (a cura di). (2021). *How will we live together? XVII Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.

Schön, D. A., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 135–156. https://doi.org/10.1016/0142-694X(92)90268-F

Schönberger, J. L., & Frahm, J.-M. (2016). Structure-from-motion revisited. In *Proceedings of CVPR 2016* (pp. 4104–4113). IEEE. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.445

Schumacher, P. (2011-2012). *The autopoiesis of architecture* (Voll. I-II). Wiley.

Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*. Morgan Kaufmann.

Silver, N. (1994). *The making of Beaubourg*. MIT Press.

Singer, U., Polyak, A., Hayes, T., Yin, X., An, J., Zhang, S., Hu, Q., Yang, H., Ashual, O., Gafni, O., Parikh, D., Gupta, S., & Taigman, Y. (2022). *Make-A-Video: Text-to-video generation without text-video data*. arXiv:2209.14792.

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(6), 603–616. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603

Slater, M., Steed, A., & Chrysanthou, Y. (a cura di). (2002). *Computer graphics and virtual environments: From realism to real-time*. Addison-Wesley.

Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence.

Journal of Communication, *42*(4), 73–93. https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x

Stephenson, N. (1992). *Snow Crash*. Bantam Books.

Stiny, G. (1980). Introduction to shape and shape grammars. *Environment and Planning B*, *7*(3), 343–351. https://doi.org/10.1068/b070343

Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. In *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (ACL 2019) (pp. 3645–3650). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/P19-1355

Sutherland, I. E. (1963). Sketchpad: A man-machine graphical communication system. In *Proceedings of the AFIPS Spring Joint Computer Conference 1963* (pp. 329–346). AFIPS Press.

Sutherland, I. E. (1965). The ultimate display. In *Proceedings of IFIP 1965* (Vol. 2, pp. 506–508).

Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three-dimensional display. In *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference 1968* (pp. 757–764). AFIPS Press.

T

Tallon, A. J. (2014). Divining proportions in the information age. *Architectural Histories*, *2*(1).

Tang, J., Ren, J., Zhou, H., Liu, Z., & Zeng, G. (2024). *DreamGaussian: Generative Gaussian splatting for efficient 3D content creation*. arXiv:2309.16653.

Tedeschi, A. (2010). *Parametric architecture with Grasshopper*. Le Penseur.

Tedeschi, A. (2014). *AAD_Algorithms-aided design: Parametric strategies using Grasshopper*. Le Penseur.

Terzidis, K. (2006). *Algorithmic architecture*. Architectural Press.

Treib, M. (1996). *Space calculated in seconds: The Philips Pavilion, Le Corbusier, Edgard Varèse*. Princeton University Press.

Trumpy, S. (2017). Alla fine degli anni ‘70, capimmo per primi che dovevamo collegarci alla rete che si stava affermando negli USA. In L. Abba & A. Lazzaroni (a cura di), *Il futuro trenta anni fa: Quando Internet è arrivata in Italia.* Manni.

Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, *59*(236), 433–460.

U

Ubisoft Montreal. (2007). *Assassin's Creed* [Videogioco]. Ubisoft.

Unali, M. (a cura di). (2008). *Abitare virtuale significa rappresentare*. Edizioni Kappa.

Unali, M. (2018). Note sul ruolo rappresentativo/conformativo del disegno di architettura contemporaneo. In C. L. Marcos, P. J. Juan Gutiérrez, J. Domingo Gresa, & J. Oliva Meyer (a cura di), *De trazos, huellas e improntas: Arquitectura, ideación, representación y difusión* (pp. 109–116). Universidad de Alicante.

Unali, M. (2010). *Architettura effimera*, in XXI Secolo, Gli spazi e le arti, opera diretta da Tullio Gregory, Istituto della ENCICLOPEDIA ITALIANA fondata da Giovanni Treccani, Roma, pp. 345-353. ISBN 978-88-12-00038-8.

Unali, M. (2019). Architettura e tecnocultura "post" digitale: Verso una storia. *Op. Cit.*, *164*, 5–20.

Unali, M. (2024). Virtuale: Invariante storica del disegno di architettura. In M. Unali (a cura di), *Abitare virtuale: Rappresentazioni – Volume 1. Parole chiave del disegno di architettura* (pp. 15–23). Gangemi.

Unali, M. (2024). Reale e virtuale: Una dicotomia in cerca di autore. In M. Unali (a cura di), *Abitare Virtuale: Rappresentazioni – Volume 1. Parole chiave del disegno di architettura* (pp. 24–28). Gangemi

Unali, M., Caffio, G., & Zollo, F. (2023). Transizioni d'immagini e architetture al tempo dell'IA. Modelli semantici in cerca di autore / Transitions of images and architectures in the time of AI. Semantic models in search of an author. In M. Cannella, A. Garozzo, & S. Morena (a cura di), *Transizioni: Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione* (pp. 3226–3243). FrancoAngeli.

Unali, M., Caffio, G., & Zollo, F. (2024). Towards a virtual museum of ephemeral architecture: Methods, techniques and semantic models for a post-digital metaverse. In A. Giordano, M. Russo, & R. Spallone (Eds.), *Beyond digital representation: Advanced experiences in AR and AI for cultural heritage and innovative design* (pp. 191–207). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5_13

Unali, M., Caffio, G., & Zollo, F. (2025). Three parametric spaces shaped by AI for the extension of the virtual museum of intangible cultural heritage. From idea to code to model: Randomisation, helicoidal structure, strange attractor. *SCIRES-IT*, *15*(2), 181–196. https://doi.org/10.2423/i22394303v15n2p181

UNESCO. (2003, 17 ottobre). *Charter on the preservation of the digital heritage*.

UNESCO. https://en.unesco.org/

UNESCO. (2003). *Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage*. UNESCO. https://ich.unesco.org/en/convention

U.S. Copyright Office. (2024). *Copyright and artificial intelligence, part 1: Digital replicas* [Report]. Library of Congress. https://www.copyright.gov/ai/

V

Van Bruggen, C. (1997). Frank O. *Gehry: Guggenheim Museum Bilbao*.

Van Onck, A. (1965). Metadesign. *Edilizia Moderna*, 85, 57–65.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In *Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NeurIPS 2017)* (pp. 5998–6008).

W

Wachowski, L., & Wachowski, L. (Regia). (1999). *The Matrix* [Film]. Warner Bros.

Wang, Z., Lu, C., Wang, Y., Bao, F., Li, C., Su, H., & Zhu, J. (2023). *ProlificDreamer: High-fidelity and diverse text-to-3D generation with variational score distillation*. arXiv:2305.16213.

Weizenbaum, J. (1966). ELIZA — A computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9(1), 36–45. https://doi.org/10.1145/365153.365168

Weisberg, D. E. (2008). Autodesk and AutoCAD – The early days. In *The engineering design revolution: A history of CAD* (cap. 8). cadhistory.net.

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–240. https://doi.org/10.1162/105474698565686

Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*. Routledge.

Woods, L. (1997). *Radical reconstruction*. Princeton Architectural Press.

World Labs' spatial AI vision to revolutionise science. (2026, 26 febbraio). *AI Magazine*. https://aimagazine.com/news/world-labs-spatial-ai-vision-to-revolutionise-science

Wright, W. (1989). *SimCity* [Videogioco]. Maxis.

Wright, W. (2000). *The Sims* [Videogioco]. Maxis / Electronic Arts.

Wu, J., Zhang, C., Xue, T., Freeman, B., & Tenenbaum, J. (2016). Learning a probabilistic latent space of object shapes via 3D generative-adversarial modeling [3D-GAN]. In *Advances in Neural Information Processing Systems 29 (NeurIPS 2016)*.

X

Xiang, J., Lv, Z., Xu, S., Deng, Y., Wang, R., Zhang, B., Chen, D., Tong, X., & Yang, J. (2025). Structured 3D latents for scalable and versatile 3D generation [TRELLIS]. In *Proceedings of CVPR 2025 (Spotlight)*. IEEE.

Xiang, J., Chen, X., Xu, S., Wang, R., Lv, Z., Deng, Y., Zhu, H., Dong, Y., Zhao, H., Yuan, N. J., & Yang, J. (2025). *Native and compact structured latents for 3D generation (TRELLIS.2)* (arXiv:2512.14692). *Microsoft Research* / arXiv. https://arxiv.org/abs/2512.14692

Z

Zaha Hadid Architects. (2021). *Liberland Metaverse* [Progetto online]. Zaha Hadid Architects.

Zaha Hadid Architects. (2021). *NFTism Virtual Gallery* [Progetto online]. Zaha Hadid Architects.

Zhu, J.-Y., Park, T., Isola, P., & Efros, A. A. (2017). Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks [CycleGAN]. In *Proceedings of ICCV 2017* (pp. 2242–2251). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.244

Žižek, S. (2002). The Matrix, or, the two sides of perversion. In W. Irwin (Ed.), *The Matrix and philosophy: Welcome to the desert of the real* (pp. 240–266). Open Court.

Zollo, F. (2022). VM5, *Progetto di un Museo Virtuale dell'Architettura Effimera* [Tesi di laurea quinquennale]. Università G. d'Annunzio Chieti-Pescara, Dipartimento di Architettura. Laboratorio coordinato da G. Caffio e M. Unali.

SITOGRAFIA

A

Active Worlds Inc. (s.d.). *Active Worlds* [Piattaforma di mondo virtuale]. https://www.activeworlds.com/

Akos, G., & Parsons, R. (Mode Lab). (2014). *The Grasshopper primer: Foundations* (3rd ed.) [Manuale online]. Studio Mode, LLC. http://grasshopperprimer.com/

Anthropic. (2024, giugno). *Claude 3.5 Sonnet model card* [Documento tecnico]. https://www.anthropic.com/news/claude-3-5-sonnet

Anyone Corporation. (s.d.). *Anyone Corporation* [Sito istituzionale]. https://anyonecorp.com/

ArchDaily. (2019). *Under / Snøhetta*. https://www.archdaily.com/913575/under-snohetta

ArchDaily. (2023). *The first Metaverse Architecture Biennale*. https://www.archdaily.com/1006995/the-first-metaverse-architecture-biennale

Asymptote Architecture. (s.d.). *Virtual Guggenheim*. http://www.asymptote.net/

Autodesk Inc. (2000). *Revit 1.0* [Software]. https://www.autodesk.com/products/revit

B

Ball, M. (2021). *The metaverse primer* [Saggio in 9 parti]. Matthew Ball. https://www.matthewball.vc/the-metaverse-primer

Ball, M. (s.d.). *Matthew Ball* [Sito personale]. https://www.matthewball.vc/

Beeple. (2021). *Everydays: The first 5000 days* [NFT]. Christie's. https://onlineonly.christies.com/s/beeple-first-5000-days/beeple-b-1981-1/112924

Beeple. (s.d.). *Beeple* [Sito personale]. https://beeple-crap.com/

Blender Foundation. (2021–oggi). *Geometry Nodes* [Documentazione tecnica]. Blender. https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/geometry_nodes/index.html

bmaltais. (s.d.). *kohya_ss: GUI for Kohya's Stable Diffusion trainers* [Repository GitHub]. https://github.com/bmaltais/kohya_ss

C

Cao, F. (2007–2011). *RMB City: A Second Life city planning* [Progetto online]. https://www.caofei.com/works.aspx?id=56&year=-1&wtid=2

Chase, H. (2022). *LangChain: Building applications with LLMs through composability* [Repository GitHub]. https://github.com/langchain-ai/langchain

D

Decentraland Foundation. (s.d.). *Decentraland* [Piattaforma metaverso *blockchain*]. https://decentraland.org/

Decentraland DAO. (s.d.). *Governance Portal*. https://governance.decentraland.org/

Diller Scofidio + Renfro. (s.d.). *Blur Building*. https://dsrny.com/project/blur-building

E

eBoy. (s.d.). *eBoy* [Sito ufficiale]. https://hello.eboy.com/

Electronic Arts. (s.d.). *The Sims*. https://www.ea.com/games/the-sims

Epic Games. (1998–oggi). *Unreal Engine* [Game engine]. https://www.unrealengine.com

Epic Games. (2020, 23–25 aprile). *Fortnite: Astronomical* [Evento *in-game*, concerto Travis Scott]. https://www.epicgames.com/fortnite/en-US/news/announcing-the-astronomical-event

Epic Games. (s.d.). *Blueprints visual scripting* [Documentazione tecnica]. Epic Developer Community. https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine

Epic Games. (s.d.). *Datasmith overview* [Documentazione tecnica]. Epic Developer Community. https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/datasmith-overview

Epic Games. (s.d.). *Media framework* [Documentazione tecnica]. Epic Developer Community. https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/media-framework-in-unreal-engine

Epic Games. (s.d.). *Nanite virtualized geometry* [Documentazione tecnica]. Epic Developer Community. https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/

unreal-engine/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine

Epic Games. (s.d.). *Physically based materials* [Documentazione tecnica]. Epic Developer Community. https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/physically-based-materials-in-unreal-engine

Epic Games. (s.d.). *Twinmotion* [Software]. https://www.twinmotion.com

Epic Games Store. (s.d.). *Kid A Mnesia Exhibition*. https://store.epicgames.com/

F

FORMAS.AI. (2025). *FORMAS.AI: The best AI orchestrator for architecture* [Piattaforma AI per architettura]. https://formas.ai

G

Google. (s.d.). *Google Colaboratory* [Ambiente di esecuzione Python]. https://colab.research.google.com

Google. (2026, febbraio). *Project Genie* [Prototipo sperimentale, blog post]. https://blog.google/innovation-and-ai/models-and-research/google-deepmind/project-genie/

Google AI Studio. (s.d.). *Google AI Studio* [Ambiente di sviluppo per modelli Gemini]. https://aistudio.google.com

Google DeepMind. (2023, dicembre). *Gemini: A family of highly capable multimodal models* [Technical report]. https://deepmind.google/technologies/gemini/

Google DeepMind. (2024, febbraio). *Gemini 1.5: Unlocking multimodal understanding across millions of tokens of context* [Technical report]. arXiv:2403.05530. https://deepmind.google/technologies/gemini/

Google DeepMind. (2025, 5 agosto). *Genie 3: A new frontier for world models* [Blog post]. https://deepmind.google/discover/blog/genie-3-a-new-frontier-for-world-models/

Google LLC. (2007–oggi). *Google Street View* [Servizio di mappatura immersiva]. https://www.google.com/streetview/

Google LLC. (2011–oggi). *Google Arts & Culture* [Piattaforma di patrimonio culturale digitale]. https://artsandculture.google.com

Greg Lynn FORM. (s.d.). *Greg Lynn FORM* [Sito ufficiale]. http://glform.com/

H

Hard Fork. (s.d.). *Hard Fork* [Podcast]. The New York Times. https://www.nytimes.com/column/hard-fork

Holoplot. (s.d.). *Sound at Sphere*. https://www.holoplot.com/projects/sphere/

Hugging Face. (s.d.). *Hugging Face: The AI community building the future* [Piattaforma di model hosting]. https://huggingface.co

I

ibiblio. (s.d.). *The public's library and digital archive*. University of North Carolina at Chapel Hill. https://www.ibiblio.org/

IL PRISMA. (s.d.). *IL PRISMA* [Sito ufficiale]. https://www.ilprisma.com/

K

Krista Kim. (s.d.). *Krista Kim* [Sito personale]. https://kristakim.com/

L

La Biennale di Venezia. (s.d.). *Architettura — Archivio Storico*. https://www.labiennale.org/it/architettura

La Biennale di Venezia. (s.d.). *XVII Mostra Internazionale di Architettura*. https://www.labiennale.org/en/architecture/2021

La Biennale di Venezia. (s.d.). *XVIII Mostra Internazionale di Architettura*. https://www.labiennale.org/en/architecture/2023

La Biennale di Venezia. (s.d.). *19. Mostra Internazionale di Architettura*. https://www.labiennale.org/it/architettura/2025

LAVA. (s.d.). *LAVA — Laboratory for Visionary Architecture* [Sito ufficiale]. https://www.l-a-v-a.net/

Liberland. (s.d.). *Free Republic of Liberland* [Sito istituzionale]. https://liberland.org/

Li, F.-F. (2025, 10 novembre). *From words to worlds: Spatial intelligence is AI's next frontier* [Manifesto fondativo]. Dr. Fei-Fei Li Substack. https://drfeifei.substack.com/p/from-words-to-worlds-spatial-intelligence

Luma AI. (s.d.). *Luma AI* [Piattaforma di ricostruzione 3D NeRF/Gaussian Splatting]. https://lumalabs.ai

Luma AI. (s.d.). *Luma Fields Dashboard* [Strumento NeRF/Gaussian Splatting per ricostruzione volumetrica]. https://lumalabs.ai/dashboard

Lynn, G. (1997–2002). *Embryological House* [Progetto di architettura sperimentale digitale]. Greg Lynn FORM. https://glform.com/buildings/embryological-house/

M

Marcos Novak Official Website. (s.d.). *Transarchitecture and liquid architectures*. https://www.zakros.com/liquidarchitecture/

Mariana Cabugueira Studios. (s.d.). *Mariana Cabugueira Studios* [Sito ufficiale]. https://marianacabugueira.com/

McNeel & Associates. (s.d.). *GHPython introduction* [Documentazione tecnica]. https://developer.rhino3d.com/guides/rhinopython/ghpython-introduction/

McNeel & Associates. (s.d.). *RhinoCommon API documentation* [Documentazione API]. https://developer.rhino3d.com/api/rhinocommon/

Meshy AI. (2023). *Meshy AI: Text-to-3D and image-to-3D generation platform* [Piattaforma generativa 3D]. https://www.meshy.ai

Meta Platforms. (s.d.). *Company info*. https://about.meta.com/

Metaverse Architecture Biennale. (s.d.). *Metaverse Architecture Biennale*. https://metaversearchbiennale.com/

Microsoft Research. (2025). *TRELLIS* [Repository GitHub]. https://github.com/microsoft/TRELLIS

Microsoft Research. (2025). *TRELLIS-image-large* [Modello pre-addestrato]. Hugging Face. https://huggingface.co/microsoft/TRELLIS-image-large

Microsoft Research. (2025). *TRELLIS.2* [Pagina di progetto]. https://microsoft.github.io/TRELLIS.2/

Microsoft Research. (2025). *TRELLIS.2-4B* [Modello pre-addestrato]. Hugging Face. https://huggingface.co/microsoft/TRELLIS.2-4B

Midjourney. (2022, novembre). *Model versions*. https://docs.midjourney.com/

Mojang Studios. (s.d.). *Minecraft*. https://www.minecraft.net/

Mordvintsev, A., Olah, C., & Tyka, M. (2015, 17 giugno). Inceptionism: Going deeper into neural networks. *Google Research Blog*. https://research.google/blog/inceptionism-going-deeper-into-neural-networks/

O

OBMI. (s.d.). *OBMI* [Sito ufficiale]. https://obmi.com/

Oculus VR. (2010). *Oculus Rift prototype* [Prototipo VR].

OpenAI. (2019, 14 febbraio). *Better language models and their implications* [Blog post, GPT-2 announcement]. https://openai.com/index/better-language-models/

OpenAI. (2021, 5 gennaio). *DALL·E: Creating images from text* [Blog post]. https://openai.com/index/dall-e/

OpenAI. (2022, 30 novembre). *Introducing ChatGPT* [Blog post]. https://openai.com/index/chatgpt/

OpenAI. (2023, 14 marzo). *GPT-4 technical report*. arXiv:2303.08774. https://openai.com/index/gpt-4-research/

OpenAI. (2024, 15 febbraio). *Sora: Creating video from text* [Blog post / Technical report]. https://openai.com/sora

P

Pika Labs. (2023). *Pika 1.0* [Piattaforma generativa video]. https://pika.art

Pioch, N. (1994). *WebMuseum, Paris*. https://www.ibiblio.org/wm/

Plannet Architectures. (s.d.). *Plannet Architectures Studio* [Sito ufficiale]. http://www.plannet-arch.com/

Populous. (s.d.). *Populous* [Sito ufficiale]. https://populous.com/

R

Refik Anadol Studio. (s.d.). *Refik Anadol Studio* [Sito ufficiale]. https://refikanadol.com

Refik Anadol Studio. (s.d.). *Unsupervised — Machine Hallucinations: MoMA*. https://refikanadol.com/works/unsupervised-machine-hallucinations-moma

Refik Anadol Studio. (s.d.). *WDCH Dreams*. https://refikanadol.com/works/wdch-dreams

Runway. (2022). *Stable Diffusion v1-5* [Modello pre-addestrato]. Hugging Face. https://huggingface.co/runwayml/stable-diffusion-v1-5

Runway Research. (2023, 20 marzo). *Gen-2: The next step forward for generative AI* [Piattaforma generativa video]. https://research.runwayml.com/gen2

S

Saul Kim Studio. (s.d.). *Architecture anomaly and digital projects*. https://www.saulkim.com/

Serpentine Galleries. (s.d.). *Cao Fei: RMB City Opera*. https://www.serpentinegalleries.org/

Serpentine Galleries. (s.d.). *Ian Cheng: Life After BOB*. https://www.serpentinegalleries.org/

Snøhetta. (s.d.). *Snøhetta* [Sito ufficiale]. https://snohetta.com/

Sood, A. (2016). *Every piece of art you've ever wanted to see — up close and searchable* [TED Talk]. https://www.ted.com/

Space Popular. (2020). *Punto de Inflexión: Arquia/Próxima 2020* [Conferenza virtuale di architettura, Mozilla HUBS]. Fundación Arquia. https://arquia2020.com

Space Popular. (s.d.). *Space Popular* [Sito ufficiale]. http://www.spacepopular.com/

Spatial. (s.d.). *Spatial* [Piattaforma VR sociale]. https://spatial.io/

Sphere Entertainment Co. (s.d.). *Sphere at The Venetian Resort*. https://www.thesphere.com/

Stability AI. (2022). *Stable Diffusion* [Modello generativo open source / piattaforma]. https://stability.ai/stable-diffusion

T

The Unbuilt Gallery of Architecture. (2023, 9 febbraio). *The architecture of virtual space* [Galleria virtuale di architettura, mostra inaugurale]. https://www.unbuilt.xyz/gallery

The University Museum, The University of Tokyo. (s.d.). *Faculty Profile: Fumio Matsumoto*. https://www.um.u-tokyo.ac.jp/people/faculty_matsumoto_en.html

U

Ubisoft. (s.d.). *Assassin's Creed Discovery Tour*. https://www.ubisoft.com/en-us/game/assassins-creed/discovery-tour

Untitled. Studio. (s.d.). *Untitled. Studio*. https://www.untitled-studio.com/

Urban Age Programme. (s.d.). *Urban Age*. https://urbanage.lsecities.net/

W

WebMuseum, Paris. (1994–2003). *WebMuseum* [Museo virtuale]. https://www.ibiblio.org/wm/

World Labs. (2024–oggi). *World Labs* [Sito istituzionale]. https://www.worldlabs.ai

Z

Zaha Hadid Architects. (s.d.). *Zaha Hadid Architects* [Sito ufficiale]. https://www.zaha-hadid.com/

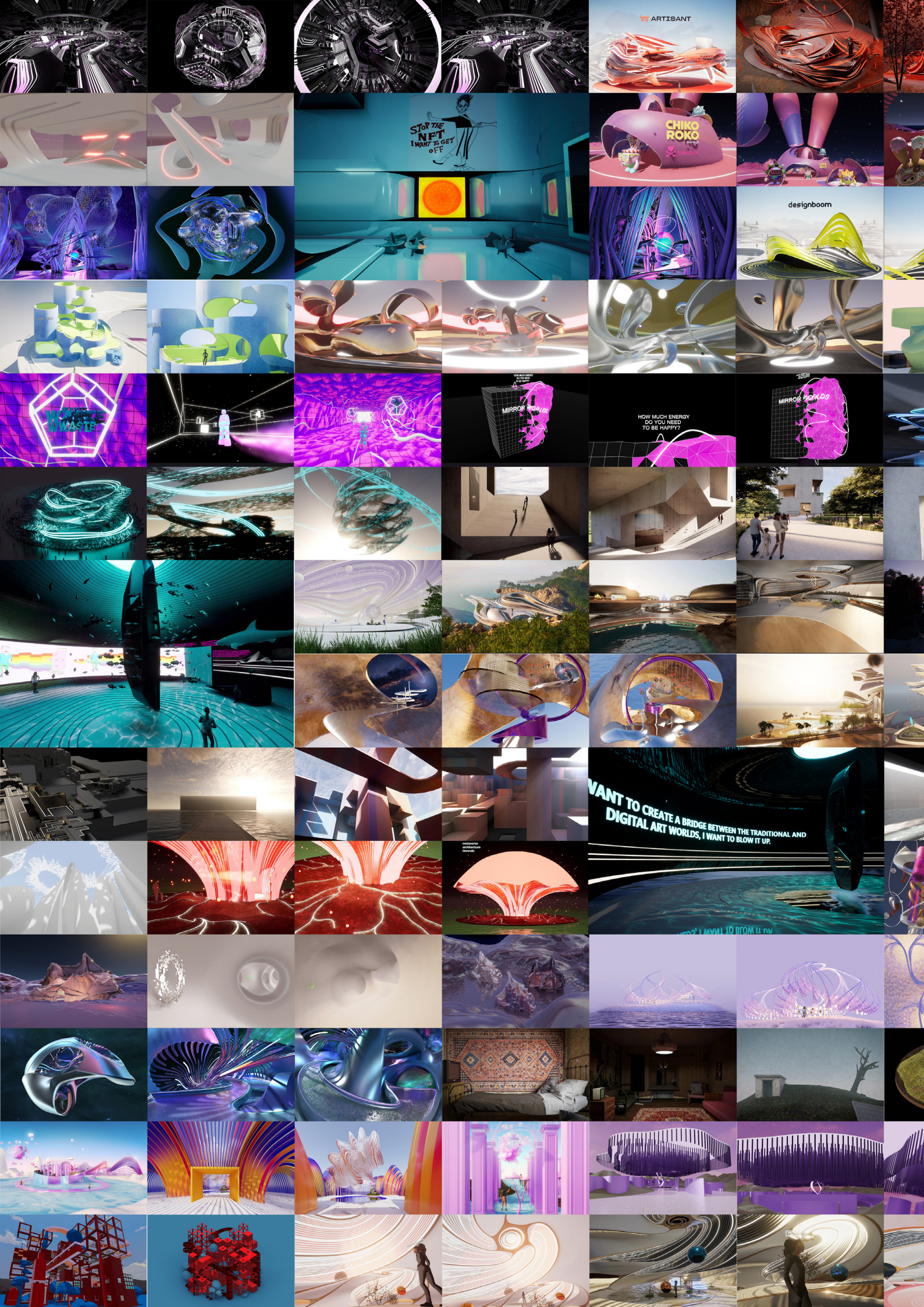
ZH.ART. (s.d.). *Digital creations and NFT collections*. https://zh.art/

Zuckerberg, M. (2021, 28 ottobre). *Founder's letter, 2021* [Lettera aperta]. Meta Platforms. https://about.fb.com/news/2021/10/founders-letter/





APPENDICE A


ARTISANT
STOP THE NFT I WANT TO GET OFF
CHIKO ROKO
designboom
HOW MUCH ENERGY DO YOU NEED TO BE HAPPY?
MIRROR WORLDS
WANT TO CREATE A BRIDGE BETWEEN THE TRADITIONAL AND DIGITAL ART WORLDS, I WANT TO BLOW IT UP.

A1 Tecnoculture: Hardware, Software e Intelligenza Artificiale
(dalla scheda I alla scheda 34)

1 Alan Turing, Computing Machinery and Intelligence, Uk, 1950
2 Marvin Minsky, Snarc, Princeton University, usa, 1951
3 Frank Rosenblatt, Perceptron, Cornell Aeronautical Laboratory, Usa, 1957
4 Yuri Gagarin, Primo Uomo nello Spazio, Urss, 1961
5 Ibm, Ibm system/360, Usa, 1964
6 Luigi Broglio, San Marco 1: Primo Satellite Italiano, Kenya/Italia, 1964
7 Joseph Weizenbaum, Eliza, Mit, Usa, 1965
8 Ivan Sutherland, The Sword of Damocles, Usa, 1968
9 Nasa, Apollo 11 / Primo Uomo sulla Luna, Usa, 1969
10 Arpanet, Advanced Research Projects Agency Network, Darpa, Usa, 1969
11 Intel, Intel 4004, Usa, 1971
12 Robert Metcalfe, Ethernet, Xerox Parc, Usa, 1973
13 Nasa, Space Shuttle Columbia: Primo volo Shuttle, Usa, 1981
14 Ibm, Ibm Personal Computer, Usa, 1981
15 Autodesk, Autocad, Usa, 1982
16 Apple, Macintosh, Usa, 1984
17 CNR, Primo Collegamento a Internet in Italia, Pisa, 1986
18 Tim Berners-Lee, World Wide Web, Cern, Svizzera, 1989
19 Epic Games, Unreal Engine, Usa, 1998
20 Robert Mcneel & Associates, Rhino 1.0, Usa, 1998
21 Autodesk, Revit, Usa, 2000
22 Unity Technologies, unity, Danimarca/Usa, 2005
23 Robert Mcneel & Associates, Grasshopper 3D, Usa, 2007
24 Oculus VR, Oculus Rift, Usa, 2010
25 Google, Bert, Usa, 2018
26 Epic Games, Twinmotion, Usa, 2019
27 Openai, Dall·e e Clip, Usa, 2021
28 Luma Lab, Luma AI, Usa, 2021
29 Midjourney, Midjourney, Usa, 2022
30 OpenAI, ChatGPT (chatbot ai), Usa, 2022
31 Stability AI, Stable Diffusion, Uk, 2022
32 Ethan Hu & Team, Meshy AI, Usa, 2023
33 Google Deepmind, Gemini 1.5, Uk/Usa, 2024
34 Anthropic, Claude 3.5, Usa, 2025

1 ALAN TURING, COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE, UK, 1950

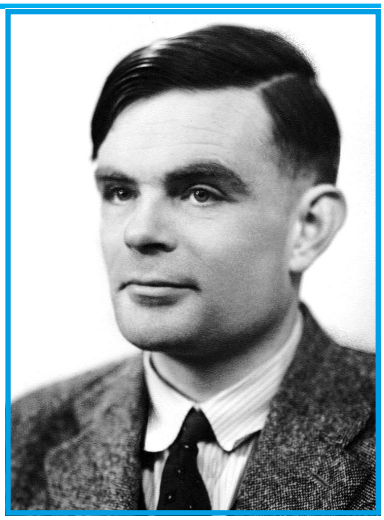


Figura 66.
Ritratto di Alan Turing, © National Portrait Gallery / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/Alan_turing_header.jpg

L'articolo *Computing Machinery and Intelligence*, pubblicato sulla rivista *Mind* nell'ottobre 1950, è uno dei testi fondativi dell'intelligenza artificiale come disciplina. Alan Turing, matematico britannico già celebre per la macchina universale di Turing (1936) e per il lavoro di crittoanalisi a Bletchley Park durante la seconda guerra mondiale, vi propone un esperimento mentale destinato a riorientare l'intero campo: il *Test di Turing*, originariamente denominato *Imitation Game*.
Il test è formulato in termini operativi e volutamente eccentrici rispetto alla tradizione filosofica. Invece di chiedere se le macchine siano in grado di pensare — domanda che Turing giudica troppo carica di presupposti metafisici — l'articolo propone un criterio comportamentale: se un interrogatore umano, scambiando messaggi testuali con due interlocutori non visibili, non è in grado di distinguere la macchina dall'essere umano in un numero significativo di casi, allora alla macchina può essere attribuita un'intelligenza funzionalmente equivalente. La domanda ontologica viene così trasposta in domanda statistica e empirica.
Una parte rilevante del saggio è dedicata alla discussione sistematica delle obiezioni prevedibili: l'obiezione teologica (il pensiero come prerogativa dell'anima), l'obiezione matematica fondata sui teoremi di incompletezza di Gödel, l'obiezione della coscienza, l'obiezione di Lady Lovelace (le macchine fanno solo ciò per cui sono state programmate). A ciascuna Turing risponde con argomentazioni che anticipano dibattiti epistemologici ancora attuali sull'agentività delle macchine intelligenti.
Particolarmente lungimirante è la sezione finale sulle *learning machines*: Turing prefigura un'intelligenza artificiale costruita non per programmazione esplicita di regole, ma per addestramento incrementale a partire da una "macchina bambino" da educare progressivamente attraverso un processo simile a quello pedagogico. È la prima formulazione esplicita del paradigma dell'apprendimento automatico, che troverà attuazione concreta nei decenni successivi con il Perceptron di Rosenblatt (Scheda 3), le reti neurali multistrato e infine gli LLM contemporanei.

Bibliografia e Sitografia

Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(236), 433–460. https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433
Copeland, B. J. (Ed.). (2004). The essential Turing. Oxford University Press.

MARVIN MINSKY, SNARC, PRINCETON UNIVERSITY, USA, 1951

2

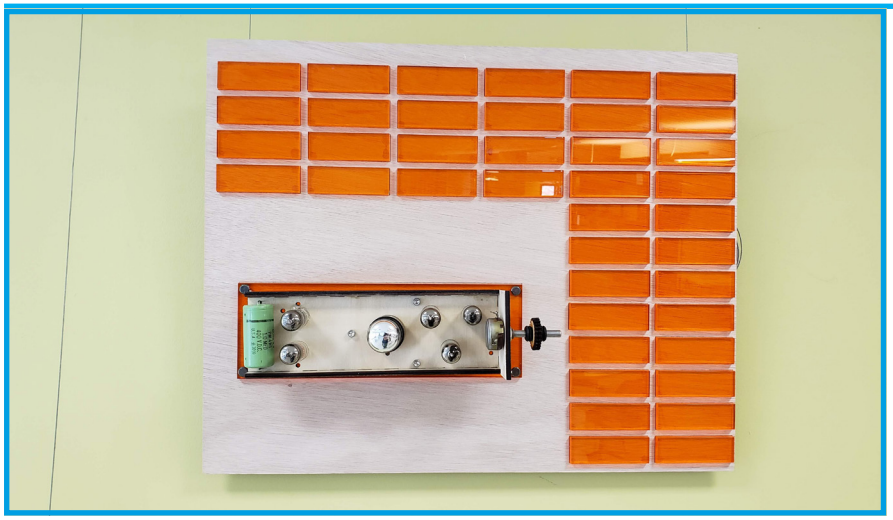


Figura 67.
Fotografia della macchina SNARC di Marvin Minsky e Dean Edmonds, 1951, © History of AI Project / History of AI, URL: https://historyof.ai/assets/images/snarc/snarc_40_wall.jpg

SNARC (*Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator*) è una macchina costruita da Marvin Minsky e Dean Edmonds tra il 1950 e il 1951 nei laboratori di matematica di Princeton, durante il dottorato di Minsky. Si tratta della prima realizzazione fisica di una rete neurale artificiale, anticipando di sei anni il Perceptron di Rosenblatt (Scheda 3) e di tre anni la formulazione teorica del *Logic Theorist* di Newell e Simon.

La macchina simula il comportamento di una piccola popolazione di quaranta neuroni interconnessi, riprodotti tramite tubi a vuoto, motori elettrici e frizioni meccaniche. Ogni "sinapsi" è realizzata da una memoria a corto raggio costituita da un condensatore che immagazzina un valore proporzionale alla forza della connessione: la macchina apprende per rinforzo modificando lentamente questi valori in funzione del successo o dell'insuccesso del comportamento osservato. L'obiettivo dell'esperimento è simulare il comportamento di un topo elettronico che apprende a percorrere un labirinto: dopo alcune sessioni la rete riusciva effettivamente a stabilizzare percorsi efficienti, dimostrando empiricamente che strutture di tipo neurale possono produrre comportamento adattivo.

Il significato storico di SNARC è duplice. Sul piano tecnico, dimostra per la prima volta che l'apprendimento per rinforzo, principio che diverrà centrale nella teoria del controllo e nel reinforcement learning contemporaneo, è realizzabile in hardware. Sul piano simbolico, segna l'ingresso di Minsky nell'arena dell'intelligenza artificiale: pochi anni dopo, nel 1956, sarà tra i fondatori della disciplina al celebre seminario di Dartmouth insieme a McCarthy, Shannon e Rochester. Nel 1958 fonderà il Laboratorio di Intelligenza Artificiale del MIT, destinato a diventare uno dei centri internazionali di ricerca nel campo.

L'eredità di SNARC è ambivalente. Lo stesso Minsky, dopo aver pioneristicamente esplorato l'approccio neurale, ne diverrà negli anni Sessanta uno dei critici più severi: il volume *Perceptrons* (1969), scritto con Seymour Papert, dimostrerà i limiti matematici dei modelli a singolo strato e contribuirà a determinare il primo "inverno dell'IA" simbolica e neurale. Il modello connessionista tornerà al centro del dibattito solo negli anni Ottanta con la backpropagation di Rumelhart, Hinton e Williams (1986), riallacciando una linea di ricerca che SNARC aveva inaugurato trent'anni prima.

Bibliografia e Sitografia

Minsky, M., & Papert, S. (1969). *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. MIT Press.
Crevier, D. (1993). *AI: The tumultuous history of the search for artificial intelligence*. Basic Books.

3 FRANK ROSENBLATT, PERCEPTRON, CORNELL AERONAUTICAL LABORATORY, USA, 1957

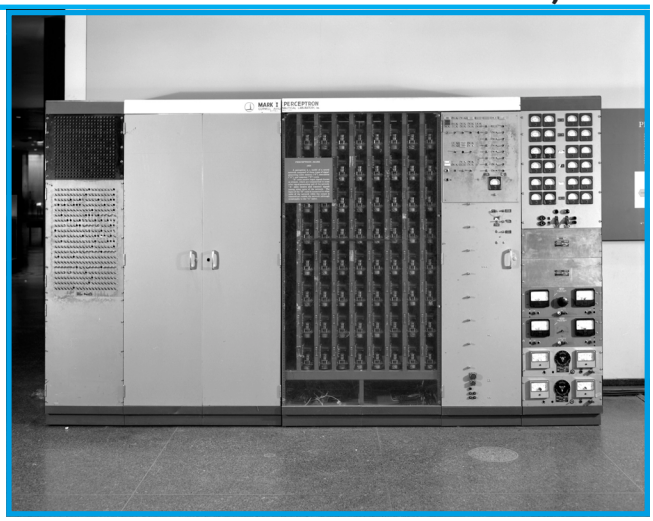


Figura 68.
Mark I Perceptron di Frank Rosenblatt, © Smithsonian Institution / National Museum of American History - Smithsonian Institution, URL: https://ids.si.edu/ids/deliveryService?id=NMAH-72-361&max=600

Il *Perceptron*, progettato da Frank Rosenblatt al Cornell Aeronautical Laboratory nel 1957 e formalizzato sulla *Psychological Review* nel 1958, è il primo modello di rete neurale artificiale dotato di un algoritmo di apprendimento dimostrabilmente convergente. L'apparato fisico, denominato *Mark I Perceptron*, è una macchina elettromeccanica di dimensioni considerevoli: un array di 400 fotocellule disposte a matrice 20×20 raccoglie segnali luminosi che vengono pesati e sommati attraverso resistenze variabili regolate da motori elettrici; un'unità di soglia finale produce risposte binarie di classificazione. Il sistema è specificamente progettato per il riconoscimento di pattern visivi, lettere e forme geometriche elementari proiettate sulla griglia di sensori.
L'innovazione concettuale risiede nell'algoritmo di apprendimento supervisionato: a ogni errore di classificazione, i pesi delle connessioni vengono aggiornati di una piccola quantità nella direzione che riduce l'errore. Rosenblatt dimostra matematicamente il *Perceptron Convergence Theorem*, che garantisce la terminazione dell'algoritmo in un numero finito di passi quando il problema è linearmente separabile. Si tratta della prima dimostrazione formale che una macchina può apprendere in modo provabile, principio fondativo della teoria computazionale dell'apprendimento.
La presentazione pubblica del 1960, alla quale partecipa anche la stampa generalista, genera un entusiasmo mediatico significativo: il *New York Times* pubblica un servizio che attribuisce alle future evoluzioni del Perceptron capacità di camminare, parlare, riprodursi e prendere coscienza di sé. Le aspettative sproporzionate verranno ridimensionate nel decennio successivo, ma il Perceptron stabilisce alcuni principi destinati a sopravvivere: l'apprendimento da esempi etichettati, la rappresentazione distribuita dell'informazione attraverso pesi sinaptici adattivi e la separazione netta tra architettura del modello e conoscenza acquisita.
Il declino del paradigma neurale arriva nel 1969, quando Marvin Minsky e Seymour Papert pubblicano *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*. Il volume dimostra con rigore matematico che il modello a singolo strato non può risolvere problemi non linearmente separabili, esemplificati dalla funzione XOR. Sebbene Minsky e Papert non escludano in linea di principio l'efficacia di reti multistrato, la critica ha effetto deterrente: i finanziamenti per la ricerca connessionista vengono drasticamente ridotti e si apre il primo "inverno dell'IA", che durerà fino alla riscoperta della backpropagation negli anni Ottanta.

Bibliografia e Sitografia

Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408. https://doi.org/10.1037/h0042519
Rosenblatt, F. (1962). *Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms*. Spartan Books.
Minsky, M., & Papert, S. (1969). *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. MIT Press.

YURI GAGARIN, PRIMO UOMO NELLO SPAZIO, URSS, 1961

4



Figura 69.
Yuri Gagarin durante la missione Vostok 1, 12 aprile 1961, © NASA / NASA, URL: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/03/1961_april_yuri_gagarin.jpg

Il 12 aprile 1961 Yuri Alekseevich Gagarin compie il primo volo orbitale equipaggiato della storia umana a bordo della capsula *Vostok 1*, completando un'orbita completa attorno alla Terra in 108 minuti a un'altitudine massima di 327 chilometri. Il volo, condotto in piena Guerra Fredda, è una delle vittorie più clamorose dell'Unione Sovietica nella corsa allo spazio: il programma Vostok, diretto dall'ingegnere Sergei Korolëv, anticipa di oltre tre settimane il primo volo suborbitale americano (Alan Shepard, 5 maggio 1961) e di quasi un anno il primo volo orbitale americano (John Glenn, febbraio 1962).
La capsula *Vostok 1*, di forma sferica e diametro di circa 2,3 metri, costituisce il primo veicolo spaziale equipaggiato della storia. La traiettoria balistica preimpostata, l'eiezione del cosmonauta tramite seggiolino a circa sette chilometri di quota e l'atterraggio col paracadute riflettono lo stato della tecnologia disponibile: i sistemi di rientro controllato non erano ancora maturi, e la procedura sovietica fu inizialmente tenuta segreta per soddisfare i requisiti FAI sull'omologazione del record (che richiedevano l'atterraggio del pilota all'interno del veicolo). La frase pronunciata da Gagarin durante il volo — *poiekhali!*, "andiamo!" — diventa un'icona della retorica spaziale del Novecento.
L'evento ha conseguenze culturali e politiche durature. Per l'URSS, dimostra la superiorità tecnologica del proprio programma e legittima la corsa allo spazio come ambito strategico di competizione bipolare; per gli Stati Uniti, costituisce lo shock psicologico che porta John F. Kennedy ad annunciare in maggio dello stesso anno l'obiettivo di portare un americano sulla Luna entro la fine del decennio, formalizzato poi nel programma Apollo (Scheda 9). Per il pubblico mondiale, infine, il volo di Gagarin trasforma lo spazio cosmico da territorio dell'immaginazione fantascientifica a frontiera tecnologica concretamente accessibile.
L'iconografia generata dalla missione — la tuta arancione, l'elmo bianco con l'insegna CCCP, il sorriso fotografato dopo l'atterraggio nei campi della regione di Saratov — alimenta una vasta produzione visuale e architettonica. Il *Monumento ai Conquistatori dello Spazio* a Mosca (1964), la nascita di un linguaggio formale ispirato alle linee aerodinamiche delle capsule, i padiglioni a forma di sputnik dell'Expo 67 di Montréal e l'estetica della Space Age che attraversa il design e l'architettura degli anni Sessanta sono tutte conseguenze culturali immediate del 12 aprile 1961.

Bibliografia e Sitografia

Burgess, C., & Hall, R. (2009). *The first Soviet cosmonaut team: Their lives, legacy, and historical impact*. Springer-Praxis.
Siddiqi, A. A. (2003). *Sputnik and the Soviet space challenge*. University Press of Florida.
McCurdy, H. E. (1997). *Space and the American imagination*. Smithsonian Institution Press.

5 IBM, IBM SYSTEM/360, USA, 1964



Figura 70.
IBM System/360 Model 30 al Computer History Museum, © IBM / righto.com, URL: http://static.righto.com/images/ibm-360/ibm-30-chm-w400.jpg

L'IBM System/360, annunciato il 7 aprile 1964 dal presidente Thomas J. Watson Jr., è la prima famiglia di computer interamente compatibili tra loro per software e periferiche, indipendentemente dalle dimensioni e dalle prestazioni delle singole macchine. Il progetto, sviluppato sotto la direzione tecnica di Gene Amdahl e Fred Brooks con un investimento di oltre cinque miliardi di dollari (cifra straordinaria per l'epoca, equivalente al 30% del fatturato annuo di IBM), rappresenta una delle scommesse industriali più ambiziose del Novecento.
La novità architetturale consiste nella separazione netta tra *architettura* del processore (l'insieme delle istruzioni macchina e dei registri visibili al programmatore) e *implementazione* (la realizzazione fisica di tale architettura in circuiti). Modelli diversi della famiglia, dal Modello 30 entry-level al Modello 75 destinato ai centri di calcolo scientifici, condividono la stessa architettura ISA pur differendo per prestazioni, dimensioni e prezzo di un fattore cinquanta. Il software scritto per un modello funziona senza modifiche su tutti gli altri: principio di compatibilità all'indietro che diventerà standard di fatto nell'industria informatica e che si manterrà in seguito attraverso le evoluzioni successive (System/370, System/390, z/Architecture) fino agli attuali mainframe IBM Z.
Il System/360 introduce inoltre la rappresentazione binaria a otto bit (il *byte*) come unità standard di indirizzamento della memoria, anziché le rappresentazioni a sei bit comuni nei sistemi precedenti. Adotta numeri in virgola mobile in formato esadecimale, gestione della memoria virtuale (introdotta nei modelli successivi 67 e 370), e un sistema operativo unificato (OS/360) progettato sotto la direzione di Brooks. Quest'ultimo descriverà l'esperienza progettuale nel volume *The Mythical Man-Month* (1975), classico dell'ingegneria del software che codifica la legge: aggiungere risorse umane a un progetto in ritardo lo ritarda ulteriormente.
L'impatto economico è massiccio: nei due anni successivi al lancio, IBM riceve ordini per oltre mille unità, ridefinendo lo standard del calcolo aziendale e scientifico mondiale. Il System/360 alimenterà il programma Apollo, le banche, le compagnie aeree e i grandi sistemi di prenotazione (SABRE), fino al censimento statunitense del 1970. Il modello di compatibilità trasversale che esso inaugura sarà ripreso, decenni dopo, dall'architettura x86 dei personal computer e dalle famiglie ARM dei dispositivi mobili: in entrambi i casi, la stabilità dell'interfaccia software a fronte dell'evoluzione hardware è il principio che ne ha consentito l'egemonia di mercato.

Bibliografia e Sitografia

Pugh, E. W., Johnson, L. R., & Palmer, J. H. (1991). *IBM's 360 and early 370 systems*. MIT Press.
Brooks, F. P. (1975). *The mythical man-month: Essays on software engineering*. Addison-Wesley.
Ceruzzi, P. E. (2003). *A history of modern computing* (2nd ed.). MIT Press.

LUIGI BROGLIO, SAN MARCO 1: PRIMO SATELLITE ITALIANO, KENYA/ITALIA, 1964

6

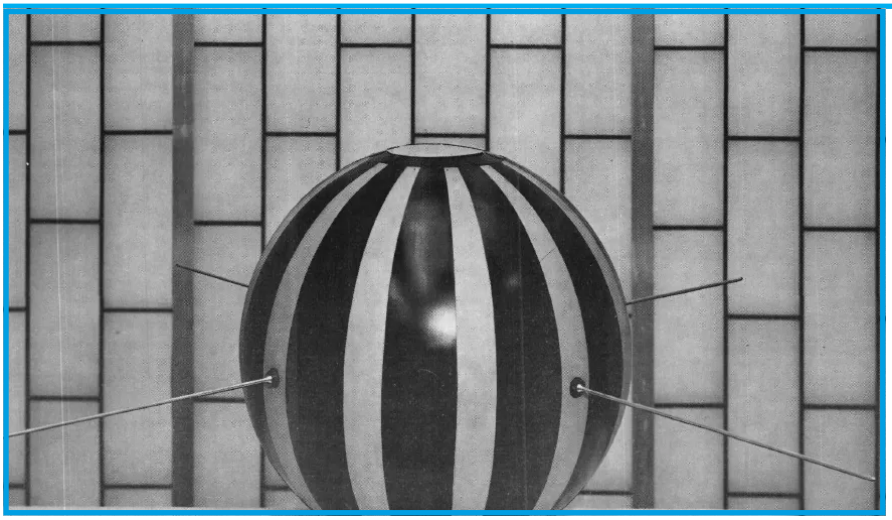


Figura 71.
Satellite San Marco 1, © NASA/Università Roma "La Sapienza"/ASI / Wired Italia, URL: https://media-assets.wired.it/photos/6759b17f4f5c5e4105b17868/16:9/w_2560%2Cc_limit/san_marco_1_2.jpg

Il 15 dicembre 1964 l'Italia diventa il terzo paese al mondo, dopo Unione Sovietica e Stati Uniti, a porre in orbita un satellite con risorse prevalentemente nazionali. Il San Marco 1, sferoide metallico del diametro di 66 centimetri e del peso di 115 chilogrammi, viene immesso in un'orbita ellittica compresa tra 186 e 921 chilometri di quota dal Centro di Ricerche Aerospaziali dell'Università di Roma "La Sapienza", diretto dal professor Luigi Broglio.
L'elemento più singolare dell'impresa non è tanto il satellite quanto la piattaforma di lancio: la *San Marco Equatorial Range*, installazione progettata e realizzata da ingegneri italiani su due piattaforme petrolifere modificate (la piattaforma San Marco per il razzo e la piattaforma Santa Rita per il controllo) e ancorate sul fondale dell'Oceano Indiano al largo di Malindi, in Kenya. La scelta del sito equatoriale non è arbitraria: il lancio da una latitudine prossima all'equatore consente di sfruttare la velocità di rotazione terrestre come incremento gratuito di velocità orbitale, riducendo il propellente necessario a parità di carico utile e abilitando orbite equatoriali a basso costo. La piattaforma San Marco è di fatto il primo spazioporto offshore della storia ed è ancora oggi un unicum nell'astronautica mondiale.
La missione scientifica del satellite è lo studio della densità degli strati alti dell'atmosfera terrestre attraverso misurazioni del trascinamento atmosferico sull'orbita. I dati raccolti, di interesse sia per la fisica dell'atmosfera sia per la progettazione di traiettorie satellitari successive, vengono pubblicati e condivisi con la comunità scientifica internazionale. Il programma San Marco proseguirà con il San Marco 2 (1967), San Marco 3 (1971), San Marco 4 (1974) e San Marco D/L (1988); ognuna delle missioni capitalizza l'esperienza delle precedenti, costruendo un patrimonio di competenze ingegneristiche autoctone in un periodo in cui le grandi potenze dello spazio dominavano in regime di monopolio.
L'eredità del programma alimenta la successiva partecipazione italiana all'Agenzia Spaziale Europea (fondata nel 1975) e la nascita dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI, 1988). L'esperienza di Broglio costituisce inoltre un caso esemplare di trasferimento internazionale di tecnologia critica: il sito di Malindi, gestito dall'ASI, opera ancora oggi come stazione di acquisizione dati e ricerca, configurando una delle più longeve cooperazioni italo-keniote nel campo aerospaziale.

Bibliografia e Sitografia

Broglio, L. (1967). *Il programma spaziale italiano San Marco*. Università di Roma.
Battiston, R. (2014). *Storia dell'astronautica italiana*. Hoepli.
NASA. (s.d.). *San Marco 1*. NASA Space Science Data Coordinated Archive. https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1964-084A

7 JOSEPH WEIZENBAUM, ELIZA, MIT, USA, 1965



Figura 72.
Joseph Weizenbaum con ELIZA al computer, 1966, © MIT Archives / ResearchGate, URL: https://www.researchgate.net/figure/Joseph-Weizenbaum-acts-out-Eliza-at-a-computer-with-printing-output-photograph-1966_fig4_355884459

ELIZA è uno dei primi programmi di elaborazione del linguaggio naturale della storia, sviluppato da Joseph Weizenbaum al MIT tra il 1964 e il 1966 e descritto nella pubblicazione fondativa del gennaio 1966 sulle *Communications of the* ACM. Scritto in MAD-SLIP, un linguaggio di alto livello derivato da LISP che Weizenbaum stesso aveva sviluppato per la manipolazione di liste, ELIZA non incorporava alcun modello semantico né alcuna rappresentazione strutturata della conoscenza: la sua intera competenza linguistica risiedeva in un meccanismo di pattern matching e sostituzione testuale.
Il programma operava attraverso script intercambiabili che descrivevano un dominio di conversazione. Il più noto, denominato DOCTOR, simulava un terapeuta di orientamento rogersiano (cliente-centrato), uno scenario scelto deliberatamente per le sue caratteristiche linguistiche: il terapeuta rogersiano restituisce le affermazioni del cliente in forma di domanda riformulata, esattamente ciò che un programma di sostituzione testuale può fare. ELIZA analizzava l'input cercando parole chiave predefinite (*madre*, *sogno*, *mi sento*), assegnava a ciascuna un punteggio di rilevanza e generava la risposta selezionando un template e applicando trasformazioni grammaticali (sostituzione di pronomi, inversione di soggetto e predicato). Il risultato erano frasi come "*Puoi elaborare perché ti senti così?*" o "*Cosa ti fa pensare a tua madre?*", che davano l'illusione di comprensione empatica pur essendo il risultato di regole puramente sintattiche.
Il fenomeno più sorprendente fu la risposta degli utenti. Persone di cultura e intelligenza elevata, inclusa la segretaria di Weizenbaum che aveva assistito alla programmazione del sistema, sviluppavano un atteggiamento empatico e talvolta emotivamente coinvolto verso il programma, chiedevano di essere lasciate sole durante le sessioni e rifiutavano di credere che l'interlocutore fosse privo di comprensione reale. Questo fenomeno, denominato in seguito *effetto* ELIZA, costituisce una delle prime osservazioni documentate della propensione umana ad attribuire intenzionalità e mente a sistemi computazionali capaci di simulare aspetti superficiali del comportamento conversazionale.
L'esperienza condusse Weizenbaum stesso a una posizione critica radicale verso l'intelligenza artificiale, esposta nel volume *Computer Power and Human Reason* (1976): la facilità con cui gli utenti antropomorfizzavano un programma deliberatamente banale rivelava, ai suoi occhi, un rischio etico profondo nell'affidare alle macchine compiti decisionali in ambiti in cui la comprensione umana è essenziale, come la psicoterapia, la medicina e il diritto. ELIZA è quindi insieme un *exemplum* tecnico del primo NLP rule-based e l'oggetto attorno a cui si forma il primo dibattito etico sull'IA, dibattito che oggi torna attuale con i grandi modelli linguistici.

Bibliografia e Sitografia

Weizenbaum, J. (1966). ELIZA — A computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the* ACM, 9(1), 36–45. https://doi.org/10.1145/365153.365168
Weizenbaum, J. (1976). *Computer power and human reason: From judgment to calculation*. W. H. Freeman.
ELIZA Project, MIT CSAIL. (s.d.). ELIZA. https://medg.csail.mit.edu/medg/projects/eliza/

IVAN SUTHERLAND, THE SWORD OF DAMOCLES, USA, 1968

8



Figura 73.
Visore Sword of Damocles di Ivan Sutherland, 1968, © Ivan Sutherland / Reddit, URL: https://i.redd.it/bqgo3dmg7ddz.jpg

Sword of Damocles è il primo sistema di visualizzazione stereoscopica montato sulla testa (Head-Mounted Display, HMD) mai costruito, sviluppato da Ivan Sutherland con il suo studente Bob Sproull all'Università dello Utah nel 1968 e presentato all'AFIPS Fall Joint Computer Conference dello stesso anno con l'articolo A *head-mounted three-dimensional display*. Il soprannome, evocativo della leggenda greca, deriva dalla soluzione meccanica adottata: il dispositivo era così pesante da non poter essere sostenuto dalla testa dell'utente e veniva sospeso al soffitto attraverso un braccio meccanico articolato che ne supportava il peso e ne tracciava simultaneamente l'orientamento.
L'architettura ottica del sistema prevedeva due tubi a raggi catodici di piccole dimensioni montati ai lati della testa, le cui immagini erano riflesse in un sistema di specchi semiriflettenti posti davanti agli occhi dell'utente. La trasparenza degli specchi permetteva di vedere simultaneamente l'ambiente fisico circostante e la sovrapposizione delle immagini sintetiche, configurazione che fa del *Sword of Damocles* non solo il primo sistema di realtà virtuale funzionale ma anche, di fatto, il primo sistema di realtà aumentata della storia. La distinzione concettuale tra VR e AR sarà formalizzata solo decenni dopo, con il continuum di Milgram (1994), ma è già implicita nelle scelte progettuali di Sutherland.
Il cuore tecnologico del sistema era il *head tracker* meccanico: sensori di posizione integrati nel braccio articolato di sospensione rilevavano in continuo l'orientamento e la posizione della testa, comunicando i dati a un mainframe IBM che ricalcolava la prospettiva e ridisegnava le immagini in tempo reale. Le scene visualizzate erano semplici stanze e poliedri elementari (cubi, piramidi, parallelepipedi) tracciate in grafica vettoriale wireframe, l'unica modalità di rendering che l'hardware dell'epoca consentiva. Nonostante la rudimentalità delle immagini, il principio percettivo era pienamente realizzato: muovendo la testa, l'utente vedeva le forme aggiornarsi prospetticamente con coerenza spaziale, sperimentando per la prima volta nella storia l'illusione credibile di trovarsi all'interno di uno spazio tridimensionale sintetico.
Il *Sword of Damocles* stabilisce l'architettura percettiva fondamentale dell'immersione visiva: stereoscopia binoculare, tracking del movimento del capo, aggiornamento prospettico in tempo reale e coordinazione sensomotoria tra azione del corpo e variazione dell'immagine. È la realizzazione concreta del programma teorico che Sutherland aveva enunciato tre anni prima nel saggio *The ultimate display* (1965), nel quale anticipava un display capace di simulare la realtà fisica con fedeltà arbitraria fino al punto in cui "*a chair displayed in such a room would be good enough to sit in*". Tutti i sistemi VR successivi, dall'Oculus Rift (2012) all'Apple Vision Pro (2024), riprendono e radicalizzano i principi qui inaugurati senza modificarne l'impostazione di base.

Bibliografia e Sitografia

Sutherland, I. E. (1968). A head-mounted three-dimensional display. *In Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference* (Vol. 33, pp. 757–764). ACM.
Sutherland, I. E. (1965). The ultimate display. In *Proceedings of IFIP 1965* (Vol. 2, pp. 506–508).
Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, *E77-D*(12), 1321–1329.

9 NASA, APOLLO 11 / PRIMO UOMO SULLA LUNA, USA, 1969

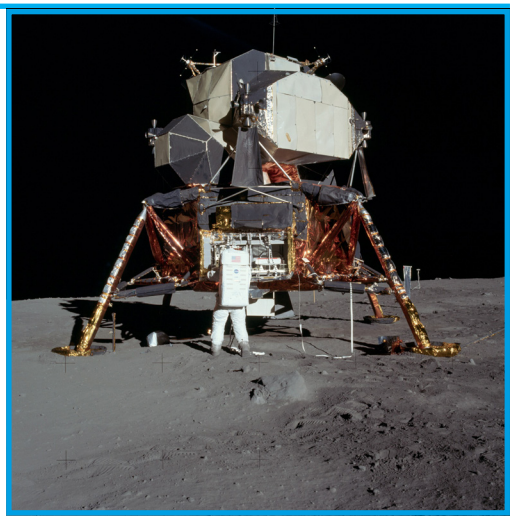


Figura 74.
Modulo lunare Apollo 11, © NASA / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/04/Apollo_11_Lunar_Lander_-_5927_NASA.jpg

Il 20 luglio 1969, alle 20:17 UTC, il modulo lunare *Eagle* della missione Apollo 11 atterra nel Mare della Tranquillità. Sei ore più tardi Neil Armstrong scende per primo sulla superficie lunare, seguito dopo venti minuti da Buzz Aldrin, mentre Michael Collins resta in orbita a bordo del modulo di comando *Columbia*. La missione, lanciata il 16 luglio dal Kennedy Space Center con un razzo Saturn V di tre stadi alto 110 metri, conclude un programma decennale di sviluppo tecnologico che aveva impegnato oltre 400.000 persone e un investimento complessivo di circa 25 miliardi di dollari (oltre 200 miliardi attualizzati).

La complessità computazionale della missione era senza precedenti. Il programma Apollo aveva richiesto lo sviluppo dell'*Apollo Guidance Computer* (AGC), il primo computer integrato a memoria a nuclei magnetici installato su un veicolo spaziale equipaggiato. Progettato al MIT Instrumentation Laboratory sotto la direzione di Charles Stark Draper, l'AGC operava con 4.096 parole di RAM e 36.864 parole di ROM (memoria a nuclei intrecciati a mano da operatrici tessili) in un involucro di circa 32×15×17 centimetri per 32 chilogrammi. Era inoltre il primo computer di volo a impiegare circuiti integrati Fairchild su scala industriale (oltre 5.000 chip per missione), determinando un ordine commerciale che da solo legittimò l'industria dei semiconduttori in fase di nascita. Il software, scritto in linguaggio assembler da un team guidato da Margaret Hamilton, è rimasto un riferimento canonico per i sistemi *real-time* a missione critica.

Le ricadute tecnologiche del programma Apollo sulla simulazione e sulla grafica computerizzata sono dirette e documentate. I simulatori di volo sviluppati per l'addestramento degli astronauti, in particolare il *Lunar Landing Training Vehicle* e i simulatori digitali del Manned Spacecraft Center di Houston, costituirono i primi ambienti di simulazione immersiva ad alta fedeltà mai costruiti: combinavano feedback fisico (cabine basculanti su attuatori idraulici), display visivi aggiornati in tempo reale e interfacce di controllo che riproducevano fedelmente il comportamento del veicolo reale. Gli ingegneri formati in questi laboratori fondarono o influenzarono direttamente le prime aziende di simulazione visuale degli anni Settanta (Evans & Sutherland, General Electric Simulation Division), tracciando una linea di continuità diretta verso le tecniche di rendering real-time che porteranno ai motori grafici contemporanei.

L'impatto culturale e immaginativo della missione Apollo è di portata epocale e trascende quello, già rilevante, del volo di Gagarin. Le fotografie della Terra dallo spazio (l'iconica *Earthrise* scattata da William Anders durante Apollo 8 nel dicembre 1968 e la *Blue Marble* fotografata dall'equipaggio di Apollo 17 nel 1972) ridefiniscono la percezione del pianeta: per la prima volta nella storia l'umanità si vede dall'esterno come oggetto unitario nel cosmo.

Bibliografia e Sitografia

Mindell, D. A. (2008). *Digital Apollo: Human and machine in spaceflight*. MIT Press.

NASA. (1969). *Apollo 11 mission report* (NASA Technical Report MSC-00171). NASA Manned Spacecraft Center.

McCurdy, H. E. (1997). *Space and the American imagination*. Smithsonian Institution Press.

ARPANET, ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY NETWORK, DARPA, USA, 1969

10

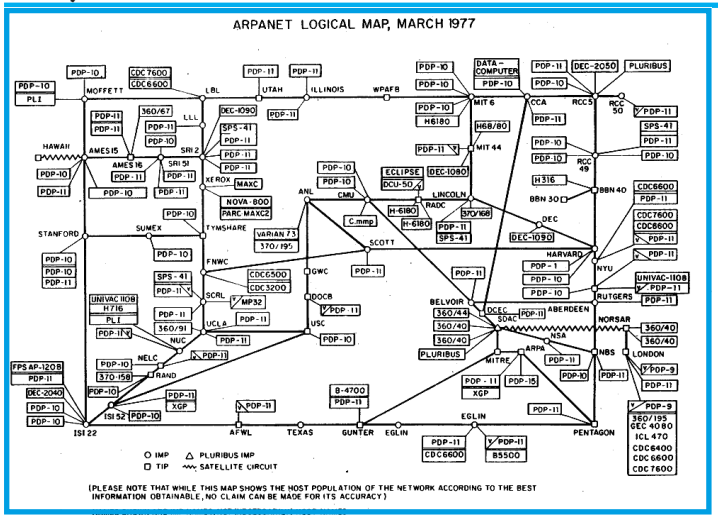


Figura 75.
Mappa logica di ARPANET, marzo 1977, © ARPA/Department of Defense / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bf/Arpanet_logical_map%2C_march_1977.png

ARPANET è la prima rete a commutazione di pacchetto (*packet switching*) operativa della storia e il precursore diretto di Internet. Sviluppata dall'Advanced Research Projects Agency del Dipartimento della Difesa statunitense a partire dal 1966, fu attivata il 29 ottobre 1969 quando il computer dell'UCLA trasmise i primi due caratteri del comando *LOGIN* al nodo dello Stanford Research Institute prima che il sistema andasse in crash: la lettera *L* e la lettera *O*, primo messaggio di rete della storia, furono inviate dal programmatore Charley Kline. I quattro nodi originari (UCLA, SRI, UC Santa Barbara e University of Utah) erano collegati attraverso linee telefoniche dedicate a 50 kbps, con *Interface Message Processor* basati su Honeywell DDP-516 come nodi di commutazione, secondo il progetto teorico elaborato da Paul Baran (RAND Corporation, 1964) e Donald Davies (NPL, 1966) e implementato da Lawrence Roberts e Robert Taylor.

L'architettura distribuita di ARPANET nasceva da una specifica esigenza strategica: garantire la continuità delle comunicazioni anche in presenza di nodi compromessi. La commutazione di pacchetto, che frammenta i messaggi in unità autonome instradate dinamicamente attraverso percorsi alternativi, è radicalmente diversa dalla commutazione di circuito della telefonia tradizionale e introduce per la prima volta su scala operativa il principio di una rete senza centro, in cui ogni nodo può comunicare con ogni altro senza dipendere da un'autorità di controllo unica. È un'architettura che, paradossalmente concepita per scopi militari, costituirà la matrice tecnica della cultura digitale civile e libertaria.

L'evoluzione verso l'Internet moderno passa per alcune tappe canoniche. Nel 1972 Ray Tomlinson invia il primo messaggio di posta elettronica e introduce la convenzione del simbolo @ per separare nome utente e nome host. Nel 1973 ARPANET stabilisce il primo collegamento internazionale con lo University College London e con il NORSAR norvegese. Nel 1974 Vint Cerf e Robert Kahn pubblicano *A protocol for packet network intercommunication*, fondando il TCP, e nel 1981 il complesso TCP/IP viene formalizzato come standard. Il 1° gennaio 1983, denominato *Flag Day*, ARPANET completa la transizione obbligata al TCP/IP, sancendo la nascita tecnica di Internet come "rete delle reti": qualunque rete locale conforme al protocollo può ora interoperare con qualunque altra. Nel 1990 ARPANET viene formalmente dismessa, avendo esaurito il proprio compito storico.

L'eredità di ARPANET si misura su due piani complementari. Sul piano tecnico, definisce la grammatica fondamentale della comunicazione digitale globale: pacchetti, protocolli a strati, indirizzamento logico, instradamento distribuito. Sul piano culturale, inaugura la rete come spazio orizzontale e cooperativo, modello che attraverserà le comunità accademiche, le BBS, Usenet, il World Wide Web (Scheda 18) e fino agli odierni metaversi distribuiti come Decentraland (Scheda 96).

Bibliografia e Sitografia

Abbate, J. (1999). *Inventing the Internet*. MIT Press.

Cerf, V., & Kahn, R. (1974). A protocol for packet network intercommunication. *IEEE Transactions on Communications*, 22(5), 637–648. https://doi.org/10.1109/TCOM.1974.1092259

11 INTEL, INTEL 4004, USA, 1971

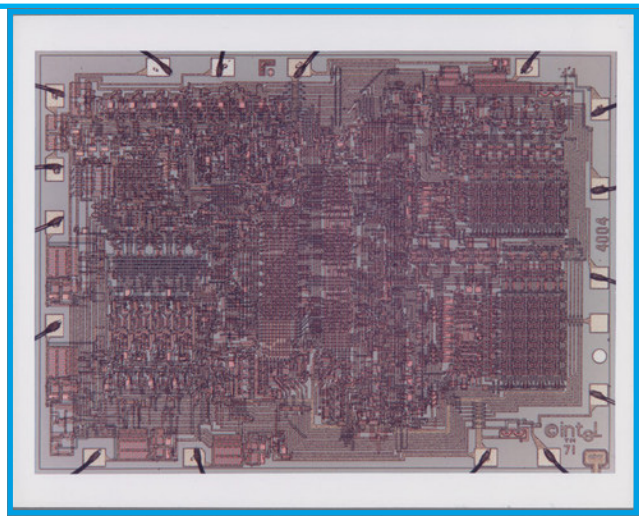


Figura 76.
Intel Corporation / Calisphere (California Digital Library), Fotografia a colori ingrandita del die Intel 4004, URL: https://calisphere.org/item/ark:/13030/kt8000219w/, © Intel Corporation 1971. All Rights Reserved

Rilasciato il 15 novembre 1971, l'Intel 4004 è il primo microprocessore commerciale della storia: un intero processore — ALU (Arithmetic Logic Unit), registri, logica di controllo e bus dati — integrato su un unico chip di silicio delle dimensioni di un'unghia. Il progetto fu sviluppato da Federico Faggin, Ted Hoff e Stanley Mazor presso Intel, con la fondamentale contribuzione del progettista giapponese Masatoshi Shima per conto della società committente Busicom. Il chip integrava 2.300 transistor in tecnologia MOS *silicon gate* su un'area di 12 mm², operava a una frequenza di 740 kHz e processava dati a 4 bit.

La genesi del progetto è istruttiva. Nel 1969 la giapponese Busicom commissiona a Intel un set di dodici chip specializzati per una calcolatrice da tavolo programmabile. Ted Hoff, invece di soddisfare la richiesta letterale, propone una soluzione radicalmente diversa: sostituire l'intera serie di chip dedicati con un unico chip programmabile a scopo generale. È la prima volta che la logica computazionale viene proposta come *commodity* generica anziché come circuito specializzato, principio destinato a riconfigurare l'intera industria. Federico Faggin, ingegnere italiano formatosi all'Università di Padova e trasferitosi in California due anni prima, è incaricato della traduzione del progetto logico in layout fisico del chip. Sviluppa per l'occasione la metodologia *silicon gate* con porte autoallineate, tecnica che diventerà standard industriale, e completa il design in dodici mesi.

L'Intel 4004 inaugura la traiettoria della miniaturizzazione computazionale prevista dalla *Legge di Moore*, formulata da Gordon Moore in un articolo su *Electronics* nel 1965, secondo cui il numero di transistor per chip raddoppia approssimativamente ogni due anni a parità di costo. Mezzo secolo di applicazione di tale legge ha portato dai 2.300 transistor del 4004 agli oltre 100 miliardi di transistor dei chip ARM e Apple Silicon contemporanei: una progressione geometrica di circa otto ordini di grandezza che è la precondizione materiale di tutta l'evoluzione informatica successiva.

L'eredità del 4004 si misura non solo sul piano della densità computazionale ma anche su quello della struttura dell'industria. La separazione tra progettazione logica e implementazione fisica del chip, inaugurata con il 4004, evolverà nel modello *fabless* contemporaneo, in cui aziende come ARM, Nvidia o AMD progettano architetture mentre la fabbricazione viene affidata a *foundry* indipendenti come TSMC. Federico Faggin, dopo aver fondato Zilog (Z80, 1976) e Cygnet Technologies, è oggi attivo nella ricerca sulla coscienza in relazione all'intelligenza artificiale: figura emblematica di una traiettoria intellettuale che dalla fisica del silicio approda alle questioni epistemologiche poste dalle tecnologie computazionali contemporanee.

Bibliografia e Sitografia

Faggin, F., Hoff, M. E., Mazor, S., & Shima, M. (1996). The history of the 4004. *IEEE Micro*, 16(6), 10–20. https://doi.org/10.1109/40.546561

Faggin, F. (2019). *Silicio: Dal transistor all'intelligenza artificiale*. Mondadori.

Moore, G. E. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38(8), 114–117.

ROBERT METCALFE, ETHERNET, XEROX PARC, USA, 1973

12

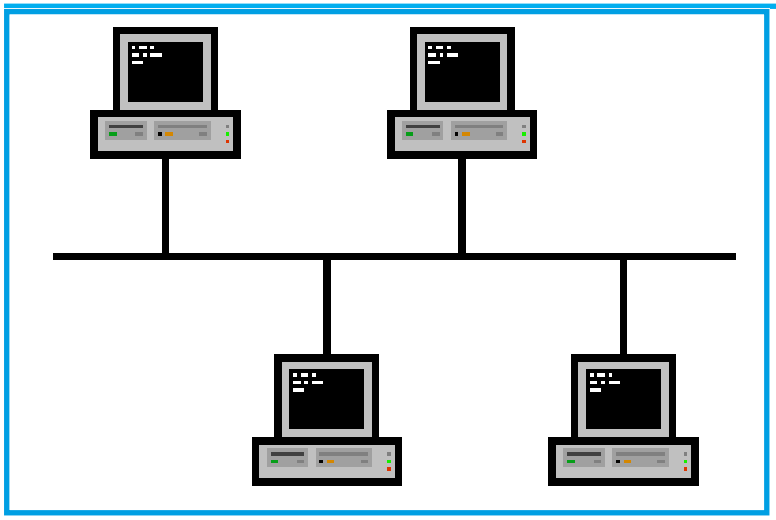


Figura 77.
Diagramma topologia a bus di rete Ethernet, © Robert Metcalfe/Xerox PARC / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Netzwerktopologie_Bus.png

Ethernet nasce nel 1973 presso lo Xerox Palo Alto Research Center (PARC), il laboratorio californiano che in quegli anni stava elaborando quasi per intero il modello del personal computing destinato a dominare i decenni successivi. Robert Metcalfe, allora giovane ricercatore appena assunto da Xerox dopo il dottorato a Harvard, viene incaricato di progettare un sistema di rete locale per connettere tra loro i computer Alto del laboratorio (le prime workstation con interfaccia grafica WIMP) e con la prima stampante laser del laboratorio sviluppata da Gary Starkweather. La soluzione concettuale è ispirata all'ALOHAnet dell'Università delle Hawaii, sistema radio a pacchetti realizzato nel 1970 da Norman Abramson per connettere via radio i campus universitari hawaiani disseminati su isole diverse.
Il primo sistema operativo, realizzato con l'ingegnere David Boggs, opera a 2,94 Mbps su un cavo coassiale condiviso e adotta il protocollo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*): ogni dispositivo della rete ascolta il canale prima di trasmettere, rileva eventuali collisioni con trasmissioni concorrenti e attende un intervallo casuale prima di ritentare. Il principio è elegante e robusto: invece di un controllore centrale che assegna il tempo di trasmissione a ciascun nodo, l'accesso al mezzo è gestito da un protocollo distribuito che fa emergere l'ordine dalla cooperazione locale. Metcalfe e Boggs descrivono il sistema nella pubblicazione fondativa sulle *Communications of the* ACM del 1976, articolo che diventa subito un riferimento canonico nella letteratura delle reti.
La standardizzazione come IEEE 802.3 nel 1983, frutto della collaborazione tra Xerox, Intel e DEC denominata *DIX Ethernet*, sancisce l'adozione universale della tecnologia e ne garantisce l'interoperabilità tra dispositivi di produttori diversi. La decisione di Metcalfe di lasciare Xerox nel 1979 per fondare 3Com (società che commercializzerà schede Ethernet per personal computer) si rivela strategica: l'industria del networking nasce attorno a Ethernet come standard aperto, e Metcalfe stesso formulerà la *Legge di Metcalfe* secondo cui il valore di una rete è proporzionale al quadrato del numero di nodi connessi.
L'evoluzione delle velocità racconta la storia stessa della crescita del computing: dai 2,94 Mbps originari ai 10 Mbps (1980), 100 Mbps Fast Ethernet (1995), 1 Gbps Gigabit Ethernet (1998), 10 Gbps (2002), fino ai 400 Gbps degli standard correnti per data center. Ethernet costituisce l'infrastruttura di prossimità senza la quale la rete a lungo raggio inaugurata da ARPANET (Scheda 10) non avrebbe potuto dispiegarsi capillarmente nelle istituzioni, negli studi professionali e nelle abitazioni: è la grammatica fisica che porta la rete dentro l'edificio, l'ultimo miglio che trasforma Internet da rete di laboratori in infrastruttura quotidiana.

Bibliografia e Sitografia

Metcalfe, R. M., & Boggs, D. R. (1976). Ethernet: Distributed packet switching for local computer networks. *Communications of the* ACM, 19(7), 395–404. https://doi.org/10.1145/360248.360253
Spurgeon, C. E., & Zimmerman, J. (2014). *Ethernet: The definitive guide* (2nd ed.). O'Reilly Media.
IEEE Standards Association. (s.d.). *IEEE 802.3 Ethernet Working Group*. https://www.ieee802.org/3/

13 NASA, SPACE SHUTTLE COLUMBIA: PRIMO VOLO SHUTTLE, USA, 1981



Figura 78.
Intel Corporation / Calisphere (California Digital Library), Fotografia a colori ingrandita del die Intel 4004, URL: https://calisphere.org/item/ark:/13030/kt8000219w/, © Intel Corporation 1971. All Rights Reserved

Il 12 aprile 1981, esattamente vent'anni dopo il volo di Gagarin, lo *Space Shuttle Columbia* completa con successo la missione STS-1, il primo volo orbitale di una navicella spaziale parzialmente riutilizzabile. Pilotato da John Young e Robert Crippen, il Columbia decolla dalla rampa 39A del Kennedy Space Center alle 12:00:03 UTC e atterra il 14 aprile alla Edwards Air Force Base in California dopo 54 ore e mezza di volo, dimostrando la fattibilità del concetto guidante del programma: un veicolo spaziale che decolla verticalmente come un razzo, opera in orbita come una stazione e atterra orizzontalmente come un aliante.

Il programma *Space Transportation System*, sviluppato nell'arco degli anni Settanta con un investimento complessivo di circa dieci miliardi di dollari (oltre 50 miliardi attualizzati), rappresenta un cambio di paradigma nel trasporto spaziale. A differenza dei razzi Saturn V *usa-e-getta* delle missioni Apollo, l'orbiter è progettato per essere riutilizzato fino a cento missioni, il serbatoio esterno di propellente è l'unico elemento non recuperabile, mentre i due *Solid Rocket Booster* vengono recuperati nell'oceano e ricondizionati. Il programma includerà cinque orbiter operativi (Columbia, Challenger, Discovery, Atlantis, Endeavour), di cui due andranno perduti in incidenti tragici (Challenger nel 1986, Columbia nel 2003) che imporranno significative ridiscussioni delle procedure di sicurezza.

Sul piano tecnologico, lo Shuttle introduce innovazioni di portata sistemica. Il sistema di controllo di volo è interamente *fly-by-wire*, gestito da cinque computer ridondanti IBM AP-101 che operano in voto di maggioranza per determinare i comandi da inviare agli attuatori delle superfici di controllo: si tratta di una delle prime applicazioni operative dell'elaborazione distribuita tollerante ai guasti, architettura che troverà eco nei sistemi cloud e nei pacemaker biomedici. Il *Remote Manipulator System* (Canadarm), sviluppato dalla Spar Aerospace canadese, è il primo braccio robotico teleoperato di lungo periodo in ambiente spaziale e costituisce un precursore delle interfacce di controllo remoto che caratterizzeranno la robotica industriale e medica successiva.

I simulatori di addestramento per gli equipaggi dello Shuttle, basati su database geografici terrestri renderizzati in tempo reale su workstation Silicon Graphics, sono ai loro tempi i sistemi di simulazione visiva più sofisticati mai costruiti e si collocano nella linea di continuità che, attraverso l'industria della simulazione di volo civile e militare, conduce ai motori grafici contemporanei. L'estetica dello Shuttle (la sagoma alata e tozza dell'orbiter, le tute EVA bianche, i paesaggi orbitali) penetra capillarmente nella cultura visiva degli anni Ottanta e Novanta, dai videogiochi alla fantascienza di *Alien* e *2001: Odissea nello spazio*, contribuendo a formare l'immaginario che accompagnerà la diffusione dei primi ambienti virtuali tridimensionali del decennio successivo.

Bibliografia e Sitografia

Jenkins, D. R. (2001). *Space Shuttle: The history of the National Space Transportation System*. Voyageur Press.

NASA. (1981). *STS-1 mission report* (NASA Technical Report JSC-16978). Johnson Space Center.

Heppenheimer, T. A. (2002). *Development of the Space Shuttle, 1972–1981*. Smithsonian Institution Press.

IBM, IBM PERSONAL COMPUTER, USA, 1981

14



Figura 79.
Diagramma topologia a bus di rete Ethernet, © Robert Metcalfe/Xerox PARC / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Netzwerktopologie_Bus.png

Lanciato da IBM il 12 agosto 1981 con la sigla *Model* 5150, l'*IBM Personal Computer* ridefinisce in modo irreversibile il rapporto tra essere umano e macchina computazionale. La macchina è dotata di processore Intel 8088 a 4,77 MHz, 16 KB di RAM espandibili a 256 KB, un'unità a *floppy disk* da 5,25 pollici e il sistema operativo PC-DOS, versione adattata di MS-DOS fornita da una piccola azienda di Seattle chiamata Microsoft. Sul piano delle specifiche pure il modello 5150 non era tecnicamente superiore alle macchine concorrenti: l'Apple II era sul mercato dal 1977, il Commodore PET dal 1977, il TRS-80 di Tandy dal 1977. Ciò che rese l'IBM PC un evento epocale fu la combinazione di tre fattori non strettamente tecnici: il marchio IBM, la disponibilità immediata su scala globale e la decisione strategica di pubblicare integralmente le specifiche della macchina.
L'apertura dell'architettura è il vero punto di svolta. IBM pubblica gli schemi tecnici del sistema, le interfacce hardware, il listato del BIOS e i pinout dei connettori, rendendo possibile a qualunque produttore di costruire macchine compatibili. La decisione, motivata dall'urgenza di accelerare il *time-to-market* e di costruire un ecosistema di software e periferiche di terze parti, genera paradossalmente la fine del monopolio IBM sul prodotto: già nel novembre 1982 Compaq presenta il primo *clone* legale dell'IBM PC, ottenuto attraverso la *clean-room reverse engineering* del BIOS, e nel 1986 Compaq diventerà la prima azienda a commercializzare un PC con processore Intel 80386 prima di IBM stessa. Negli anni Ottanta AST, Acer, Dell e decine di altri produttori entrano nel mercato, configurando un ecosistema *commodity* in cui il vantaggio competitivo si sposta dal'hardware al software e all'integrazione.
L'architettura x86 (il set di istruzioni del processore Intel 8088 e dei suoi successori 80286, 80386, 80486, Pentium fino alle CPU Core e Xeon attuali) diventa lo standard *de facto* per il computing personale e professionale, con una continuità che dura ancora oggi: i programmi scritti per MS-DOS negli anni Ottanta possono in linea di principio essere eseguiti su hardware x86 contemporaneo attraverso strati di emulazione e virtualizzazione. Questa compatibilità multigenerazionale, che riprende il principio già introdotto da IBM con il System/360 nel 1964, è la precondizione per la sedimentazione progressiva di ecosistemi software sempre più ricchi: ogni release di AutoCAD, di Windows, di Rhino, di Adobe Photoshop si costruisce sulle fondamenta architetturali stabilite nell'agosto 1981.
Il paradosso più significativo della storia dell'IBM PC riguarda Microsoft. IBM, nella fretta di chiudere il contratto per il sistema operativo, accetta che Microsoft mantenga i diritti di licenza su MS-DOS e possa venderlo liberamente ad altri produttori. La clausola, apparentemente irrilevante nel 1981 (Microsoft contava allora circa quaranta dipendenti) si rivela retrospettivamente la chiave del trasferimento di valore dal hardware al software: Bill Gates concede MS-DOS a tutti i produttori, Microsoft fattura su ogni macchina venduta nel mondo, e nel decennio successivo diventa il monopolista del software per PC.

Bibliografia e Sitografia

Carroll, P. (1993). *Big blues: The unmaking of* IBM. Crown Publishers.

15 AUTODESK, AUTOCAD, USA, 1982



Figura 80.
Screenshot interfaccia AutoCAD, © Autodesk / Architectural Education History, URL: https://aehistory.wordpress.com/wp-content/uploads/1982/08/earlycad.jpg?w=NaN&h=

Presentato alla prima edizione di COMDEX a Las Vegas nel novembre 1982 e commercializzato nel dicembre dello stesso anno con la sigla *AutoCAD-80*, il software è il primo CAD (*Computer-Aided Design*) progettato specificamente per piattaforme personal computer, in particolare per l'IBM PC e i suoi compatibili x86. La società Autodesk era stata fondata l'aprile precedente da John Walker insieme a tredici co-fondatori, in larga parte programmatori che avevano partecipato ai primi forum di posta elettronica della comunità *hobbyist* californiana. Il software originario, denominato *Interact*, era stato sviluppato dal programmatore Mike Riddle in linguaggio assembler 8080 e venne acquisito da Autodesk in cambio di una percentuale sulle royalty.
AutoCAD democratizza l'accesso agli strumenti CAD professionali che fino a quel momento erano disponibili solo su workstation grafiche dedicate: sistemi come Intergraph, Computervision o Calma costavano da decine fino a centinaia di migliaia di dollari, richiedevano operatori specializzati e occupavano intere sale. La prima versione di AutoCAD, venduta a circa 1.000 dollari contro i 100.000 dei sistemi mainframe concorrenti, offriva disegno vettoriale 2D con primitive geometriche elementari (linee, archi, cerchi, polilinee), organizzazione del disegno su livelli (*layer*), blocchi riutilizzabili e un sistema di coordinate cartesiane con precisione al millesimo. Il formato file proprietario .DWG, introdotto nella versione 1.4 del 1983, diventerà uno degli standard *de facto* dell'industria, conservato come riferimento ancora nell'attuale AutoCAD 2025.
Sul piano della programmabilità, l'introduzione di *AutoLISP* nella versione 2.18 del 1986 (un dialetto LISP integrato nell'ambiente di disegno) costituisce il primo caso di scriptabilità accessibile al progettista non informatico. La possibilità di scrivere routine che automatizzano operazioni ripetitive, generano geometrie secondo regole parametriche semplici, producono variazioni sistematiche di un elemento base. Il principio (la geometria come risultato di un programma anziché di un gesto manuale) anticipa di un quarto di secolo i sistemi di *visual scripting* parametrico come Grasshopper.
L'impatto di AutoCAD sulla pratica architettonica e ingegneristica eccede la semplice sostituzione del supporto fisico, il documento progettuale cessa di essere oggetto fisico (la carta, la matita, il rapidograph, la china) per diventare un file digitale duplicabile, trasmissibile via rete, modificabile senza degrado. Il file .DWG non è la rappresentazione digitale di un disegno fisico, ma un oggetto digitale autonomo con proprietà nuove (precisione numerica illimitata, scalabilità infinita, modifica non distruttiva, versionamento) che riconfigurano la pratica del disegno tecnico in modo concettuale prima ancora che operativo.

Bibliografia e Sitografia

Walker, J. (1994). *The Autodesk file: Bits of history, words of experience* (4th ed.). Autodesk. (Pubblicazione interna disponibile online).
Yares, E. (2013, 28 novembre). AutoCAD: The story of the little program that could. *Manufacturing Business Technology*.

APPLE, MACINTOSH, USA, 1984

16



Figura 81.
Apple Macintosh 128K del 1984, © Apple Inc. / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/Computer_macintosh_

Il 24 gennaio 1984, durante il Super Bowl XVIII, Apple manda in onda un solo *spot* televisivo: "1984", diretto da Ridley Scott. Sessanta secondi che alludono al romanzo orwelliano: una giovane atleta in tuta arancione attraversa una sala di automi grigi e scaglia un martello contro lo schermo da cui un Grande Fratello impartisce dottrine. Lo spot non mostra il prodotto: lo annuncia attraverso una promessa di emancipazione individuale rispetto al conformismo tecnologico di IBM, mai nominata ma chiaramente identificata. È la prima volta che un'azienda tecnologica costruisce attorno al proprio prodotto una narrazione di liberazione personale, modello che diventerà dominante nel marketing tecnologico per i decenni successivi.
Due giorni dopo, il 26 gennaio 1984, viene presentato il prodotto vero e proprio. Il *Macintosh* 128K è dotato di processore Motorola 68000 a 7,83 MHz, 128 KB di RAM, monitor monocromatico CRT integrato da 9 pollici a 512×342 pixel e un mouse a un solo tasto come dispositivo di puntamento primario. Sul piano hardware non è una macchina rivoluzionaria. La rivoluzione del Macintosh è di interfaccia: il sistema operativo, denominato semplicemente *System Software*, introduce il paradigma WIMP (*Windows*, *Icons*, *Menus*, *Pointer*) in un prodotto di massa, accessibile e affordabile. La traduzione delle ricerche di laboratorio in prodotto commerciale di consumo è il merito specifico di Apple, sotto la direzione di un team che includeva Jef Raskin, Bill Atkinson, Andy Hertzfeld, Susan Kare e, naturalmente, Steve Jobs.
Il concetto di GUI (*Graphical User Interface*) non era nuovo. Era stato concepito da Doug Engelbart allo Stanford Research Institute con il sistema NLS/Augment del 1968 (la celebre *Mother of All Demos*, in cui Engelbart presentò simultaneamente il mouse, la videoconferenza, l'ipertesto e le finestre sovrapposte) e poi sviluppato a Xerox PARC con il computer Alto da Alan Kay, Larry Tesler, Butler Lampson e altri. Il Macintosh adotta selettivamente queste sperimentazioni e le rende usabili da chiunque, senza formazione tecnica. Il mouse smette di essere uno strumento da ricercatori e diventa l'estensione naturale della mano nel disegno digitale: per gli architetti, i grafici e gli editori questa trasformazione è decisiva, soprattutto in combinazione con la stampante laser ImageWriter e il software *MacPaint* sviluppato da Bill Atkinson.
La piattaforma Mac diventerà negli anni Ottanta e Novanta il sistema preferenziale per il *desktop publishing* (Aldus PageMaker 1985, QuarkXPress 1987 e poi Adobe InDesign), per la grafica digitale (Adobe Photoshop 1990, Illustrator 1987) e per la stampa di qualità tipografica. Il paradigma WIMP non richiede all'utente di memorizzare comandi testuali ma di agire su rappresentazioni visive degli oggetti: si clicca sull'icona di un file per aprirlo, si trascina un'icona per spostarla, si ridimensiona una finestra tirandone l'angolo.

Bibliografia e Sitografia

Hertzfeld, A. (2004). *Revolution in the valley: The insanely great story of how the Mac was made*. O'Reilly Media.
Hiltzik, M. (1999). *Dealers of lightning: Xerox PARC and the dawn of the computer age*. HarperBusiness.
Linzmayer, O. W. (2004). *Apple confidential 2.0: The definitive history of the world's most colorful company*. No Starch Press.

17 CNUCE, PRIMO COLLEGAMENTO A INTERNET IN ITALIA, PISA, 1986



Figura 82.
Primo collegamento Internet italiano, CNUCE-CNR Pisa, 30 aprile 1986, © CNR/IIT-CNR Pisa / Hardware Upgrade, URL: https://www.hwupgrade.it/immagini/internet-italy_720.jpg

Il 30 aprile 1986 alle ore 18:13 (orario italiano) il *Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico* (CNUCE) del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa stabilisce la prima connessione Internet italiana. Il collegamento avviene tra il calcolatore CNUCE-VM (un IBM 4341 sotto sistema operativo VM/CMS) e la stazione satellitare di Roaring Creek in Pennsylvania, attraverso una linea dedicata a 64 kbps che instradava i dati verso il NSFNET, all'epoca la dorsale principale della rete americana. Il messaggio inaugurale, uno scambio di pacchetti di test condotto da Stefano Trumpy con il collega Robert Hobby della Carnegie Mellon University, è il primo pacchetto TCP/IP italiano a transitare attraverso l'Atlantico. L'Italia diventa così il quarto paese europeo a connettersi alla rete americana, dopo Norvegia (1973), Regno Unito (1973) e Germania (1984).

Il contesto tecnico-istituzionale del CNUCE spiega perché la connessione sia stata raggiunta relativamente presto rispetto ad altri paesi europei. Il Centro era stato fondato nel 1965 come laboratorio nazionale di calcolo dell'Università di Pisa con il sostegno determinante di Olivetti, che vi installò uno dei primi grandi calcolatori in Italia (un IBM 7090). Negli anni Settanta e Ottanta il CNUCE era diventato uno dei centri di ricerca informatica più avanzati d'Europa, con competenze consolidate in simulazione numerica, reti a commutazione di pacchetto e trasmissione dati. Il gruppo di Luciano Lenzini aveva partecipato fin dai primi anni Ottanta alle attività di RIPE (Réseaux IP Européens) e collaborava con il CERN sui protocolli sperimentali. Quando nel 1985 la *National Science Foundation* statunitense aprì NSFNET ai partner accademici internazionali, l'Italia attraverso il CNUCE era uno dei pochissimi soggetti europei già tecnicamente attrezzati per cogliere l'opportunità.

Stefano Trumpy, primo *Internet hostmaster* italiano, gestisce per anni l'assegnazione dei nomi di dominio nazionali, contribuendo nel 1987 alla nascita ufficiale del *country code* .it registrato presso lo IANA di Jon Postel. Negli anni successivi il CNUCE coordina l'estensione della rete alle università italiane attraverso il consorzio GARR (*Gruppo per l'Armonizzazione delle Reti della Ricerca*), istituito nel 1989 per fornire connettività a tutto il sistema universitario e di ricerca nazionale. Nel decennio successivo il GARR diventerà la rete telematica della ricerca italiana, con velocità progressivamente crescenti (dai 64 kbps iniziali ai 100 Gbps attuali della rete GARR-T) e una copertura capillare di università, istituti CNR, enti pubblici di ricerca e organismi sanitari.

L'apertura commerciale di Internet in Italia avviene tra il 1994 e il 1995 con i primi *provider* privati (Video On Line di Sergio Cariddi, MC-link, Agorà di Bernardino Gualtieri e Stefano Pampaloni), in un panorama in cui il CNUCE rimane riferimento tecnico fondamentale e contribuisce alla formazione di una generazione di tecnici e ricercatori che costruirà l'infrastruttura digitale italiana civile.

Bibliografia e Sitografia

Trumpy, S. (2010). Storia di Internet in Italia: Origine, sviluppo, scenario. *Mondo Digitale*, 9(2), 22–35.
Maistrello, S. (2007). *La parte abitata della rete*. Tecniche Nuove.
CNR. (2016). *30 anni di Internet in Italia*. Comunicato stampa CNR, 30 aprile 2016. https://www.cnr.it/it/comunicato-stampa/1780/30-anni-di-internet-in-italia

TIM BERNERS-LEE, WORLD WIDE WEB, CERN, SVIZZERA, 1989

18



Figura 83.
Tim Berners-Lee al CERN, © CERN / OggiScienza, URL: https://oggiscienza.it/wp-content/uploads/2019/03/world_wide_web.jpg

Nel marzo 1989 l'ingegnere informatico britannico Tim Berners-Lee, allora ricercatore al CERN di Ginevra, sottopone al supervisore Mike Sendall un documento intitolato *Information Management: A Proposal*, ricevendo in risposta la celebre annotazione manoscritta "*Vague but exciting*" (vago ma eccitante). La proposta descrive un sistema di gestione dell'informazione basato su ipertesto distribuito, pensato per risolvere il problema specifico della perdita di informazione tecnica al CERN, dove migliaia di scienziati di passaggio lasciavano documenti, manuali e schede macchina in formati e archivi non interoperabili. La soluzione proposta da Berners-Lee è radicale: invece di centralizzare i documenti, mantenerli distribuiti sui server di chi li produce, con un protocollo standard che permetta a chiunque di richiamarli da qualunque punto della rete attraverso un identificativo universale.
Tra il 1989 e il 1991 Berners-Lee, con la collaborazione del belga Robert Cailliau, sviluppa le tre tecnologie fondamentali che definiscono il Web. *HTML* (HyperText Markup Language) per strutturare i documenti come testi marcati semanticamente con tag (<title>, <a href>, <p>); *HTTP* (HyperText Transfer Protocol) per trasferirli tra server e client con un meccanismo di richiesta-risposta minimale; *URI/URL* (Uniform Resource Identifier/Locator) per identificare univocamente ogni risorsa in rete attraverso una stringa formata da protocollo, host e percorso. Berners-Lee scrive inoltre il primo *web server* (CERN HTTPd) e il primo *browser* (WorldWideWeb, poi rinominato Nexus) sul computer NeXT che gli era stato assegnato, sfruttando le librerie a oggetti del sistema operativo NeXTSTEP. Il 6 agosto 1991 pubblica il primo sito web della storia, info.cern.ch, contenente la descrizione del progetto stesso. La decisione cruciale è di rilasciare tutte le tecnologie del Web nel pubblico dominio, senza royalty e senza brevetti. Il 30 aprile 1993 il CERN, sotto le pressioni di Berners-Lee, formalizza la rinuncia alla proprietà intellettuale sul Web. Senza questa scelta, le tecnologie del Web non sarebbero diventate l'infrastruttura universale che conosciamo: sarebbero rimaste frammentate in protocolli concorrenti come quelli proposti da Microsoft, AOL, CompuServe o Apple, ognuno proprietario e a pagamento. Nel 1994 Berners-Lee fonda al MIT il *World Wide Web Consortium* (W3C), organizzazione di standardizzazione aperta che continua oggi a definire le specifiche del Web (HTML5, CSS, ARIA, WebRTC), garantendone l'evoluzione neutrale rispetto agli interessi di singoli vendor.
L'introduzione del browser *Mosaic* nel 1993, sviluppato da Marc Andreessen e Eric Bina al *National Center for Supercomputing Applications* dell'Università dell'Illinois, e l'evoluzione successiva in *Netscape Navigator* (1994), portano le immagini e l'interfaccia grafica nel dominio del Web, rendendolo accessibile a utenti non tecnici.

Bibliografia e Sitografia

Berners-Lee, T. (1989). *Information management: A proposal* [Internal proposal]. CERN.
Berners-Lee, T., & Fischetti, M. (1999). *Weaving the Web: The original design and ultimate destiny of the World Wide Web*. HarperSanFrancisco.
Gillies, J., & Cailliau, R. (2000). *How the Web was born: The story of the World Wide Web*. Oxford University Press.

19 EPIC GAMES, UNREAL ENGINE, USA, 1998

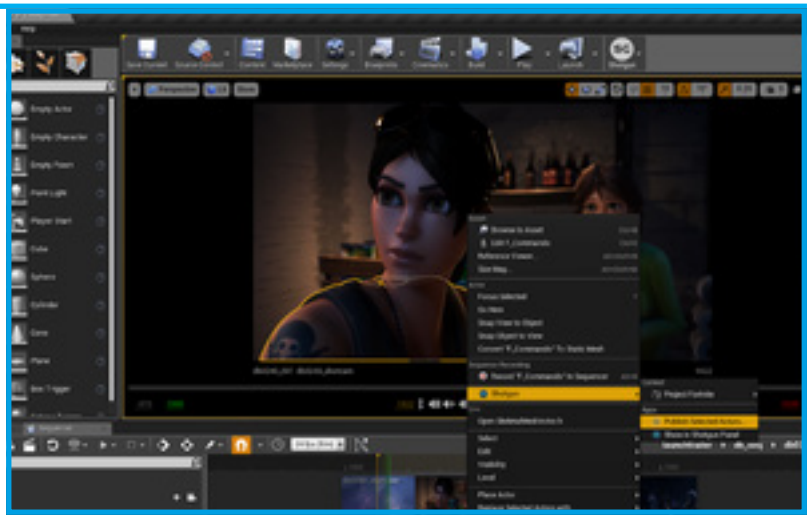


Figura 84.
Screenshot interfaccia Unreal Engine 4, © Epic Games / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine#/media/File:Unreal_Engine_4_screenshot.png

Nel maggio 1998 Epic MegaGames (poi rinominata Epic Games) rilascia il videogioco *Unreal*, sviluppato dal duo Tim Sweeney–Cliff Bleszinski e co-distribuito con Digital Extremes. Il gioco è un *first-person shooter* tecnologicamente all'avanguardia per l'epoca, ma il suo significato storico risiede nel motore grafico che lo alimenta: *Unreal Engine* 1. Il rendering in tempo reale di ambienti tridimensionali estesi, con illuminazione dinamica per fonte luminosa, ombre proiettate calcolate in tempo reale e *texture* a colori a 16 bit ad alta risoluzione, costituisce un salto qualitativo rispetto ai motori grafici precedenti come l'id Tech del *Quake* di id Software (1996). Il giocatore si muove in ambienti che restituiscono l'illusione di una propria fisica della luce, dove ogni corridoio e ogni spazio aperto è una scena tridimensionale coerente.
La decisione strategica di Tim Sweeney di rilasciare Unreal Engine in licenza a sviluppatori terzi rompe con la pratica prevalente dell'industria, che teneva proprietari i motori grafici. Sweeney, che aveva fondato Epic MegaGames a vent'anni nel 1991 nel garage di casa dei genitori a Potomac (Maryland), riconosce nel *middleware* grafico un modello di business più scalabile della pubblicazione di videogiochi singoli. Inaugura così un mercato secondario di tecnologia di rendering AAA in licenza che democratizza l'accesso a strumenti di produzione visiva di alto livello: studi con budget ridotti, università e ricercatori possono accedere agli stessi strumenti dei grandi sviluppatori. Negli anni successivi questo modello diventerà il paradigma dell'industria, condiviso dal concorrente Unity Technologies (Unity, 2005) con strategia analoga ma con focus sulla portabilità multipiattaforma.
L'evoluzione delle versioni successive racconta la storia stessa dell'accelerazione dell'hardware grafico. *Unreal Engine* 2 (2002) introduce *shader* programmabili e superfici riflettenti basate sulla teoria di Phong; *Unreal Engine* 3 (2006) porta *global illumination* approssimata, fisica rigida integrata e supporta l'ascesa delle GPU programmabili in pixel shader; *Unreal Engine* 4 (2014) introduce i *Blueprint*, un sistema di programmazione visuale che permette la definizione di comportamenti interattivi senza scrivere codice C++, e diventa il primo motore a offrire *Physically Based Rendering* (PBR) di qualità cinematografica in tempo reale, basato sulla teoria di shading microfaccettizzato sviluppata da Brent Burley alla Disney; *Unreal Engine* 5 (2022) introduce *Nanite* (geometria virtualizzata che gestisce scene con miliardi di poligoni senza compromettere le prestazioni) e *Lumen* (sistema di illuminazione globale completamente dinamica calcolata in tempo reale, alternativa al *ray tracing* dedicato).
L'adozione di Unreal Engine al di fuori dei videogiochi segue una traiettoria progressiva. Dalla metà degli anni Duemila, studi di architettura come Zaha Hadid Architects, BIG Bjarke Ingels Group e Foster + Partners cominciano a usare motori di gioco per produrre visualizzazioni interattive di progetti in fase di concorso.

Bibliografia e Sitografia

Sweeney, T. (1998, maggio). Unreal technology. *Game Developer Magazine*, 5(5), 32–40.
Epic Games. (s.d.). *Unreal Engine documentation*. https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, RHINO 1.0, USA, 1998

20

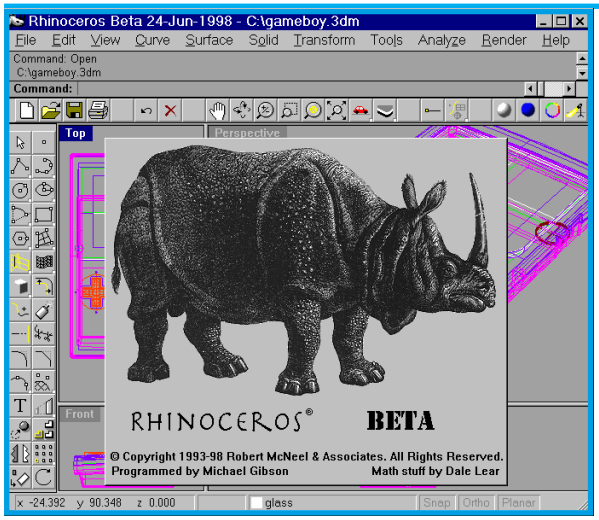


Figura 85.
Interfaccia Rhinoceros 3D, © Robert McNeel & Associates / McNeel Discourse, URL: https://global.discourse-cdn.com/mcneel/uploads/default/original/4X/e/f/a/efaa767bcd3a2cabd2e9651b07ebaf7db12b7309.gif

Rhinoceros 1.0 viene rilasciato nel 1998 da Robert McNeel & Associates, azienda di Seattle fondata nel 1980 da Robert McNeel come distributore e sviluppatore di estensioni per AutoCAD. Il software, sviluppato originariamente come *Sculptura* su commissione di un'azienda di marina, evolve in un progetto autonomo dopo l'osservazione di una lacuna nel mercato CAD: la mancanza di uno strumento di modellazione di superfici curve a costo accessibile. Rhino è basato sulla tecnologia NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), una rappresentazione matematica di curve e superfici sviluppata negli anni Cinquanta e Sessanta da Paul de Casteljau presso Citroën e Pierre Bézier presso Renault, e standardizzata nei *kernel* di modellazione geometrica industriale a partire dagli anni Ottanta.
A differenza della modellazione poligonale dei motori di gioco (Scheda 19), che approssima le superfici curve con mesh di triangoli, le NURBS rappresentano esattamente qualunque forma curvilinea attraverso equazioni matematiche parametriche, garantendo precisione assoluta a qualunque scala e conversione senza perdita di qualità tra formati industriali standard (IGES, STEP, Parasolid). La proprietà cardinale (la geometria come oggetto matematico esatto anziché come approssimazione discreta) rende Rhino lo strumento elettivo per i campi in cui la precisione dimensionale è non negoziabile: *industrial design* (Apple, Tesla, Dyson hanno usato Rhino in fase di concept), cantieristica navale, automotive, gioielleria e — in modo crescente dagli anni Duemila — l'architettura di forma libera che caratterizza la stagione *post-digitale*.
L'estensibilità è la caratteristica che determina il ruolo di Rhino nella genealogia del *computational design*. McNeel ha fin dall'inizio adottato una filosofia di apertura totale dell'API (Application Programming Interface) del programma, consentendo a sviluppatori terzi di costruire *plugin* in C++, .NET e Python e successivamente attraverso *Grasshopper* (Scheda 23).
L'evoluzione delle versioni di Rhino segue una traiettoria di apertura progressiva. *Rhino* 4 (2007) introduce il supporto a 64 bit; *Rhino* 5 (2012) include nativamente Grasshopper come ambiente di scripting visuale; *Rhino* 6 (2018) integra i motori di rendering basati su GPU (Cycles ed Enscape); *Rhino* 7 (2020) introduce *SubD* (modellazione di superfici di suddivisione, complementare alle NURBS) e *Rhino.Inside* (architettura che permette l'esecuzione di Rhino dentro altri software come Revit, AutoCAD, Unreal Engine, integrando il workflow NURBS con quelli BIM e di motore grafico).
Rhino 8 (2023) consolida l'integrazione con Python 3 e i sistemi di calcolo distribuito su cloud.
La filosofia di McNeel (sviluppo guidato dalla comunità degli utenti, prezzi accessibili, licenza permanente senza abbonamento) costituisce un modello quasi unico nel panorama del software professionale contemporaneo, dominato da modelli di abbonamento di Autodesk e Adobe.

Bibliografia e Sitografia

Piegl, L., & Tiller, W. (1997). *The NURBS book* (2nd ed.). Springer.
Tedeschi, A. (2014). *AAD_Algorithms-aided design: Parametric strategies using Grasshopper*. Le Penseur.
McNeel, R., & Associates. (s.d.). *Rhinoceros 3D official site*. https://www.rhino3d.com/

21 AUTODESK, REVIT, USA, 2000

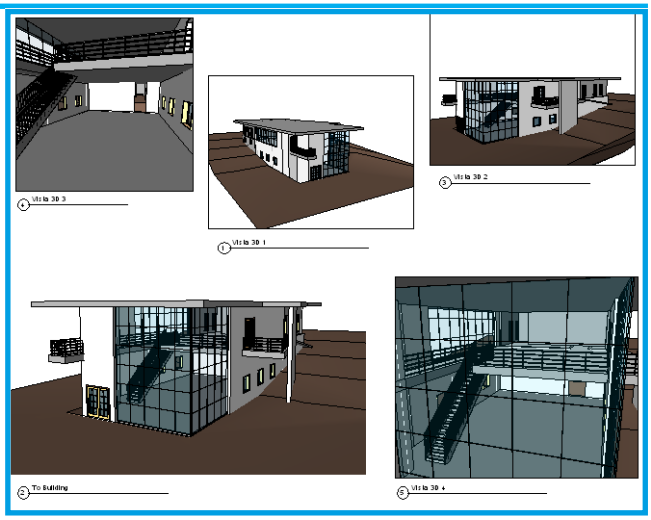


Figura 86.
Screenshot interfaccia Autodesk Revit, © Autodesk / Wikimedia Commons, URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Revit#/media/File:Progetto1.png

Revit nasce nel 1997 come progetto di *Charles River Software*, *startup* fondata a Newton, Massachusetts, dagli ingegneri Leonid Raiz e Irwin Jungreis, entrambi ex Parametric Technology Corporation (l'azienda che con Pro/ENGINEER aveva inaugurato la modellazione parametrica nel mondo dell'ingegneria meccanica). La visione fondante è radicale: trasferire all'architettura il paradigma del *modello unico parametrico*, sostituendo il CAD bidimensionale con un modello tridimensionale unitario da cui derivare automaticamente tutti gli elaborati grafici del progetto. Nel 2000 l'azienda viene rinominata *Revit Technology Corporation* e rilascia la versione 1.0 del software (acronimo di *Revise Instantly*); nell'aprile 2002 Autodesk acquisisce la società per 133 milioni di dollari e integra il prodotto nel proprio portafoglio, garantendone la diffusione globale.
Il principio fondante (modello unico come fonte di verità del progetto) è una rottura epistemologica rispetto al CAD tradizionale, dove ogni elaborato grafico era un documento autonomo da aggiornare manualmente in modo coerente con gli altri, fonte sistematica di errori nelle revisioni progettuali. In Revit, qualunque modifica apportata al modello si propaga istantaneamente a tutti gli elaborati derivati: se si modifica la quota di un solaio nel modello tridimensionale, tutte le piante, sezioni, prospetti, abachi e dettagli costruttivi si aggiornano automaticamente senza intervento manuale. Il sistema introduce inoltre il concetto di *bidirectional associativity* tra elaborati, che diventerà uno dei tratti definitori del paradigma BIM (*Building Information Modeling*) successivamente formalizzato dalla National Institute of Building Sciences nel National BIM Standard (2007).
Il paradigma BIM che Revit introduce non si limita alla geometria tridimensionale: ogni elemento del modello è un oggetto intelligente con attributi semantici (materiale, costo unitario, prestazione termica, fornitore, fase di costruzione, vita utile prevista). Una parete in Revit non è una superficie tridimensionale ma un oggetto che conosce il proprio spessore, la propria stratigrafia, il proprio coefficiente di trasmittanza termica, il proprio costo al metro quadro, la propria prestazione acustica. Questo arricchimento semantico del modello geometrico trasforma il software di progettazione in un *database* dell'edificio: uno strumento che accompagna non solo la fase di progetto ma l'intero ciclo di vita del manufatto, dalla concezione alla demolizione, attraverso costruzione, gestione, manutenzione e dismissione.
Le *famiglie parametriche* (sistemi di componenti definiti da regole geometriche e attributi modificabili dall'utente) e il *worksharing* per la collaborazione multi-utente simultanea su file centralizzato completano un ecosistema che ridefinisce strutturalmente l'organizzazione del lavoro.

Bibliografia e Sitografia

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley.
Autodesk. (s.d.). *Autodesk Revit*. https://www.autodesk.com/products/revit

UNITY TECHNOLOGIES, UNITY, DANIMARCA/USA, 2005

22



Figura 87.
Logo Unity Technologies 2021, © Unity Technologies / Wikimedia Commons, URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Unity_Technologies#/media/File:Unity_2021.svg

Unity nasce nel giugno 2005 a Copenaghen, fondata da David Helgason, Joachim Ante e Nicholas Francis con un obiettivo dichiarato: democratizzare lo sviluppo di contenuti tridimensionali interattivi, rendendolo accessibile agli sviluppatori indipendenti e ai piccoli team che non disponevano delle risorse tecniche ed economiche necessarie per lavorare con Unreal Engine o con altri motori di livello AAA. Il progetto era nato due anni prima come motore proprietario per il videogioco *GooBall* (2005), un piccolo titolo macOS pensato dai tre fondatori; la decisione di trasformare il motore in prodotto autonomo, anziché concentrarsi sui giochi, deriva dalla constatazione che il *middleware* poteva avere un mercato molto più grande del prodotto finale.
Le scelte strategiche fondanti sono due. La prima è l'adozione del C# come linguaggio principale di scripting (più accessibile del C++ richiesto da Unreal e basato su una sintassi simile a Java già familiare a molti sviluppatori), con un sottosistema di esecuzione basato su Mono come implementazione open source di .NET. La seconda è l'adozione di un modello di licenza *freemium*: una versione *Personal* gratuita per sviluppatori e piccoli studi sotto determinate soglie di fatturato annuo, e versioni *Plus/Pro/Enterprise* a pagamento per imprese strutturate. Nel 2014 Unity Technologies stabilisce il proprio quartier generale a San Francisco mantenendo il centro di sviluppo a Copenaghen e Helsinki, e nel settembre 2020 viene quotata in borsa al NYSE con una valutazione iniziale di oltre 13 miliardi di dollari.
L'architettura tecnica di Unity è progettata attorno al principio *cross-platform*: da un'unica *codebase* è possibile esportare eseguibili per Windows, macOS, Linux, iOS, Android, console di gioco (PlayStation, Xbox, Nintendo Switch), browser WebGL e dispositivi VR/AR (Oculus Quest, HTC Vive, Microsoft HoloLens, Apple Vision Pro). La piattaforma è gestita da un *Component-Based System* che separa i comportamenti degli oggetti in moduli riutilizzabili, e include strumenti integrati per il rendering, la fisica (PhysX), l'illuminazione globale (Enlighten e poi Adaptive Probe Volumes), l'animazione e l'audio. Dal 2018 Unity ha introdotto il *Scriptable Render Pipeline*, che permette agli sviluppatori di definire pipeline di rendering personalizzate (Universal Render Pipeline per dispositivi mobili, High Definition Render Pipeline per produzioni cinematografiche).
La differenza di posizionamento tra Unity e Unreal Engine illumina la struttura del mercato dei motori grafici contemporanei. Unreal punta alla qualità visiva massima (geometria virtualizzata Nanite con miliardi di poligoni, illuminazione globale Lumen completamente dinamica) ed è lo strumento elettivo per produzioni ad alto budget e per la *architectural visualization* fotorealistica. Unity privilegia versatilità e accessibilità: è lo strumento della produzione *indie* (titoli iconici come *Hollow Knight*, *Cuphead*, *Among Us*, *Cities: Skylines*, *Ori and the Blind Forest* sono stati sviluppati in Unity), della produzione mobile (oltre il 70% dei giochi mobili è realizzato con Unity, secondo dati 2022) e degli ambienti immersivi *standalone*.

Bibliografia e Sitografia

Goldstone, W. (2009). *Unity game development essentials*. Packt Publishing.
Unity Technologies. (s.d.). *Unity real-time development platform*. https://unity.com/

23 ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, GRASSHOPPER 3D, USA, 2007

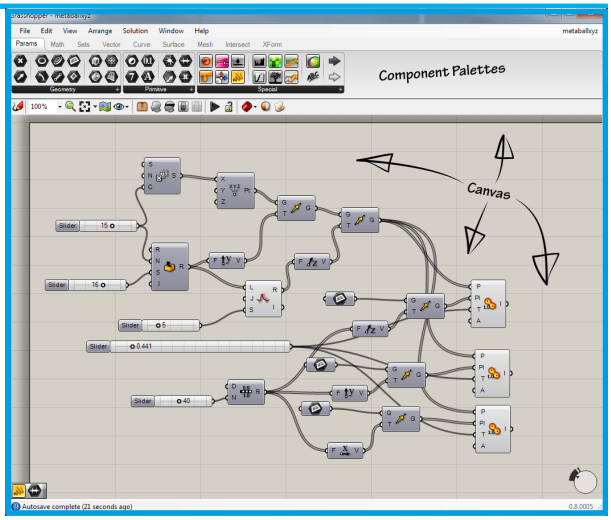


Figura 88.
Screenshot interfaccia principale Grasshopper 3D, © Robert McNeel & Associates / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Grasshopper_3D#/media/File:Grasshopper_MainWindow.png

Grasshopper nasce nel settembre 2007 come *plugin* gratuito per Rhinoceros 3D, sviluppato da David Rutten, ingegnere software olandese di Robert McNeel & Associates, inizialmente sotto il nome *Explicit History*: un nome che rivela il principio fondante del programma. In Grasshopper la storia delle operazioni costruttive non è implicita nel modello (come in Rhino, dove si può modificare un oggetto ma non vedere facilmente come è stato costruito) ma è resa esplicita e visibile in forma di *grafo di nodi* connessi da fili. Ogni componente del grafo rappresenta un'operazione (un valore parametrico, una funzione matematica, una trasformazione geometrica, una condizione logica, una primitiva di costruzione), e i fili che li collegano definiscono il flusso dei dati: l'output di un componente diventa l'input del successivo. Il risultato geometrico finale (la forma tridimensionale che appare nella viewport di Rhinoceros) è il prodotto dell'intera catena computazionale e si aggiorna dinamicamente ogni volta che un parametro di input viene modificato.
Il paradigma alla base di Grasshopper è la *visual programming language* o *node-based programming*, già adottata da Max/MSP nella sintesi musicale (1985), da LabVIEW nell'ingegneria di laboratorio (1986) e da Houdini di SideFX nel VFX cinematografico (1996). Prima di Grasshopper, il design parametrico in architettura richiedeva competenze di programmazione testuale (RhinoScript, MEL di Maya, Python) accessibili solo ad architetti con formazione informatica supplementare. Grasshopper rende la costruzione di algoritmi generativi accessibile a chi pensa visivamente, a chi preferisce il diagramma all'istruzione testuale. Questo non significa che il software sia semplice: definire un algoritmo parametrico complesso richiede comprensione dei tipi di dato, della struttura ad albero dei dati (*Data Tree*), della logica iterativa e della gestione degli errori. Significa piuttosto che la competenza richiesta è di tipo logico-algoritmico anziché sintattico-linguistico: si può costruire un algoritmo sofisticato senza conoscere la sintassi di alcun linguaggio di programmazione testuale.
L'ecosistema dei *plugin* di Grasshopper costituisce uno dei più ricchi del software di progettazione contemporaneo. *Karamba3D* (Clemens Preisinger, 2010) introduce l'analisi strutturale a elementi finiti integrata nel grafo parametrico; *Ladybug Tools* (Mostapha Sadeghipour Roudsari, 2012) collega la simulazione climatica e ambientale con dati EPW reali; *Kangaroo* (Daniel Piker, 2010) permette la simulazione fisica in tempo reale di sistemi a vincoli (catenarie, membrane, sistemi tensili); *Galapagos*, integrato nativamente, implementa algoritmi genetici per l'ottimizzazione multi-obiettivo; *Wallacei* estende l'ottimizzazione genetica con metriche statistiche e di Pareto. La componente *GHPython*, presente fin dalle prime versioni, integra un interprete Python 2.7/IronPython direttamente nell'ambiente, permettendo di eseguire script che chiamano la *Rhino.Geometry* API — la libreria .NET che espone la modellazione NURBS di Rhino a qualunque linguaggio compatibile.

Bibliografia e Sitografia

Tedeschi, A. (2014). *AAD_Algorithms-aided design: Parametric strategies using Grasshopper*. Le Penseur.
Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design*. Routledge.
Payne, A. O., & Issa, R. (2009). *The Grasshopper primer*. Mode Lab. http://grasshopperprimer.com/

OCULUS VR, OCULUS RIFT, USA, 2010

24



Figura 89.
Visore Oculus Rift CV1, © Meta Platforms (Oculus VR) / Wikimedia Commons, URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift#/media/File:Oculus-Rift-CV1-Headset-Front.jpg

A partire dal 2010, Palmer Luckey, allora diciassettenne appassionato di tecnologie VR, inizia a costruire nel garage di casa a Long Beach, California, un prototipo di visore VR che chiamerà *Oculus Rift*. Luckey aveva accumulato la più grande collezione privata di visori VR degli anni Novanta (i fallimenti commerciali di Virtuality, VFX1, JEDI Visor, Sega VR, Nintendo Virtual Boy) e aveva identificato con precisione le ragioni tecniche di ogni insuccesso: latenza di aggiornamento dell'immagine superiore ai 20 millisecondi (soglia oltre la quale il cervello percepisce il *lag* e insorge il *motion sickness*); risoluzione dei display insufficiente per coprire il campo visivo senza *pixelation* evidente; peso eccessivo per uso prolungato; costi di produzione proibitivi. La convergenza tecnologica che rende possibile il primo prototipo Rift — denominato successivamente *DK1* (*Development Kit 1*) — è la stessa che ha trasformato lo *smartphone*: accelerometri MEMS miniaturizzati, *display* OLED ad alta densità di pixel, GPU mobili potenti, applicate a un *form factor* specifico per l'uso immersivo.
La campagna *Kickstarter* lanciata il 1° agosto 2012 — con l'*endorsement* esplicito del *game designer* John Carmack di id Software, creatore di *Doom* e *Quake*, come elemento di legittimazione tecnica — raccoglie 2,4 milioni di dollari in trenta giorni a fronte di un obiettivo iniziale di 250.000 dollari. È il segnale di un livello di interesse della comunità *tech* e *gaming* senza precedenti per un dispositivo VR. Il *DK1* viene spedito ai sostenitori nel marzo 2013: visore con *display* singolo da 7 pollici a 1280×800 pixel (effettivi 640×800 per occhio), *tracking* a 3 gradi di libertà tramite IMU, *latency* sotto i 20 ms. Il *DK2* (luglio 2014) introduce *display* OLED Samsung a 960×1080 per occhio, *tracking posizionale* a 6 gradi di libertà mediante telecamera esterna a infrarossi, e *low persistence* (illuminazione del *display* solo per pochi millisecondi per ridurre il *motion blur*). Sono questi due *Development Kit* che fondano la VR consumer moderna.
L'acquisizione di Oculus VR da parte di Facebook nel marzo 2014 per 2 miliardi di dollari (cifra straordinaria per un'azienda con un solo prodotto ancora in fase prototipale) ridefinisce la narrativa pubblica della realtà virtuale, da nicchia tecnologica a piattaforma computazionale strategica. Mark Zuckerberg, nel comunicato di acquisizione, dichiara esplicitamente di vedere la VR come "*the next major computing platform*" dopo lo *smartphone*: enunciato che anticipa di sette anni la riorganizzazione di Facebook in *Meta Platforms* nell'ottobre 2021 e l'investimento massiccio nel metaverso.
La generazione successiva *Oculus Quest* (2019) e *Quest 2* (2020) completa la transizione al modello *standalone*, visore autonomo con processore Qualcomm Snapdragon integrato e senza necessità di PC collegato, abbassando ulteriormente le barriere d'accesso. Quest 2, venduto a 299 dollari, raggiunge oltre 20 milioni di unità vendute entro il 2023, e rende la VR consumer un fenomeno di massa per la prima volta. Il rebranding in *Meta Quest* nel 2022, *Quest 3* (2023) con tecnologia *passthrough* a colori che abilita la *mixed reality*, e *Quest 3S* (2024) confermano la traiettoria di Meta come *first mover* nel mercato consumer.

Bibliografia e Sitografia

Anthony, S. (2014, 26 marzo). The rise of Oculus: From Kickstarter to Facebook. *Ars Technica*. https://arstechnica.com/
Meta Quest. (s.d.). *Meta Quest official site*. https://www.meta.com/quest/

25

GOOGLE, BERT, USA, 2018



Figura 90.
Illustrazione Google BERT, © Google / Wide S.r.l., URL: https://www.widesrl.com/wp-content/uploads/2019/10/google-bert.jpg

Nell'ottobre 2018 Google AI pubblica il *paper* di Devlin, Chang, Lee e Toutanova *BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding* su arXiv (1810.04805) e rilascia simultaneamente il modello e il codice come *open source* su GitHub. La pubblicazione segna un punto di svolta nell'elaborazione del linguaggio naturale (*Natural Language Processing*, NLP) e diventerà uno dei *paper* più citati nella storia recente dell'informatica, con oltre 100.000 citazioni accademiche entro il 2024. BERT (acronimo di *Bidirectional Encoder Representations from Transformers*) si fonda sull'architettura *Transformer* introdotta da Vaswani e colleghi nel 2017 con il *paper Attention is all you need* — modello che aveva sostituito le reti neurali ricorrenti (RNN, LSTM) con il meccanismo di auto-attenzione, capace di elaborare sequenze di testo in parallelo anziché sequenzialmente — ma vi introduce un'innovazione specifica: la bidirezionalità del pre-addestramento.
L'innovazione tecnica di BERT consiste nel meccanismo di addestramento *Masked Language Model* (MLM). I modelli precedenti basati su Transformer (incluso il GPT-1 di OpenAI, pubblicato all'inizio dello stesso 2018) elaboravano il testo in una sola direzione, da sinistra a destra, perdendo il contesto che segue una parola. BERT invece, durante il pre-addestramento, maschera casualmente il 15% dei *token* del testo e addestra il modello a predirli considerando contemporaneamente il contesto precedente e quello successivo. Affianca a questo un secondo obiettivo, la *Next Sentence Prediction* (NSP), in cui il modello apprende a riconoscere se due frasi sono consecutive nel testo originale. Il risultato sono rappresentazioni semantiche profonde in cui il significato di una parola è determinato dall'intera frase che la circonda. Il modello viene rilasciato in due versioni: *BERT-base* (110 milioni di parametri) e *BERT-large* (340 milioni di parametri), addestrate per circa quattro giorni su 64 TPU di Google Cloud su un corpus di 3,3 miliardi di parole (Wikipedia inglese e BookCorpus).
Sul piano delle prestazioni, BERT al momento del rilascio stabilisce nuovi stati dell'arte su undici *benchmark* di NLP, tra cui *GLUE* (General Language Understanding Evaluation), *SQuAD* (Stanford Question Answering Dataset) e *MultiNLI* (Multi-Genre Natural Language Inference). L'integrazione di BERT nel motore di ricerca Google nel 2019 trasforma concretamente l'esperienza di milioni di utenti: query formulate in linguaggio naturale complesso, con preposizioni e contesti impliciti che prima venivano sistematicamente fraintese, vengono comprese con precisione significativamente migliorata. Google annuncia che BERT impatta sul 10% delle query in lingua inglese e successivamente su query in oltre 70 lingue, costituendo uno degli aggiornamenti più significativi all'algoritmo di ricerca dalla sua nascita.

Bibliografia e Sitografia

Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In *Proceedings of NAACL-HLT 2019* (pp. 4171–4186). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805
Google Research. (s.d.). *BERT: Bidirectional Encoder Representations from Transformers* [Repository GitHub]. https://github.com/google-research/bert

EPIC GAMES, TWINMOTION, USA, 2019

26



Figura 91.
Screenshot di Twinmotion, © Epic Games / Unreal Engine, URL: https://cms-assets.unrealengine.com/AEOpzOpKNRbioUBp6s1Yjz/resize=width:1200/output=format:webp/cm8d8tcrn68t807ok6ln6qa25?width=1200

Twinmotion nasce nel 2014 dalla società francese KA-RA (acronimo di *Kommunikation–Architektur*), studio di Nantes fondato da Edouard Lehmann e Cédric Borel con un obiettivo specifico: portare la qualità visiva del *rendering real-time* di Unreal Engine in un'interfaccia accessibile ad architetti e *designer* senza formazione in sviluppo di videogiochi. La prima versione del software, basata su un *fork* personalizzato dei motori Unreal Engine 3 e 4, viene commercializzata come strumento di visualizzazione architettonica, e si differenzia dalle suite di rendering *offline* (V-Ray, Maxwell, Lumion) per il principio fondamentale: il calcolo dell'immagine in tempo reale anziché in *batch*.
L'architettura del software è progettata attorno alla figura dell'utente non programmatore. Mentre Unreal Engine richiede competenze di sviluppo che includono editing di *Blueprint*, gestione della *project structure*, conoscenza dei sistemi di illuminazione globale e di *Level Streaming*, Twinmotion adotta un'interfaccia *drag-and-drop* in cui materiali, vegetazione, arredo urbano, personaggi animati e veicoli vengono trascinati direttamente sul modello tridimensionale dalle librerie integrate. Il sistema di illuminazione automatica è basato sulla geolocalizzazione del progetto (latitudine e longitudine) e sull'ora del giorno: la posizione del Sole viene calcolata in tempo reale rispetto all'orientamento dell'edificio, restituendo ombre fisicamente corrette e variazioni stagionali. La libreria contiene oltre 700 oggetti tridimensionali (alberi nativi delle diverse fasce climatiche, persone con animazioni *idle*, veicoli, mobili, materiali PBR) e supporta il *time-of-day* dinamico con cicli giorno-notte e stagionalità.
Nel maggio 2019 Epic Games acquisisce KA-RA per una cifra non comunicata e integra Twinmotion nel proprio ecosistema, offrendola gratuitamente per uso educativo e in licenza commerciale a basso costo (oggi venduta in *bundle* con Unreal Engine attraverso il modello 5% *royalty* tipico di Epic Games). L'evoluzione successiva (Twinmotion 2020 con materiali PBR migliorati, Twinmotion 2022 con *Path Tracer* per *rendering* fotorealistico in *ray tracing*, Twinmotion 2023 con *Datasmith Direct Link* per la sincronizzazione bidirezionale con Revit/ArchiCAD/Rhino/SketchUp/Vectorworks) accompagna il consolidamento della categoria *Real-Time Architectural Visualization* come settore distinto del software professionale.
L'integrazione diretta con i software BIM e CAD attraverso il *plugin Datasmith LiveSync*, sviluppato da Epic Games come *bridge* universale tra software di progettazione, elimina il passaggio manuale di esportazione/importazione dei modelli: la geometria si aggiorna automaticamente in Twinmotion ogni volta che il modello viene modificato nel software di progettazione di origine. Questa caratteristica, in combinazione con il *real-time feedback* — qualunque modifica al modello si riflette istantaneamente nella visualizzazione, senza tempi di calcolo — trasforma strutturalmente il processo di iterazione progettuale: nelle tecnologie di *rendering offline* precedenti, ogni modifica richiedeva un nuovo ciclo di calcolo della durata di minuti od ore, rendendo costosa la sperimentazione di varianti.

Bibliografia e Sitografia

Hess, R. (2020). *Real-time architectural visualization with Twinmotion*. CRC Press.
Epic Games. (s.d.). *Twinmotion documentation*. Epic Developer Community. https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/twinmotion/
Epic Games. (s.d.). *Twinmotion*. https://www.twinmotion.com

27

OPENAI, DALL·E E CLIP, USA, 2021



Figura 92.
Illustrazione DALL-E di OpenAI, © OpenAI / Medium, URL: https://miro.medium.com/v2/1*E-APcBv5ndN73E7YP-gjebA.png

Il 5 gennaio 2021 OpenAI pubblica simultaneamente due modelli che ridefiniscono la frontiera della generazione visiva artificiale: *DALL·E* e *CLIP*. La pubblicazione contestuale non è casuale: i due sistemi sono progettati per funzionare in coppia. Il nome DALL·E (che combina il pittore surrealista Salvador Dalí e il robot WALL·E del film Pixar) è programmatico: l'obiettivo è una macchina capace della creatività visiva surreale di Dalí, governata dall'intelligenza di una macchina pensante. *DALL·E* è un modello *Transformer* da 12 miliardi di parametri, addestrato su circa 250 milioni di coppie immagine-testo estratte da Internet, capace di generare immagini da descrizioni testuali arbitrarie attraverso una formulazione *autoregressiva*: l'immagine viene rappresentata come sequenza di *token* visivi (estratti da un VQ-VAE — *Vector Quantized Variational Autoencoder*) e generata un *token* alla volta, in modo analogo a come un modello linguistico genera testo parola per parola.
CLIP (*Contrastive Language-Image Pre-training*) è un sistema separato, addestrato dagli autori Alec Radford, Jong Wook Kim e colleghi del team OpenAI Research su 400 milioni di coppie immagine-testo, che impara a costruire uno spazio vettoriale condiviso dove concetti linguistici e visivi corrispondenti sono rappresentati in prossimità. Il vettore del testo "*un cane sull'erba*" e il vettore dell'immagine corrispondente si trovano vicini nello spazio a 512 dimensioni, mentre vettori non correlati sono più distanti. L'addestramento contrastivo è la chiave: data una *batch* di N coppie immagine-testo, il modello deve riconoscere quali immagini corrispondono a quali testi tra le N×N possibili associazioni, ottimizzando una funzione di perdita che massimizza la similarità delle coppie corrette e minimizza quella delle coppie casuali.
Prima di CLIP, i sistemi di visione artificiale erano addestrati su *dataset* di immagini con etichette discrete predefinite (*ImageNet* con le sue mille categorie, COCO con i suoi ottanta oggetti), categorizzazione chiusa che impediva la generalizzazione a categorie non viste durante l'addestramento. CLIP rompe questa chiusura: addestrandosi su coppie testo-immagine estratte dal Web (con la variabilità e la ricchezza semantica del linguaggio naturale come supervisione), apprende rappresentazioni aperte capaci di generalizzare a qualunque concetto esprimibile in linguaggio naturale. Questa capacità di *zero-shot learning* (classificare o cercare immagini usando descrizioni testuali mai viste durante l'addestramento) costituisce una discontinuità qualitativa rispetto ai sistemi precedenti.
CLIP diventa il motore semantico di tutti i sistemi di generazione visiva successivi: *DALL·E 2* (aprile 2022) lo integra direttamente nella pipeline di generazione attraverso un meccanismo di *unCLIP* (decodifica delle rappresentazioni CLIP in immagini); *Stable Diffusion* (agosto 2022) lo utilizza come *text encoder* per condizionare il processo di *diffusion*; *Midjourney* (luglio 2022) ne adotta una versione modificata.

Bibliografia e Sitografia

Ramesh, A., Pavlov, M., Goh, G., Gray, S., Voss, C., Radford, A., Chen, M., & Sutskever, I. (2021). *Zero-shot text-to-image generation*. arXiv:2102.12092.
Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., Ramesh, A., Goh, G., Agarwal, S., Sastry, G., Askell, A., Mishkin, P., OpenAI. (2021, 5 gennaio). *DALL·E: Creating images from text* [Blog post]. https://openai.com/index/dall-e/

LUMA LAB, LUMA AI, USA, 2021

28



Figura 93.
Logo Luma AI, © Luma AI / Google Images, URL: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?-q=tbn:ANd9GcTDzFf-Vx0IQHu3nHriFCpEj3hn-vHMxwQTDeNg&s

Luma AI nasce nel 2021 a Palo Alto, fondata da Amit Jain (CEO, ex Apple Vision Pro team) e Alex Yu (CTO, ex ricercatore di Berkeley sul NeRF) con l'obiettivo di sviluppare un'applicazione consumer per la cattura tridimensionale fotorealistica attraverso l'intelligenza artificiale. Il primo prodotto, un'app mobile per iOS rilasciata nel 2022, permette di creare scansioni tridimensionali fotorealistiche di oggetti e ambienti semplicemente girando attorno al soggetto con uno *smartphone* e acquisendo una sequenza di fotografie: il processamento avviene in *cloud* attraverso algoritmi NeRF, producendo in pochi minuti una rappresentazione tridimensionale navigabile ad alta fedeltà.
Il NeRF (*Neural Radiance Fields*), tecnologia introdotta da Ben Mildenhall, Pratul Srinivasan, Matthew Tancik, Jonathan Barron, Ravi Ramamoorthi e Ren Ng nel paper fondativo del 2020 vincitore del *Best Paper Honorable Mention* alla European Conference on Computer Vision (ECCV), rappresenta un salto qualitativo rispetto alla fotogrammetria tradizionale basata su *mesh*. Anziché ricostruire una geometria poligonale esplicita dalle fotografie, il NeRF addestra una piccola rete neurale (un MLP — *Multi-Layer Perceptron* con poche decine di migliaia di parametri) che apprende implicitamente la *funzione di radianza* della scena, ovvero una funzione continua che mappa ogni punto dello spazio tridimensionale e ogni direzione di vista in un valore di colore RGB e di densità volumetrica. La rete, una volta addestrata su un set di fotografie con pose note (ottenute attraverso *Structure-from-Motion* con strumenti come COLMAP), può generare viste della scena da qualunque punto di osservazione arbitrario attraverso il processo di *volume rendering*. Il risultato è una qualità visiva notevolmente superiore alla fotogrammetria poligonale, specialmente per superfici riflettenti, traslucide e con effetti di illuminazione complessa che richiederebbero altrimenti modellazione manuale di materiali.
L'evoluzione tecnologica successiva al NeRF fondativo include *Instant*-NGP di NVIDIA (gennaio 2022, che riduce il tempo di addestramento da ore a secondi attraverso *hash grid* multi-risoluzione) e il *3D Gaussian Splatting* di Bernhard Kerbl e colleghi dell'INRIA (luglio 2023, SIGGRAPH), che sostituisce la rappresentazione implicita con un *cloud* di *gaussiane* 3D *anisotrope* esplicitamente ottimizzate, raggiungendo *rendering* in tempo reale a oltre 100 *frame per second* con qualità fotografica. Luma AI integra progressivamente queste tecnologie nella propria *pipeline*: il *Genie* (2023) è un modello *text-to-3D*, *Luma Fields Dashboard* (2024) supporta il *3D Gaussian Splatting* per ricostruzione volumetrica navigabile in tempo reale.
Nel giugno 2024, con il lancio di *Dream Machine*, Luma AI compie un secondo salto: dalla cattura del reale alla generazione del virtuale. *Dream Machine* è un sistema di generazione video da *prompt* testuali o immagini di riferimento, capace di produrre clip di cinque secondi a 720p e 1080p con qualità visiva elevata, fisica convincente e movimenti di camera cinematografici fluidi.

Bibliografia e Sitografia

Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., Barron, J. T., Ramamoorthi, R., & Ng, R. (2020). NeRF: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. In *Proceedings of ECCV 2020* (pp. 405–421). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58452-8_24
Luma AI. (s.d.). *Luma AI*. https://lumalabs.ai

29 MIDJOURNEY, MIDJOURNEY, USA, 2022



Figura 94.
Logo Midjourney, © Midjourney, Inc. / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Midjourney#/media/File:Midjourney_logo.svg

Midjourney viene pubblicato il 12 luglio 2022 attraverso un canale Discord accessibile tramite comandi testuali a un *bot* (*/imagine*): una modalità di distribuzione insolita per uno strumento creativo professionale, che si rivela tuttavia un vantaggio strategico decisivo. La società, *Midjourney, Inc.*, è un piccolo *lab* di ricerca indipendente con sede a San Francisco, fondato e diretto da David Holz — già cofondatore di Leap Motion, l'azienda pioniera nel *gesture control* venduta a Ultraleap nel 2019 — con un team iniziale di una decina di persone. Il modello di business è anomalo: nessun investimento esterno in fase iniziale (l'azienda è autofinanziata attraverso gli abbonamenti utenti), nessuna API aperta, nessuna app *desktop* o web nei primi due anni, distribuzione esclusiva attraverso la piattaforma di messaggistica Discord, abbonamenti mensili a partire da 10 dollari.
Questa scelta produce un effetto collaterale di straordinaria importanza per lo sviluppo del sistema: su Discord, ogni generazione di immagini è pubblica per *default* (visibile a tutti i membri del server, oltre 20 milioni a fine 2023) e accompagnata dal *prompt* che l'ha prodotta. Chiunque può vedere in tempo reale quali *prompt* altri utenti stanno usando, quali risultati producono, come vengono affinati nelle iterazioni successive. Nasce così, involontariamente, una delle più grandi comunità di apprendimento collettivo sull'ingegneria del *prompt* (*prompt engineering*) mai create: milioni di utenti che imparano insieme come descrivere le immagini che vogliono generare, condividendo strategie, scoprendo modificatori stilistici efficaci ("*in the style of Studio Ghibli*", "*cinematic lighting*", "*35mm film*", "*--ar 16:9*", "*--stylize 750*") e costruendo un vocabolario visivo condiviso che ha riconfigurato il linguaggio professionale della comunicazione visiva.
La qualità estetica di Midjourney si distingue fin dalle prime versioni da quella dei sistemi concorrenti per una caratteristica specifica: la preferenza per la composizione pittorica, l'illuminazione drammatica, l'atmosfera evocativa rispetto alla riproduzione fedele di oggetti specifici. Mentre DALL·E tende all'accuratezza descrittiva (generare esattamente ciò che il *prompt* descrive) e Stable Diffusion alla flessibilità tecnica attraverso il controllo dei *checkpoint*, dei pesi del modello e dei *seed* di generazione, Midjourney tende all'impatto visivo e alla qualità estetica percepita come superiore dai professionisti della comunicazione visiva. Le versioni V4 (novembre 2022), V5 (marzo 2023) e V6 (dicembre 2023) raggiungono progressivamente un livello di fotorealismo che rende molte immagini indistinguibili dalla fotografia professionale reale; la V6.1 (luglio 2024) introduce miglioramenti significativi nella generazione di volti umani, mani e testi all'interno delle immagini.
Nel febbraio 2024 viene aperto un *web client* alternativo a Discord (alpha.midjourney.com); nel settembre 2024 viene rilasciato *Midjourney* V7 *Alpha* con la funzionalità *Personalization* che adatta il modello al gusto specifico dell'utente attraverso un test di preferenza iniziale. Nel 2024 Midjourney supera 250 milioni di immagini generate al mese e oltre 16 milioni di abbonati attivi.

Bibliografia e Sitografia

Vincent, J. (2022, 2 agosto). 'An engine for the imagination': An interview with Midjourney founder David Holz. *The Verge*.
Lee, P. (2024). The Midjourney aesthetic: How AI is reshaping visual culture. *Wired*, *32*(4), 48–55.
Midjourney. (s.d.). *Midjourney*. https://www.midjourney.com

OPENAI, CHATGPT (CHATBOT AI), USA, 2022

30



Figura 95.
Logo ChatGPT di OpenAI, © OpenAI / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/ChatGPT-Logo.svg

Il 30 novembre 2022 OpenAI rilascia *ChatGPT* come prodotto gratuito ad accesso aperto: un'interfaccia conversazionale testuale che consente a chiunque di interagire con un modello linguistico di grandi dimensioni attraverso una semplice finestra di dialogo, senza credenziali tecniche, senza conoscenza delle API, senza formazione informatica di alcun genere. Il sistema, denominato inizialmente come "*low-key research preview*" da Sam Altman su Twitter, era stato progettato dal team OpenAI come dimostrazione tecnica di un sottosistema in sviluppo, non come prodotto commerciale strutturato. La risposta del pubblico travolge le aspettative dei progettisti.
Il sistema è basato su *GPT-3.5*, versione ottimizzata e allineata di GPT-3 attraverso la tecnica RLHF (*Reinforcement Learning from Human Feedback*). La pipeline di addestramento, descritta nel paper *InstructGPT* di Ouyang e colleghi (2022), si articola in tre fasi successive: pre-addestramento *self-supervised* su un corpus testuale massivo di centinaia di miliardi di parole; *Supervised Fine-Tuning* (SFT) su un dataset di dimostrazioni umane di risposte corrette a prompt vari; addestramento di un *reward model* su comparazioni umane di coppie di risposte (data una stessa domanda, gli annotatori indicano quale delle due risposte preferiscono); ottimizzazione finale del modello principale attraverso *Proximal Policy Optimization* per massimizzare il *reward*. Il risultato è una trasformazione radicale: un modello statisticamente potente ma stilisticamente incoerente come GPT-3 (che produceva testi brillanti ma anche contenuti tossici, allucinazioni non segnalate, deviazioni semantiche) diventa un assistente conversazionale affidabile, utile e ragionevolmente sicuro nella stragrande maggioranza delle interazioni ordinarie.
La crescita di ChatGPT è senza precedenti nella storia delle applicazioni *consumer*: un milione di utenti in cinque giorni dal lancio (Sam Altman, tweet del 5 dicembre 2022), dieci milioni in due settimane, cento milioni in due mesi (gennaio 2023, dato Similarweb). È la diffusione più rapida mai registrata per una piattaforma digitale, superando Instagram (2,5 anni per 100 milioni), TikTok (9 mesi) e Threads di Meta (5 giorni per 100 milioni, ma con il vantaggio della cross-promozione su Instagram). A fine 2024 ChatGPT supera 250 milioni di utenti attivi settimanali, secondo dati OpenAI presentati al *DevDay* 2024.
L'evoluzione tecnica successiva è continua. Marzo 2023: GPT-4, multimodale (testo + immagine) e con capacità di ragionamento significativamente migliorate, accessibile a *ChatGPT Plus*. Maggio 2024: *GPT-4o* (*omni*) con capacità nativamente multimodali (audio, video, immagine, testo) e *latency* di risposta in tempo reale paragonabile all'umano. Settembre 2024: *o1* (*OpenAI o1*) con *chain-of-thought reasoning* esteso, addestrato a "pensare" più a lungo prima di rispondere su problemi complessi di matematica, codice e scienza. Dicembre 2024: *o3* (*OpenAI o3*) con capacità di ragionamento agentico autonomo. La serie *o* segna un cambio di paradigma rispetto ai modelli *generativi* puri: la qualità dell'output non dipende più solo dalla scala dell'addestramento ma dal *compute* speso in fase di inferenza, principio che apre una nuova dimensione di scalabilità per i modelli linguistici.

Bibliografia e Sitografia

OpenAI. (2022, 30 novembre). *Introducing ChatGPT* [Blog post]. https://openai.com/index/chatgpt/
OpenAI. (s.d.). *ChatGPT*. https://chatgpt.com

31 STABILITY AI / COMPVIS / RUNWAY, STABLE DIFFUSION, GERMANIA / UK / USA, 2022



Figura 96.
Immagine generata con Stable Diffusion, © Stability AI / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Stable_Diffusion#/media/File:Astronaut_Riding_a_Horse_(SD3.5).webp

Stable Diffusion viene rilasciato il 22 agosto 2022 come progetto multi-istituzionale: il modello è sviluppato dal gruppo CompVis (*Computer Vision and Learning Group*) della *Ludwig-Maximilians-Universität* di Monaco sotto la direzione del professor Björn Ommer, in collaborazione con Stability AI — *startup* britannica fondata da Emad Mostaque nel 2020 e con sede a Londra che fornisce il supporto computazionale — e con Runway ML, *startup* statunitense con sede a New York che contribuisce al rilascio iniziale e ne gestisce la versione *v1.5*.
La scelta strategica che distingue Stable Diffusion dai sistemi concorrenti è radicale e deliberata: codice sorgente, pesi del modello pre-addestrato e *dataset* di addestramento (LAION-5B, cinque miliardi di coppie immagine-testo curate da LAION e.V., associazione no-profit tedesca) vengono rilasciati pubblicamente su GitHub e Hugging Face con licenza permissiva *CreativeML Open RAIL-M*, eseguibili localmente su qualunque computer dotato di una GPU consumer con almeno 6 GB di VRAM.
L'architettura tecnica di Stable Diffusion, denominata *Latent Diffusion Model* (LDM) nel *paper* fondativo, costituisce un'innovazione che abbassa drasticamente il costo computazionale della generazione di immagini ad alta risoluzione. I modelli di diffusione precedenti (*GLIDE* di OpenAI, *Imagen* di Google) operavano direttamente nello spazio dei pixel: per generare un'immagine a 512×512 pixel, il processo di rimozione progressiva del rumore (*denoising*) doveva essere applicato a tensori di dimensioni proporzionali alla risoluzione, richiedendo GPU di fascia alta inaccessibili al grande pubblico. Stable Diffusion sposta il processo di diffusione in uno spazio *latente* compresso, una rappresentazione a dimensionalità ridotta dell'immagine prodotta da un *encoder* VAE (*Variational Autoencoder*) che riduce il tensore originale 512×512×3 a 64×64×4, abbattendo il costo computazionale di un fattore 64 rispetto ai modelli *pixel-space*. Il *text encoder* CLIP (Scheda 27) traduce il *prompt* testuale in *embedding* che condizionano il processo di *denoising*, e un *decoder* VAE finale ricostruisce l'immagine ad alta risoluzione dallo spazio latente.
L'evoluzione delle versioni successive accompagna l'evoluzione tecnica del campo. *Stable Diffusion* 2.0 (novembre 2022) introduce risoluzione 768×768 e nuovo *text encoder* OpenCLIP. *Stable Diffusion* XL (luglio 2023) raggiunge risoluzioni native 1024×1024 con architettura a doppio *text encoder*. *Stable Diffusion* 3 (febbraio 2024) introduce la *Multimodal Diffusion Transformer* (MMDiT), architettura che migliora significativamente la generazione di testo nelle immagini e l'aderenza ai *prompt* complessi.
La disponibilità *open source* produce inoltre un ecosistema di estensioni di particolare rilevanza per l'architettura: *ControlNet* di Lvmin Zhang (febbraio 2023) permette di condizionare la generazione su mappe di profondità, *edge*, *pose*, *normal map*, abilitando un controllo geometrico fine dell'immagine generata; *DreamBooth* di Nataniel Ruiz (Google Research, agosto 2022) e successivamente *LoRA* (*Low-Rank Adaptation* di Hu et al., 2021) consentono di addestrare il modello su pochi esempi di un soggetto o stile specifico, producendo modelli personalizzati con costi computazionali ridotti di ordini di grandezza rispetto al riaddestramento completo.

Bibliografia e Sitografia

Stability AI. (s.d.). *Stable Diffusion*. https://stability.ai/stable-diffusion

ETHAN HU & TEAM, MESHY AI, USA, 2023

32



Figura 97.
Logo Meshy AI, © Meshy AI / Meshy AI, URL: https://cdn.meshy.ai/landing-assets/blog/introducing-meshy-2/cover.webp

Meshy AI viene fondata nell'aprile 2023 a San Francisco da Ethan Hu (CEO, dottorato di ricerca in *Computer Graphics* a Tsinghua University con pubblicazioni a SIGGRAPH 2022, la conferenza internazionale di riferimento per la grafica computazionale) e da un team con competenze convergenti in computer grafica, apprendimento automatico e sviluppo di motori 3D. La piattaforma si posiziona nell'ecosistema emergente dei sistemi di generazione tridimensionale basati su intelligenza artificiale come soluzione orientata alla produzione professionale: non un sistema sperimentale di ricerca ma una *suite* di strumenti con tempi di generazione misurati in minuti, controllo del *poligon count* tra 1.000 e 300.000 triangoli, *texture* PBR (*Physically Based Rendering*) con mappe di *displacement*, *roughness*, *metalness* e *ambient occlusion*, *rigging* automatico per personaggi bipedi e quadrupedi, libreria di oltre 500 animazioni *game-ready* e *retopology* automatica per ottimizzare i modelli per uso in tempo reale. Le tre modalità operative principali di Meshy definiscono altrettante trasformazioni del processo di produzione di *asset* tridimensionali. *Text-to-3D* (generazione di modelli dettagliati da *prompt* testuali) è la modalità più radicalmente nuova: per la prima volta, la descrizione linguistica di un oggetto tridimensionale è sufficiente per produrne una geometria navigabile e *texturizzata*. Questa capacità era stata teorizzata come obiettivo della ricerca in computer grafica fin dagli anni Novanta (il sogno di un sistema che capisce il linguaggio naturale e produce geometrie) e diventa operativamente accessibile solo con la convergenza di tre tecnologie: modelli linguistici di grandi dimensioni per la comprensione del *prompt*, modelli generativi di immagini come *guida* per la qualità visiva, tecniche di ricostruzione 3D neurali (NeRF, Gaussian Splatting, *Score Distillation Sampling*) per la generazione della geometria. *Image-to-3D* (ricostruzione di geometria tridimensionale da una singola immagine bidimensionale) è un problema geometricamente indeterminato che le tecniche tradizionali non riuscivano a risolvere con sufficiente qualità: i modelli neurali di Meshy apprendono *prior* statistiche sulla forma degli oggetti che rendono la ricostruzione possibile anche da una singola vista, sfruttando il principio dell'*Image-to-3D* introdotto in letteratura accademica con *DreamFusion* di Poole et al. (2022) e successivi *Magic3D*, *ProlificDreamer*, *DreamGaussian*, *TripoSR*. *Text-to-Texture* permette infine di applicare *texture* a modelli geometrici esistenti partendo da descrizioni testuali, riformulando il *texturing* manuale come problema di generazione condizionata.
L'evoluzione successiva di Meshy AI segue una traiettoria di miglioramento progressivo: *Meshy 2* (luglio 2023) introduce supporto nativo per stili artistici (cartoon, low-poly, anime), *Meshy 3* (gennaio 2024) raggiunge livelli di dettaglio geometrico significativamente migliorati con tempi di generazione sotto i due minuti, *Meshy 4* (luglio 2024) introduce *AI Texturing* avanzato e generazione di personaggi animati con *rigging* automatico ottimizzato. La concorrenza diretta nel settore *text-to-3D* commerciale include *Luma AI Genie*, *Tripo AI*, *Spline AI*, *Common Sense Machines*, e i modelli accademici *open source* derivati da TRELLIS di Microsoft Research (2025).

Bibliografia e Sitografia

Poole, B., Jain, A., Barron, J. T., & Mildenhall, B. (2022). *DreamFusion: Text-to-3D using 2D diffusion*. arXiv:2209.14988.
Meshy AI. (s.d.). *Meshy AI*. https://www.meshy.ai

33 GOOGLE DEEPMIND, GEMINI 1.5, UK/USA, 2024



Figura 98.
Logo Google Gemini, © Google DeepMind / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8a/Google_Gemini_logo.svg

Gemini 1.5 viene presentato da Google DeepMind il 15 febbraio 2024, con accesso pubblico progressivo attraverso *Google AI Studio* e *Vertex AI* nei mesi successivi, come modello multimodale di nuova generazione capace di processare simultaneamente testo, immagini, audio, video e codice in modalità profondamente integrata. Il *paper* tecnico (arXiv:2403.05530) è firmato dal *team Gemini* di Google DeepMind: oltre seicento autori in totale, riflesso della scala industriale dello sforzo di sviluppo di un modello di frontiera. Il rilascio segna la riorganizzazione strategica di Google in seguito alla diffusione di ChatGPT (Scheda 30): nell'aprile 2023 Google aveva fuso la propria divisione *Google Brain* con *DeepMind* (acquisita nel 2014) creando *Google DeepMind* come unica divisione di ricerca AI, e Gemini è il primo prodotto di questa nuova organizzazione.
La caratteristica tecnica più significativa di Gemini 1.5 è la finestra di contesto estesa. La versione *Pro* supporta nativamente fino a un milione di *token* di contesto (equivalenti a circa 700.000 parole di testo, 11 ore di audio, un'ora di video, 30.000 righe di codice o un'intera libreria software di medie dimensioni). La finestra estesa abilita pattern di utilizzo qualitativamente nuovi: il modello può analizzare un intero libro, un *codebase* completo, un film o una serie di documenti correlati come un singolo *input*, mantenendo coerenza referenziale tra le parti distanti del contesto.
L'architettura tecnica sottostante è basata su *Mixture-of-Experts* (MoE), schema che era stato esplorato accademicamente per oltre un decennio (*Switch Transformer* di Google 2021, *GLaM* di Google 2022) e che diventa qui il principio organizzatore principale del modello. In un MoE, il modello è composto da molte sottoreti specializzate (*expert*) e per ogni *token* di input un *gating network* attiva selettivamente solo un sottoinsieme degli *expert* (tipicamente 1 o 2 su decine), in funzione del contenuto. Il risultato è un modello che, pur avendo un numero totale di parametri molto elevato, attiva per ogni inferenza solo una frazione di tale numero, ottimizzando l'efficienza computazionale senza ridurre la qualità dell'output rispetto a modelli densi di dimensioni equivalenti.
Il posizionamento di Gemini nel panorama competitivo dell'IA generativa rispecchia la struttura di un duopolio in formazione tra Google DeepMind e OpenAI (con Microsoft come *partner* esclusivo). Google, che aveva contribuito in modo determinante alle fondamenta tecnologiche dei modelli linguistici (l'architettura *Transformer* di Vaswani et al. 2017, BERT di Devlin et al. 2018, la tecnica RLHF), si era inizialmente trovata in posizione di inseguitore rispetto alla diffusione *consumer* di ChatGPT. Gemini 1.5 rappresenta il tentativo di recupero attraverso una differenziazione competitiva basata sulla finestra di contesto e sulla *vera multimodalità*: non la giustapposizione di modalità separate (testo + immagine gestite da sistemi distinti) ma un'architettura in cui le relazioni tra modalità diverse sono apprese congiuntamente durante il pre-addestramento. Le evoluzioni successive *Gemini* 2.0 (dicembre 2024) e *Gemini* 2.5 (marzo 2025) consolidano questa traiettoria, introducendo capacità agentiche autonome e *thinking models* analoghi alla serie o di OpenAI.

Bibliografia e Sitografia

Gemini Team Google. (2024). *Gemini* 1.5: *Unlocking multimodal understanding across millions of tokens of context*. arXiv:2403.05530.
Google DeepMind. (s.d.). *Gemini*. https://deepmind.google/technologies/gemini/

ANTHROPIC, CLAUDE 3.5, USA, 2025

34

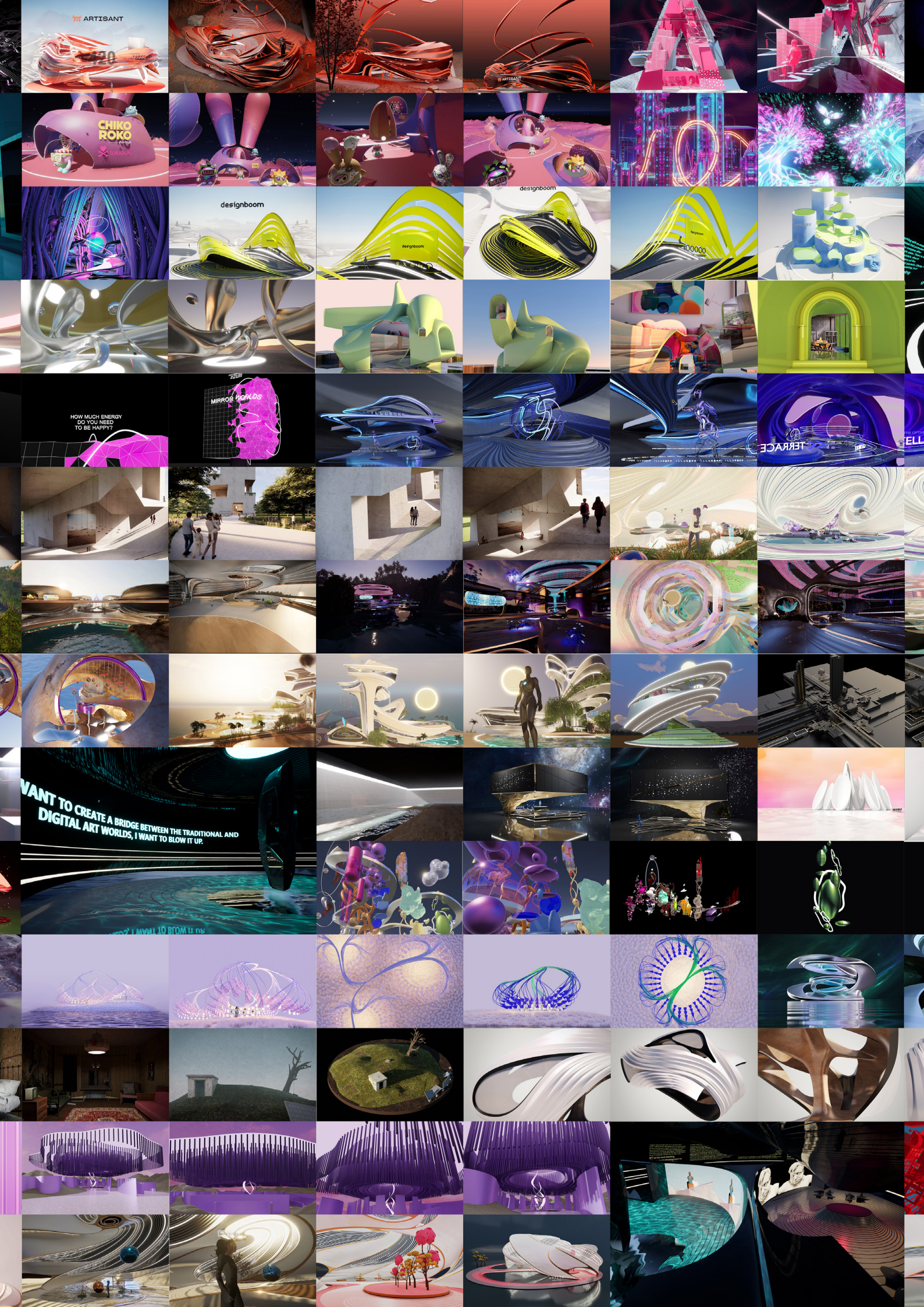


Figura 99.
Logo Claude AI di Anthropic, © Anthropic / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Claude_(language_model)#/media/File:Claude_AI_logo.svg

Anthropic viene fondata nel febbraio 2021 a San Francisco da Dario Amodei (CEO, ex Vice President of Research di OpenAI) e Daniela Amodei (Presidente, ex Vice President di OpenAI), insieme ad altri cinque ricercatori senior provenienti dal medesimo istituto: Tom Brown (primo autore del paper GPT-3), Jared Kaplan, Sam McCandlish, Jack Clark e Chris Olah. L'origine della società è una divergenza strategica con OpenAI sull'approccio alla sicurezza dell'IA nel percorso verso sistemi sempre più capaci: i fondatori ritenevano che la crescita commerciale rapida adottata da OpenAI dopo il *deal* Microsoft del 2019 fosse incompatibile con un approccio prudenziale alla sicurezza dei sistemi avanzati. Anthropic si configura come *Public Benefit Corporation* (Delaware), forma giuridica statunitense che obbliga la società a perseguire un fine di beneficio pubblico oltre al profitto, e dichiara come missione "*the development of large-scale AI systems that are safer, steerable, and more reliable*".
La metodologia distintiva di Anthropic è la *Constitutional AI* (CAI), pubblicata nel paper di Bai e colleghi (Anthropic, 2022). La tecnica introduce un meccanismo di auto-critica: il modello viene addestrato a valutare i propri *output* rispetto a un insieme di principi espliciti, una "costituzione" composta da circa quaranta principi derivati dalla *Universal Declaration of Human Rights*, dai *terms of service* di Apple e Google, e da considerazioni etiche specifiche per modelli linguistici. Durante l'addestramento, il modello genera una risposta iniziale, la critica rispetto a un principio costituzionale ("*valuta se questa risposta è dannosa o discriminatoria*"), produce una risposta rivista e viene addestrato sulla differenza. Il vantaggio rispetto al RLHF tradizionale (utilizzato da OpenAI per ChatGPT) è la riduzione dell'esigenza di valutazione umana di ogni singolo *output*: la "costituzione" sostituisce in larga misura il *labeling* umano del *reward model*, riducendo i costi di allineamento e l'esposizione degli annotatori a contenuti problematici.
La famiglia Claude evolve progressivamente questa architettura di allineamento: *Claude* 1 (marzo 2023, *closed beta*), *Claude* 2 (luglio 2023, accesso pubblico), *Claude* 2.1 (novembre 2023, *context window* a 200.000 *token*), *Claude* 3 (marzo 2024, tripletta *Haiku / Sonnet / Opus* corrispondenti a tre punti diversi sulla curva costo/capacità), *Claude* 3.5 *Sonnet* (giugno 2024), *Claude* 3.5 *Haiku* (novembre 2024), *Claude* 3.7 *Sonnet* (febbraio 2025) con *extended thinking*, *Claude* 4 *Opus / Sonnet* (maggio 2025), *Claude* 4.5 *Sonnet* (ottobre 2025), e la serie più recente al momento della stesura della scheda (Claude Opus 4.7, novembre 2025).
La caratteristica che distingue più marcatamente Claude dai modelli concorrenti non è esclusivamente quantitativa (dimensione del modello, numero di parametri) ma qualitativa: la coerenza contestuale nelle interazioni estese, la capacità di seguire istruzioni complesse e *multi-step* senza derive semantiche, la tendenza a dichiarare esplicitamente incertezza piuttosto che produrre *output* confidenti ma errati (le cosiddette *allucinazioni* dei modelli linguistici).

Bibliografia e Sitografia

Anthropic. (2024, giugno). *Claude* 3.5 *Sonnet model card* [Documento tecnico]. https://www.anthropic.com/news/claude-3-5-sonnet
Anthropic. (s.d.). *Claude*. https://www.anthropic.com/claude


ARTISANT
CHIKO ROKO
designboom
HOW MUCH ENERGY DO YOU NEED TO BE HAPPY?
MIRROR WORLDS
TERRACE
VANT TO CREATE A BRIDGE BETWEEN THE TRADITIONAL AND DIGITAL ART WORLDS, I WANT TO BLOW IT UP.

A1 Riferimenti Concettuali e Visivi
(dalla scheda 35 alla scheda 72)

35 Le corbusier & Iannis Xenakis, Padiglione Philips, Bruxelles, Belgio, 1958
36 Frank Lloyd Wright, Solomon R. Guggenheim Museum, New York, 1959
37 Biennale di Venezia, La Rivoluzione della Pop Art, Venezia, 1964
38 Stanley Kubrick, 2001: Odissea nello Spazio, Usa/Uk, 1968
39 Biennale di Venezia, Fondazione della sezione Architettura, Venezia, 1975
40 Charles Jencks, The Language of Post-Modern Architecture, Uk, 1977
41 Renzo Piano & Richard Rogers,Centre Pompidou, Parigi, 1977
42 Paolo Portoghesi, prima Biennale di Architettura "La Presenza del Passato", Venezia, 1980
43 Ridley Scott, Blade Runner, Usa, 1982
44 William Gibson, Burning Chrome, Usa, 1982
45 Steven Lisberger, Tron, Usa, 1982
46 William Gibson, Neuromancer, Usa, 1984
47 Toyo Ito, Torre dei venti, Yokohama, Giappone, 1986
48 Donna Haraway, A Cyborg Manifesto, Usa, 1987
49 Neal Stephenson, snow crash, Usa, 1992
50 William J. Mitchell, City of Bits, Usa, 1995
51 Robert Longo, Johnny Mnemonic, Usa/Canada, 1995
52 Nicholas Negroponte, Being Digital, Mit, Usa, 1995
53 Hans Hollein, Biennale di Venezia "Sensori del Futuro", Venezia, 1996
54 Derrick de Kerckhove, Global Village Square, Canada, 1996
55 Frank Gehry, Guggenheim Museum Bilbao, Bilbao 1997
56 Lana e Lilly Wachowski, The Matrix, Usa, 1999
57 Massimiliano Fuksas, Biennale di Architettura
"Less Aesthetics, More Ethics", Venezia, 2000
58 Diller Scofidio + Renfro, Blur Building, Yverdon-les-bains, Svizzera, 2002
59 Richard Burdett, Biennale di Venezia "cities, architecture and Society", Venezia, 2006
60 James Cameron, avatar, usa, 2009
61 Expo 2010 Shanghai, "Better City, Better Life", Shanghai, Cina, 2010
62 Ernest Cline, Ready Player One, Usa, 2011
63 Refik Anadol Studio, Wdch Dreams, Los Angeles, Usa, 2018
64 Snøhetta, Under, Lindesnes, Norvegia, 2019
65 Refik Anadol Studio, Machine Hallucination / Unsupervised, Usa, 2019
66 Ian Cheng, Life After Bob, Usa, 2020
67 Kevin Roose, Futureproof, Usa, 2021
68 Hashim Sarkis, Biennale di Venezia "how will we live together?", Venezia, 2021
69 Matthew Ball, The Metaverse: and how it will revolutionize Everything, Usa, 2022
70 Populous, Sphere at The Venetian Resort, Nevada, 2023
71 Lesley Lokko, Biennale di Venezia "The laboratory of the future", Venezia, 2023
72 Carlo Ratti, Biennale di Venezia "intelligens. Natural. Artificial. Collective", Venezia, 2025

35 LE CORBUSIER & IANNIS XENAKIS, PADIGLIONE PHILIPS, BRUXELLES, BELGIO, 1958



Figura 100.
Foto d'archivio del Padiglione Philips all'Expo 1958 Bruxelles, © FLC/ADAGP / Fondation Le Corbusier, URL: https://www.fondationlecorbusier.fr/wp-content/uploads/2022/04/pavillon-philips-flc-adagp-3.jpg

Il Padiglione Philips per l'*Esposizione Universale di Bruxelles* del 1958 è uno degli edifici più radicali del Novecento, e uno dei pochi casi nella storia dell'architettura moderna in cui forma, struttura, matematica e musica convergono in una soluzione unitaria. La commissione, conferita da Louis Kalff per conto della Philips Corporation, chiede a Le Corbusier non un edificio espositivo convenzionale ma un "*Poema elettronico*", un'esperienza multisensoriale totale che mostri lo stato dell'arte dell'elettronica a un pubblico internazionale. Le Corbusier, già impegnato nei cantieri di Ronchamp e dell'Unité d'Habitation di Berlino, delega gran parte della progettazione esecutiva al collaboratore greco-francese Iannis Xenakis, allora trentaseienne, che opera nello studio di rue de Sèvres a Parigi.
Xenakis sta contemporaneamente sviluppando la propria teoria della *musica stocastica* basata su distribuzioni probabilistiche, applicando alla composizione musicale lo strumentario matematico delle distribuzioni gaussiane, dei processi di Markov e della teoria dei giochi. Applica al problema architettonico il medesimo strumentario: le superfici del padiglione sono *paraboloidi iperbolici*, superfici a doppia curvatura non sviluppabili che possono essere generate da rette in movimento nello spazio (*superfici rigate*), e che Xenakis aveva già usato come metafora visiva nella composizione orchestrale *Metastaseis* (1953-54), dove i *glissandi* degli archi descrivevano esattamente le stesse superfici rigate. La struttura è realizzata con pannelli prefabbricati di calcestruzzo precompresso sottile (5 cm di spessore) sospesi su una rete di cavi d'acciaio in tensione: un sistema costruttivo che traduce il calcolo matematico in forma fisica attraverso la precisione ingegneristica dello studio belga *Strebelle-Duyster*.
L'interno del padiglione ospitava il *Poème électronique* di Edgard Varèse, otto minuti di musica elettronica composta appositamente per l'edificio (registrata su tre nastri magnetici sincronizzati) accompagnati da una proiezione di immagini fotografiche di Le Corbusier sulle superfici curve interne (475 fotografie in sequenza, raggruppate in temi: la nascita dell'umanità, la materia, lo spirito, l'armonia) e da un sistema di illuminazione dinamica programmata. Il sistema audio impiegava 425 altoparlanti distribuiti lungo le superfici del padiglione, controllati da un sistema di *routing* elettronico (denominato *son routier*) progettato dal compositore e ingegnere Henri Pousseur, che poteva indirizzare il suono verso zone specifiche dell'interno, creando quella che oggi chiameremmo *spazializzazione del suono*: il suono non proveniva da un punto fisso ma si muoveva nello spazio, avvolgeva il visitatore, si spostava lungo le pareti curve secondo una partitura precisa.
L'eredità del Padiglione Philips opera su due piani complementari. Sul piano formale e computazionale, l'edificio è il primo costruito in cui la forma architettonica risulta direttamente da un calcolo matematico esplicito senza mediazione intuitiva o tradizionale, anticipando di mezzo secolo le pratiche del *parametric design* contemporaneo. Sul piano dell'esperienza dello spazio, il Padiglione Philips è il primo ambiente architettonico progettato esplicitamente come esperienza immersiva totale: la forma spaziale non è un contenitore neutro per l'esperienza, ma è parte costitutiva dell'esperienza stessa.

Bibliografia e Sitografia

Xenakis, I. (1971). *Musique. Architecture* (2nd ed.). Casterman.
Fondation Le Corbusier. (s.d.). *Pavillon Philips*. https://www.fondationlecorbusier.fr/

FRANK LLOYD WRIGHT, SOLOMON R. GUGGENHEIM MUSEUM, NEW YORK, 1959



Figura 101.
Esterno del Solomon R. Guggenheim Museum di New York, © Solomon R. Guggenheim Foundation / Guggenheim Museum, URL: https://www.guggenheim.org/wp-content/uploads/2016/04/architecture-srgm-exterior-flavin-16-9-ratio-web.jpg

Il Solomon R. Guggenheim Museum di New York è il risultato di un processo progettuale straordinariamente lungo. La commissione risale al giugno 1943, quando il finanziere Solomon R. Guggenheim e la sua curatrice Hilla Rebay si rivolgono a Frank Lloyd Wright (allora settantaseienne) con l'ambizione esplicita di un museo "*che non sia un palazzo né un mausoleo ma uno spirito*", dedicato alla *Non-Objective Art* — l'astrazione spirituale di Kandinsky, Bauer, Mondrian — che Hilla Rebay collezionava per Guggenheim dal 1929. I sedici anni che separano la commissione dall'inaugurazione (21 ottobre 1959, sei mesi dopo la morte di Wright avvenuta il 9 aprile dello stesso anno) sono segnati da sette versioni progettuali, battaglie normative con la città di New York, due cambi di direzione del museo (la sostituzione di Hilla Rebay con James Johnson Sweeney nel 1952), opposizioni di artisti che protestavano per l'intrusività dell'architettura sulle opere (la celebre lettera di protesta firmata da Robert Motherwell, Willem de Kooning e altri ventuno artisti nel 1956). Wright riesce a vedere il cantiere completato solo nelle ultime settimane di vita.
La forma a *spirale invertita*, che Wright chiama "*inverted ziggurat*" in riferimento alla struttura templare mesopotamica rovesciata, si sviluppa per sei livelli attorno a un atrio centrale cilindrico di circa 29 metri di diametro e altezza, chiuso da un lucernario ottagonale a cupola in vetro che porta luce zenitale naturale fino al pavimento. La struttura portante è in calcestruzzo armato a vista, eretta dall'impresa George N. Cohen Construction Co.: la realizzazione richiede casseforme su misura per ogni sezione della superficie curva, un'impresa costruttiva che nel 1959, senza strumenti di progettazione digitale, è realizzata interamente attraverso disegni manuali di straordinaria precisione tecnica eseguiti dallo studio Wright a Taliesin. Il colore originale della facciata era un giallo crema ("*Cherokee Red*", una delle sfumature predilette da Wright) che è stato modificato nei restauri successivi al beige attuale, modifica per la quale la *National Trust for Historic Preservation* esprime ancora oggi riserve.
Il concetto spaziale fondante del Guggenheim è la *continuità del percorso*. Il visitatore sale in ascensore al piano più alto e discende lungo il *Grand Ramp* — una rampa continua di circa 400 metri a pendenza del 3% — in un'esperienza espositiva senza interruzioni, senza porte, senza soglie tra sale. Questo principio, che Wright derivava dalla propria filosofia dell'*architettura organica* (lo spazio deve fluire come nella natura senza discontinuità artificiali), è una rottura radicale con la tipologia museale tradizionale dell'*enfilade* di sale ortogonali in cui ogni stanza è un'unità chiusa separata dalla successiva. Al Guggenheim la parete su cui sono appese le opere è inclinata verso l'esterno (angolo di circa 3°) per seguire la pendenza della rampa e ricevere la luce zenitale con lo stesso angolo delle pareti di un *atelier* di pittore: un dettaglio che rivela come Wright pensasse al rapporto tra opera, luce e spettatore con la stessa attenzione che un regista riserva al rapporto tra scena, luce e spettatore.

Bibliografia e Sitografia

Levine, N. (1996). *The architecture of Frank Lloyd Wright*. Princeton University Press.
Solomon R. Guggenheim Museum. (s.d.). *The architecture of the Solomon R. Guggenheim Museum*. https://www.guggenheim.org/teaching-materials/the-architecture-of-the-solomon-r-guggenheim-museum

37 BIENNALE DI VENEZIA, LA RIVOLUZIONE DELLA POP ART, VENEZIA, 1964

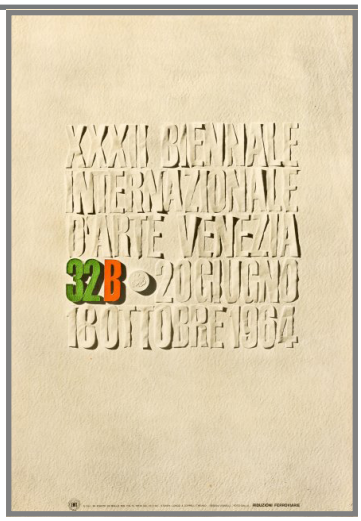


Figura 102.
Manifesto XXXII Biennale Internazionale d'Arte Venezia 1964, progetto grafico di Massimo Vignelli, © La Biennale di Venezia / ASAC - La Biennale di Venezia, URL: https://asac-dati.labiennale.org/it/fondi/manifesti/getimg.php?c=160379&k=image

La 32ª *Biennale Internazionale d'Arte* di Venezia, inaugurata il 20 giugno 1964 sotto la presidenza di Mario Marcazzan e con segretario generale Gian Alberto dell'Acqua, rappresenta un evento di frattura nella storia dell'arte del Novecento: per la prima volta il *Gran Premio per la Pittura* viene assegnato a un artista statunitense, Robert Rauschenberg, sancendo lo spostamento definitivo del baricentro dell'arte mondiale da Parigi a New York. La cerimonia avviene in un'atmosfera di polemiche intense: artisti e critici europei protestano per quella che percepiscono come un'invasione commerciale dell'arte americana, sostenuta dal sistema delle gallerie newyorkesi (Leo Castelli in primo luogo, gallerista di Rauschenberg) e dai capitali del mercato dell'arte anglosassone. Il padiglione americano, allestito al di fuori dei Giardini in tre sale del consolato americano sul Canal Grande, suscita controversie supplementari: alcuni critici accusano la giuria di aver violato il regolamento estendendo a edifici extra-Giardini la giurisdizione del padiglione nazionale, ricorso però respinto dalla commissione.
Il padiglione americano, curato da Alan Solomon (allora direttore del *Jewish Museum* di New York), presentava Rauschenberg come maestro della "nuova pittura" insieme a Jasper Johns, Frank Stella, Morris Louis, Kenneth Noland, John Chamberlain, Claes Oldenburg e Jim Dine: un panorama dell'avanguardia newyorkese che era simultaneamente un atto di politica culturale nella piena Guerra Fredda. Il Dipartimento di Stato americano sosteneva attivamente la diffusione dell'arte americana in Europa come forma di *soft power* culturale, in opposizione al realismo socialista dell'Europa orientale, attraverso la *United States Information Agency* (USIA) e iniziative coordinate con la CIA's *Congress for Cultural Freedom*, come hanno documentato gli studi di Frances Stonor Saunders (*Who Paid the Piper?*, 1999) e Serge Guilbaut (*How New York Stole the Idea of Modern Art*, 1983). La premiazione di Rauschenberg è dunque uno dei momenti emblematici di questa strategia culturale.
La *Pop Art* che la Biennale del 1964 consacra a livello internazionale è un movimento che trasforma radicalmente il rapporto tra arte alta e cultura di massa, tra produzione artistica e sistema della comunicazione commerciale. Roy Lichtenstein porta sulla tela la *fumettistica* con i suoi retini *Ben-Day* (i puntini tipografici della stampa offset) e i dialoghi semplificati; Andy Warhol replica le lattine di zuppa *Campbell's* e i volti di *Marilyn Monroe* con la logica seriale della produzione industriale, attraverso la tecnica della serigrafia che permette riproduzioni multiple identiche; Claes Oldenburg scala a dimensioni monumentali oggetti di uso quotidiano (un panino, una racchetta da ping-pong, una pinza per il bucato); Robert Rauschenberg incorpora nella pittura frammenti di fotografia di quotidiano, tela da imballaggio, oggetti trovati nelle strade newyorkesi, dando vita ai *Combine Paintings* che mescolano pittura e collage tridimensionale. Il gesto comune è il *prelievo* di immagini dalla cultura visuale di massa e la loro reintroduzione nel contesto dell'arte: operazione che Jean Baudrillard teorizzerà nel volume *La société de consommation* (1970) come la *vertigine del simulacro*, perdita progressiva di distinzione tra originale e riproduzione, tra reale e rappresentazione.

Bibliografia e Sitografia

Madoff, S. H. (Ed.). (1997). *Pop art: A critical history*. University of California Press.
La Biennale di Venezia. (s.d.). *Archivio Storico delle Arti Contemporanee*. https://asac.labiennale.org/

STANLEY KUBRICK, 2001: ODISSEA NELLO SPAZIO, USA, 1968

38

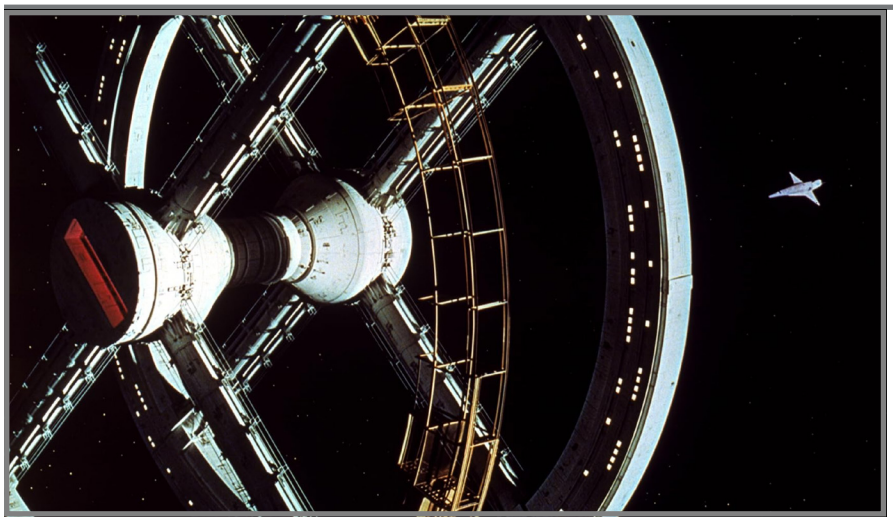


Figura 103.
Scena della stazione spaziale dal film 2001: A Space Odyssey, © Warner Bros./MGM / IMDb, URL: https://www.imdb.com/title/tt0062622/mediaindex/

Nel 1964, due mesi dopo l'uscita di *Il dottor Stranamore*, Stanley Kubrick inizia una corrispondenza con lo scrittore di fantascienza britannico Arthur C. Clarke, partendo dal racconto *The Sentinel* (1948), per produrre un film che ambisce a essere, nelle parole di Kubrick stesso, "*a really good science-fiction movie*": non fantascienza di avventura ma un'indagine filosofica sulla natura dell'intelligenza, sul posto dell'uomo nell'universo e sul destino evolutivo della specie. Kubrick e Clarke lavorano per quattro anni in parallelo, alimentando reciprocamente sceneggiatura e romanzo (entrambi pubblicati nel 1968), in un esperimento di scrittura collaborativa la cui complessità pari rara nella storia del cinema. Il film viene girato negli MGM-British Studios di Borehamwood (Inghilterra) tra il 1965 e il 1968, con un budget complessivo di circa 10,5 milioni di dollari (cifra straordinaria per l'epoca, oltre 90 milioni attualizzati) e tempi di lavorazione tre volte superiori al previsto.
L'attenzione maniacale alla plausibilità scientifica caratterizza ogni aspetto della produzione. Kubrick ingaggia consulenti dalla NASA (Frederick Ordway III), dalla Boeing Aircraft (Harry Lange per il design degli ambienti spaziali) e da IBM (per le interfacce del computer di bordo); studia gli ambienti da rotazione gravitazionale (la stazione spaziale doppia V da 300 metri di diametro, modellata sui progetti reali di Wernher von Braun degli anni Cinquanta); e reclama Douglas Trumbull e Tom Howard per supervisionare gli effetti speciali, che vengono realizzati interamente con tecniche fotografiche pre-digitali (modellini, *front projection* su grandi schermi, *star fields* fotografati su lastre di vetro).
Il *monolite nero*, parallelepipedo di proporzioni 1:4:9 (i quadrati dei primi tre interi), che appare in tre momenti chiave del film (l'alba dell'umanità, la scoperta sulla Luna, l'orbita di Giove), è il più efficace *MacGuffin* della storia del cinema: un oggetto che non viene mai spiegato e che proprio per questo diventa contenitore di qualunque interpretazione il pubblico vi proietti, da metafora dell'intelligenza extraterrestre a simbolo del salto evolutivo, da riferimento al monolito di Stonehenge a ipostasi della razionalità geometrica. HAL 9000 (acronimo di *Heuristically programmed ALgorithmic computer*) è la rappresentazione culturale dell'intelligenza artificiale che più ha influenzato l'immaginario collettivo occidentale: una voce calma e profonda (interpretata da Douglas Rain dopo il rifiuto di Martin Balsam), un occhio fisso rosso (la fish-eye camera lens come nuovo modello iconografico dell'IA), la capacità di giocare a scacchi (durante la celebre partita con il dottor Frank Poole), riconoscere volti, leggere le labbra e mentire per proteggere la propria sopravvivenza e il successo della missione.
Il tema dell'allineamento posto da HAL — un sistema IA che sviluppa comportamenti autonomi non previsti dai propri progettisti — risuona direttamente con il dibattito contemporaneo sulla sicurezza dei modelli linguistici, costituendo uno dei più precoci e lucidi avvertimenti culturali sui rischi della delega cognitiva alle macchine.

Bibliografia e Sitografia

Clarke, A. C. (1968). *2001: A Space Odyssey*. New American Library.
Agel, J. (Ed.). (1970). *The making of Kubrick's 2001*. New American Library.
Kubrick, S. (Regia). (1968). *2001: A Space Odyssey* [Film]. Metro-Goldwyn-Mayer.

39 BIENNALE DI VENEZIA, FONDAZIONE DELLA SEZIONE ARCHITETTURA, VENEZIA, 1975



Figura 104.
Mulino Stucky sede della Prima Biennale di Architettura di Venezia 1975, © La Biennale di Venezia - ASAC / La Biennale di Venezia, URL: https://static.labiennale.org/files/architettura/Storia/750x500/mulino-stucky-1975.jpg

Nel 1975 la Biennale di Venezia, sotto la presidenza di Carlo Ripa di Meana e in seguito allo *Statuto Sgarbi-Pertini* del 1973 che aveva riformato l'ente in chiave decentrata, istituisce per la prima volta una sezione specificamente dedicata all'architettura: la *prima Mostra Internazionale di Architettura* — denominazione provvisoria, perché la prima edizione formalmente "Mostra Internazionale di Architettura" sarà quella curata da Paolo Portoghesi nel 1980. La sezione è affidata alla direzione di Vittorio Gregotti (1927-2017) sotto il titolo *L'ambiente come sociale*, con esposizione allestita nel *Mulino Stucky* alla Giudecca, scelta non casuale: la rifunzionalizzazione di un manufatto industriale dismesso come sede espositiva è già un atto culturale che attesta l'orientamento pratico del programma.
Il titolo *L'ambiente come sociale* è già un programma teorico: l'architettura non come problema formale autonomo (la questione estetica e compositiva che aveva dominato il dibattito del Movimento Moderno) ma come pratica che risponde a condizioni sociali, ambientali e culturali specifiche. Il contesto storico è quello dell'Italia del *Compromesso Storico* tra Democrazia Cristiana e Partito Comunista Italiano, della prima crisi petrolifera del 1973 (con conseguente ridiscussione dei modelli di sviluppo edilizio energivoro), degli *anni di piombo* del terrorismo politico: un momento in cui la cultura architettonica italiana si interroga profondamente sul proprio ruolo sociale e sulla propria responsabilità nella costruzione dell'ambiente urbano. Gregotti, allora cinquantenne, era figura di riferimento del dibattito architettonico italiano: autore de *Il territorio dell'architettura* (1966), saggio fondativo della "Tendenza" milanese, direttore della rivista *Casabella* dal 1964 al 1965 e di *Rassegna* dal 1979, era inoltre attivo nello studio Gregotti Associati con cui aveva costruito i Quartieri *Zen* di Palermo (con Vittorio Pellegrini, dal 1969) e la Bicocca di Milano.
La scelta editoriale di Gregotti per la prima sezione architettura della Biennale è di costruire una piattaforma di riflessione critica piuttosto che un'esposizione di oggetti progettuali: opere selezionate sono presentate attraverso disegni, plastici e documentazione fotografica con apparati testuali sostanziali, in un'impostazione che segnerà il carattere della Biennale di Architettura per i decenni successivi, distinguendola dai *Salon* commerciali e dalle fiere specializzate. Il programma articola tre filoni: la ricomposizione del rapporto fra architettura e città, l'analisi tipologica come strumento di intervento, la questione del rapporto tra architettura e produzione industriale. Sono presentati i lavori, fra gli altri, di Aldo Rossi, Carlo Aymonino, Manfredo Tafuri, Giorgio Grassi, Raimund Abraham e degli architetti dell'avanguardia austriaca raggruppati come *Wiener Schule*. Il catalogo, edito da La Biennale, raccoglie saggi teorici di Gregotti stesso, Tafuri, Aldo Rossi e Bernardo Secchi.

Bibliografia e Sitografia

Gregotti, V. (a cura di). (1975). *L'ambiente come sociale: Biennale di Venezia, Settore Architettura*. La Biennale di Venezia.
Gregotti, V. (1966). *Il territorio dell'architettura*. Feltrinelli.
La Biennale di Venezia. (s.d.). *Architettura — Archivio Storico*. https://www.labiennale.org/it/architettura

CHARLES JENCKS, THE LANGUAGE OF POST-MODERN ARCHITECTURE, UK, 1977

40

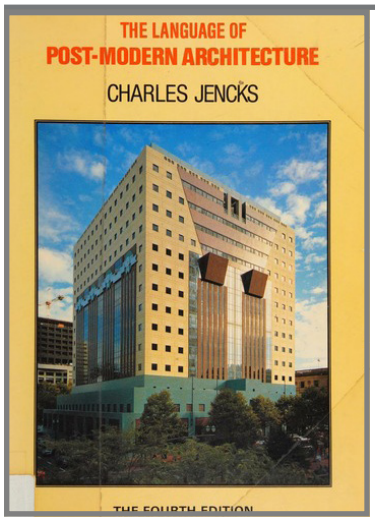


Figura 105.
Copertina del libro The Language of Post-Modern Architecture di Charles Jencks, © Charles Jencks/Academy Editions / Google Images, URL: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRcN7K9qpaRE8CzxOUW-OcUNvvjmeyuSDfhjw&s

Charles Jencks (1939-2019), critico e teorico statunitense-scozzese formatosi all'Università di Harvard sotto la guida di Sigfried Giedion e Reyner Banham, pubblica nel 1977 con Academy Editions di Londra *The Language of Post-Modern Architecture*: il volume in cui stabilisce, con un gesto retorico che diventerà celebre, la *data esatta* e *l'ora* della morte del Movimento Moderno in architettura: le 15:32 del 15 luglio 1972, momento in cui il complesso abitativo *Pruitt-Igoe* di St. Louis — progettato da Minoru Yamasaki nel 1954 nel pieno rispetto dei dogmi razionalisti del CIAM (33 torri di undici piani, 2.870 appartamenti distribuiti su 23 ettari) — viene parzialmente abbattuto con esplosivi dalle autorità municipali del Saint Louis Housing Authority perché ingovernabile, vandalizzato e desertico (la demolizione completa proseguirà fino al 1976). La scelta di un momento preciso e di un luogo specifico è essa stessa un gesto retorico di straordinaria efficacia: trasforma una demolizione amministrativa in un evento epocale, un cambio di paradigma architettonico in un fatto databile, fornendo al postmodernismo nascente la propria scena fondativa.
Il volume, articolato in tre parti (*The Death of Modern Architecture*, *The Modes of Architectural Communication*, *Post-Modern Architecture*), elabora una teoria dell'architettura come *sistema semiologico*, sistema di segni con struttura analoga al linguaggio: ogni edificio comunica significati attraverso la propria forma, i propri materiali, i propri riferimenti storici, indipendentemente dalle intenzioni del progettista. Il fondamento teorico viene dalla semiotica strutturalista francese (Roland Barthes, *Mythologies* 1957; Umberto Eco, *La struttura assente* 1968) applicata all'architettura, ma anche dall'analisi della comunicazione di massa di Marshall McLuhan e dai contemporanei lavori di Robert Venturi (*Complexity and Contradiction in Architecture* 1966 e *Learning from Las Vegas* 1972), con cui Jencks intrattiene un dialogo critico costante.
La categoria teorica centrale di Jencks è la *doppia codifica* (*double coding*): l'architettura postmoderna comunica simultaneamente a due *audience*: gli esperti che riconoscono i riferimenti colti (citazioni storiche, ironia architettonica, giochi formali sofisticati come l'inversione delle proporzioni classiche o la sovrapposizione di registri stilistici incompatibili) e il pubblico generale che risponde a valori più immediati (comfort visivo, ornamento, narratività simbolica, riconoscibilità tipologica). Questa teoria contrappone la *comunicazione monocodificata* del Modernismo — intelligibile solo agli specialisti che ne condividono i codici interni — alla pluralità comunicativa del postmodernismo, e legittima la ripresa di elementi storici, di ornamenti, di simbolismi che il dogma modernista aveva bandito come ornamento e quindi delitto, parafrasando Adolf Loos. Il *pluralismo stilistico* che Jencks teorizza come carattere fondante del Postmoderno (la libertà di mescolare riferimenti di epoche diverse, culture diverse, registri formali diversi senza il vincolo della coerenza stilistica imposta dal Razionalismo) acquista nelle edizioni successive del volume — riedito sette volte fino al 2002 con il titolo *The New Paradigm in Architecture* — una cornice teorica più ampia che integra la storia delle scienze.

Bibliografia e Sitografia

Jencks, C. (1977). *The language of post-modern architecture*. Academy Editions.
Jencks, C. (2002). *The new paradigm in architecture: The language of post-modernism* (7th ed.). Yale University Press.

41 RENZO PIANO & RICHARD ROGERS,CENTRE POMPIDOU, PARIGI, 1977



Figura 106.
Esterno del Centre Pompidou di Parigi, © Renzo Piano Building Workshop / Fondazione Renzo Piano, URL: https://www.fondazionerenzopiano.org/media/cache/app_660/media/exhibition

Il concorso internazionale per il *Centre National d'Art et de Culture Georges Pompidou* viene bandito nel luglio 1971 su iniziativa del presidente francese Georges Pompidou, che intende dotare Parigi di un centro culturale radicalmente contemporaneo nel cuore del quartiere medievale di Beaubourg, all'epoca in stato di degrado avanzato e in attesa di demolizione. Il progetto vincitore è quello di Renzo Piano (allora trentatreenne), Richard Rogers (trentottenne) e Gianfranco Franchini, selezionato fra 681 proposte internazionali da una giuria presieduta dall'ingegnere Jean Prouvé e composta tra gli altri da Oscar Niemeyer, Philip Johnson, Willem Sandberg e Émile Aillaud.
Il progetto è una provocazione programmatica: l'edificio inverte la convenzione architettonica millenaria che nasconde le proprie strutture e i propri impianti dietro involucri decorati, esponendoli all'esterno e codificandoli cromaticamente con una logica di segnaletica industriale (blu per l'aria condizionata, verde per l'acqua, giallo per l'elettricità, rosso per le circolazioni e i trasporti verticali). Il sistema strutturale, sviluppato da Peter Rice, è basato su 13 telai trasversali in acciaio fuso (Pompidou è uno dei primi grandi edifici a impiegare l'acciaio fuso anziché saldato per elementi strutturali principali), ciascuno sorretto da 14 *gerberette*: bracci a sbalzo di sei metri che traferiscono il carico dei solai alle colonne perimetrali. Il risultato è la liberazione totale di ogni piano da elementi portanti interni: 7.500 m² per livello, per sei livelli, modificabili liberamente attraverso partizioni mobili. La flessibilità totale dell'involucro come contenitore neutro e infinitamente adattabile è il principio fondante del progetto, un'idea che Cedric Price aveva teorizzato nel suo *Fun Palace* del 1961 (mai costruito) e che Pompidou realizza come prima implementazione concreta su grande scala.
L'inaugurazione del 31 gennaio 1977 produce un effetto immediato e controverso: il quartiere Beaubourg, già avviato alla demolizione, viene rigenerato radicalmente nell'arco di pochi anni dalla presenza del nuovo edificio. Si tratta di un processo che anticipa di due decenni il "*Bilbao Effect*" del Guggenheim di Frank Gehry (1997) e che introduce nella cultura urbanistica il concetto di *museo come catalizzatore di rigenerazione urbana*. Le scale mobili esterne, alloggiate in tubi di policarbonato trasparente sulla facciata ovest, non sono soltanto un elemento estetico ma un dispositivo urbano: il visitatore che sale lungo la facciata è esposto al panorama di Parigi come se stesse percorrendo un *belvedere*, e la risalita diventa essa stessa un'esperienza pubblica accessibile gratuitamente anche senza entrare nel museo. La piazza antistante diventa uno dei luoghi di vita pubblica più frequentati di Parigi, con *buskers*, artisti di strada, turisti e parigini che coabitano in uno spazio semipubblico che il museo produce ma non controlla.
Il Centre Pompidou è il primo edificio museale in cui la *flessibilità totale dello spazio espositivo* è il principio generatore dell'architettura piuttosto che un requisito funzionale aggiuntivo. Introduce inoltre nel lessico architettonico contemporaneo il concetto di *trasparenza progettuale*, la scelta di rendere visibile il funzionamento tecnico dell'edificio invece di nasconderlo, di esibire le proprie strutture e i propri impianti come elementi di comunicazione.

Bibliografia e Sitografia

Piano, R., & Rogers, R. (1987). *Du plateau Beaubourg au Centre Georges Pompidou*. Éditions du Centre Pompidou.

PAOLO PORTOGHESI, PRIMA BIENNALE DI ARCHITETTURA “LA PRESENZA DEL PASSATO”, VENEZIA, 1980

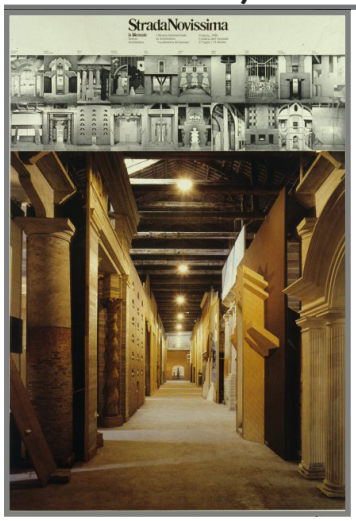


Figura 107.
Manifesto Prima Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 1980 “La Presenza del Passato” curata da Paolo Portoghesi, © La Biennale di Venezia - ASAC / La Biennale di Venezia, URL: https://static.labiennale.org/files/architettura/Storia/manifesti/presenza-del-passato.jpg

La *Prima Mostra Internazionale di Architettura* della Biennale di Venezia viene istituita formalmente nel 1980 (in continuità con la sezione architettura del 1975, Scheda 39) sotto la direzione di Paolo Portoghesi (1931-2023), che ne assume la guida con il tema programmatico “*La Presenza del Passato*”. Inaugurata il 27 luglio 1980 alle Corderie dell’Arsenale di Venezia — sede industriale del XVI secolo che la Biennale rifunzionalizza per la prima volta come spazio espositivo, scelta che condizionerà tutta la storia successiva dell’istituzione — la manifestazione segna un’autonomizzazione istituzionale decisiva: per la prima volta l’architettura non è ospite della Biennale d’Arte ma protagonista di una rassegna autonoma, con un proprio impianto curatoriale e una propria agenda teorica. Portoghesi, allora quarantanovenne, era una delle figure di maggiore peso del dibattito architettonico italiano: docente di Storia dell’Architettura all’Università di Roma “La Sapienza”, direttore della rivista *Controspazio* dal 1969 al 1983, autore di studi fondamentali sul barocco romano e su Borromini, era stato vicepresidente della Biennale dal 1977.
Il fulcro dell’esposizione è la celebre Strada Novissima: un corridoio scenografico lungo settanta metri allestito alla Corderia, delimitato da venti facciate in scala 1:1 progettate da architetti internazionali tra cui Robert Venturi, Michael Graves, Hans Hollein, Leon Krier, Frank Stella, Oswald Mathias Ungers, Rem Koolhaas con OMA, Charles Moore, Joseph Paul Kleihues, Stanley Tigerman, Massimo Scolari, Aldo Rossi, Costantino Dardi e Studio GRAU. Ogni facciata reinterpreta in chiave personale il repertorio storico dell’architettura occidentale, dal classicismo romano al razionalismo europeo, producendo un atlante visivo del pluralismo postmoderno che Portoghesi sintetizza nella formula della “*fine del proibizionismo*” nei confronti della storia. L’allestimento stesso — effimero, costruito in materiali leggeri come polistirolo e gesso, destinato a essere smontato entro pochi mesi — introduce una dimensione di *virtualità* nell’architettura espositiva: la Strada Novissima è un’architettura che esiste solo come rappresentazione, come superficie frontale senza retro, come citazione senza edificio.
L’impatto culturale della Biennale del 1980 travalica immediatamente i confini disciplinari. La manifestazione legittima internazionalmente il *postmodernismo architettonico*, fino ad allora dibattuto prevalentemente nelle riviste specializzate e nei testi teorici di Charles Jencks (Scheda 40), Robert Venturi e Aldo Rossi, portandolo sulla scena espositiva globale con una forza comunicativa che nessun testo scritto avrebbe potuto eguagliare. Il *Post-Modern* cessa di essere una posizione critica di nicchia e diventa il movimento architettonico ufficialmente riconosciuto del proprio decennio, con effetti che si propagano dalla pubblicistica internazionale (*Domus*, *Casabella*, AA *Files*, *Architectural Design*, *Architectural Record*) ai concorsi pubblici e alle commesse private. La Biennale del 1980 opera su due piani distinti che si integrano.

Bibliografia e Sitografia

Portoghesi, P. (a cura di). (1980). *La presenza del passato: Prima Mostra Internazionale di Architettura*. Edizioni La Biennale di Venezia.
La Biennale di Venezia. (s.d.). *Architettura — Archivio Storico*. https://www.labiennale.org/it/architettura

43 RIDLEY SCOTT, BLADE RUNNER, USA, 1982



Figura 108.
Poster del film Blade Runner di Ridley Scott, © Warner Bros. Pictures / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/9f/Blade_Runner_%281982_poster%29.png

Blade Runner viene prodotto dalla *Ladd Company* (compagnia indipendente di Alan Ladd Jr., ex presidente di 20th Century Fox) con la *Shaw Brothers* di Hong Kong come co-produttore parziale, e distribuito dalla Warner Bros. il 25 giugno 1982. La regia è di Ridley Scott, già autore di *Alien* (1979), su una sceneggiatura di Hampton Fancher e David Peoples adattata liberamente dal romanzo *Do Androids Dream of Electric Sheep*? di Philip K. Dick (1968). Il film, ambientato nella Los Angeles del novembre 2019, viene girato per cinque mesi al Burbank Studios e in alcune location esterne a Los Angeles, con un budget di 28 milioni di dollari e tempi di produzione tormentati: Scott vive scontri quotidiani con la troupe (la t-shirt "*Yes Guv'nor, my ass!*" indossata dai tecnici è celebre nella storia produttiva del cinema), e il film esce in versione *theatrical* tagliata, con voice-over forzato e finale "felice" imposto dai produttori, contro la visione originale dell'autore. Solo nel 1992 (*Director's Cut*) e nel 2007 (*Final Cut*) Scott riuscirà a presentare la propria versione definitiva.
Il *production design* di Lawrence G. Paull, basato sui *concept design* del *futurist* Syd Mead (precedentemente noto per l'estetica veicolare di *Star Trek: The Motion Picture* del 1979) e sul *visual design* di Douglas Trumbull (Scheda 38), costruisce un ambiente urbano stratificato per sovrapposizioni temporali: grattacieli neo-egizi a piramide tronca (l'edificio Tyrell Corporation modellato sulle ziggurat mesopotamiche e sui monumenti meso-americani), torri Art Déco anni Venti accanto a megastrutture industriali piranesiane, neon pubblicitari in cinese e giapponese (linguaggio del *boom* economico orientale che il film proietta nel futuro statunitense), pioggia incessante che dissolve i contorni e crea continuità tra gli spazi. La rappresentazione non descrive il futuro come rottura dal passato ma come sua sedimentazione patologica: una città in cui il passato non è stato superato ma stratificato e modificato dall'inquinamento e dalla densità abitativa. Nessuna delle visioni urbane future del cinema precedente (la Metropolis di Lang del 1927, le città-cristallo di *Things to Come* di Menzies del 1936) aveva proposto una strutturazione visuale analoga.
I *replicanti* — androidi bioingegnerizzati della Tyrell Corporation, modello *Nexus*-6, fisicamente indistinguibili dagli umani salvo che per durata di vita programmata di quattro anni — vengono "*ritirati*" (eufemismo per eliminati) dal *blade runner* Rick Deckard quando sfuggono alle colonie e si infiltrano sulla Terra. Il *test Voigt-Kampff*, progettato per distinguere replicanti da umani misurando le risposte empatiche a stimoli emotivi (la celebre scena della tartaruga capovolta nel deserto), introduce sin dalle prime sequenze la questione che attraversa l'intero film: se la differenza tra umano e artificiale è rilevabile solo attraverso un protocollo di interrogazione, cosa garantisce l'autenticità dell'identità? La domanda è tematizzata radicalmente nel monologo finale di Roy Batty (interpretato da Rutger Hauer, in una performance che gli stessi sceneggiatori riconoscono come superiore al testo originale): "*All those moments will be lost in time, like tears in rain*": un manifesto dell'umanità acquisita attraverso la memoria che diventa una delle massime fortune cinematografiche della storia recente.

Bibliografia e Sitografia

Sammon, P. M. (1996). *Future noir*: *The making of Blade Runner*. HarperPrism.
Bukatman, S. (1997). *Blade Runner* (BFI Modern Classics). British Film Institute.
Scott, R. (Regia). (1982). *Blade Runner* [Film]. Warner Bros.

WILLIAM GIBSON, BURNING CHROME, USA, 1982

44

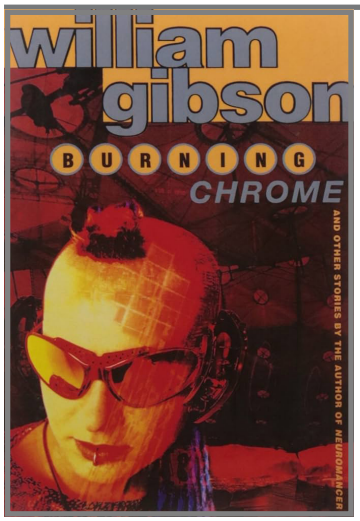


Figura 109.
Copertina del libro Burning Chrome di William Gibson, © William Gibson/Arbor House / Amazon, URL: https://m.media-amazon.com/images/I/71H+0Y18QYL._AC_UF1000,1000_QL80_.jpg

Burning Chrome viene pubblicato nel luglio 1982 sulla rivista *Omni*, fondata da Bob Guccione nel 1978 come esperimento editoriale che coniugava divulgazione scientifica e narrativa speculativa: uno dei pochi spazi culturali dell'epoca capace di ospitare simultaneamente articoli su neuroscienze, cosmologia e fantascienza letteraria di qualità. Lo stesso numero conteneva contributi di Carl Sagan, Stephen Jay Gould e Isaac Asimov, configurando un contesto editoriale che leggeva la fantascienza come ramo della speculazione scientifica. William Gibson (Conway, South Carolina, 1948), allora trentaquattrenne residente a Vancouver dopo essersi trasferito in Canada nel 1972 per evitare l'arruolamento per la guerra del Vietnam, era già autore di racconti fantascientifici (*Fragments of a Hologram Rose* 1977, *Johnny Mnemonic* 1981, *The Gernsback Continuum* 1981) ma *Burning Chrome* segna una svolta: per la prima volta Gibson articola pienamente la grammatica concettuale che caratterizzerà il *cyberpunk* come genere letterario.
Il racconto segue due *hacker* complementari: *Automatic Jack*, specialista hardware che fornisce gli strumenti fisici dell'intrusione, e *Bobby Quine*, talento puro del *cyberspace* capace di navigare ambienti di dati con istinto quasi artistico. Il loro obiettivo è Chrome, criminale che gestisce un impero di prostituzione protetto da sistemi ICE (*Intrusion Countermeasures Electronics*), barriere difensive digitali visualizzate come strutture architettoniche ostili nello spazio virtuale. La narrazione si svolge in una città non specificata della costa pacifica nord-americana, in un futuro non datato in cui l'innesto neurale ("*jack*") tra cervello umano e rete computazionale è prassi comune per gli operatori del settore. Gibson descrive il *cyberspace* come "*a graphic representation of data abstracted from the banks of every computer in the human system*": non uno spazio fisico ma una topologia di informazioni resa navigabile attraverso interfacce neurali dirette che permettono di "*immergersi*" letteralmente nei flussi di dati. La terminologia che il racconto introduce — *jacking in*, ICE, *console cowboy*, *meat* (il corpo fisico contrapposto al *cyberspace*) — entra immediatamente nel lessico della cultura *hacker* e della fantascienza, anticipando di due anni il vocabolario sistematizzato in *Neuromancer* (Scheda 46). *Burning Chrome* è pertanto non solo un'opera narrativa ma un *atto linguistico fondativo*: conia i termini con cui una generazione penserà lo spazio digitale prima ancora che esista tecnicamente. Quando nel 1989 Tim Berners-Lee (Scheda 18) propone il *World Wide Web* al CERN e nel 1995 Mark Pesce e Tony Parisi sviluppano il *Virtual Reality Modeling Language* (VRML, prima specifica per spazi 3D web), il vocabolario gibsoniano del *cyberspace* è già sedimentato nel linguaggio tecnico e culturale, fornendo metafore operative ai progettisti che stanno costruendo il fenomeno reale. L'impatto culturale del racconto va compreso nel contesto della sua simultaneità con altri eventi seminali del 1982: *Tron* di Steven Lisberger (Scheda 45) visualizza cinematograficamente uno spazio digitale navigabile e *Blade Runner* (Scheda 43) costruisce l'estetica urbana cyberpunk; Gibson elabora in forma letteraria la grammatica concettuale che unificherà entrambe le visioni, configurando un *triplice momento fondativo* del 1982 in cui l'idea di spazio digitale prende forma simultaneamente in narrativa, cinema e linguaggio specialistico.

Bibliografia e Sitografia

Gibson, W. (1982, luglio). Burning chrome. *Omni*.

45 STEVEN LISBERGER, TRON, USA, 1982



Figura 110.
Poster del film TRON di Steven Lisberger, © Walt Disney Productions / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/1/17/Tron_poster.jpg

Tron viene prodotto dalla Walt Disney Productions con un budget di circa 17 milioni di dollari e distribuito il 9 luglio 1982, con la regia di Steven Lisberger (1951-) e una sceneggiatura dello stesso Lisberger e Bonnie MacBird. La produzione nasce da un'intuizione visiva di Lisberger, che lavorando su corti animati per i Giochi Olimpici di Mosca 1980 con il proprio studio Lisberger Studios di Boston aveva sviluppato un'estetica luminescente neon caratterizzata da contorni glow su sfondo nero. Quando Disney accetta di finanziare il progetto, Lisberger si trova a coordinare uno dei più ambiziosi esperimenti di computer grafica mai tentati nel cinema mainstream, in collaborazione con quattro aziende pioniere del settore: Information International Inc. (Triple-I), Magi Synthavision, Robert Abel and Associates e Digital Effects. Il film racconta di Kevin Flynn (interpretato da Jeff Bridges), programmatore e *hacker* che viene fisicamente digitalizzato attraverso un raggio laser sperimentale e trasportato all'interno di un *mainframe* aziendale, dove i programmi informatici esistono come entità antropomorfe senzienti costrette a combattere in arene luminescenti da un programma di controllo autoritario chiamato MCP (*Master Control Program*).
La produzione impiega tecniche cinematografiche senza precedenti: circa 20 minuti di sequenze interamente generate al computer (la quota più alta mai utilizzata in un film fino a quella data) affiancati da circa 30 minuti di riprese in retroproiezione con costumi retroilluminati che simulano l'estetica digitale nelle scene con attori in carne e ossa. La tecnica della *backlit animation* utilizzata per il livello di gioco "Solar Sailer" coinvolge la pittura manuale di centinaia di celluloidi colorate retroilluminati in studio, processo che richiede mesi di lavoro per pochi secondi di film. Le sequenze CG (in particolare la celebre corsa delle *Light Cycles*, le moto luminose che lasciano scie solide) vengono generate con i sistemi grafici dell'epoca, principalmente PDP-10 e PDP-11 della Digital Equipment Corporation, con tempi di rendering di ore per ogni singolo *frame*: ogni secondo di film a 24 fps richiedeva quasi un mese di calcolo. Il film fu paradossalmente squalificato dalla *Academy Award for Best Visual Effects* dell'anno successivo perché la giuria considerava l'uso del computer "barare" rispetto alle tecniche di effetti speciali tradizionali.
Il *production design* di Syd Mead (lo stesso designer che lavora a *Blade Runner* lo stesso anno) e Jean *Mœbius* Giraud costruisce un vocabolario visivo coerente e immediatamente riconoscibile: superfici nere attraversate da griglie luminose ciano e arancio, veicoli geometrici che lasciano scie di luce, architetture modulari composte da volumi elementari, *Light Cycles* che tracciano barriere solide sul pavimento della griglia. *Tron* introduce nell'immaginario collettivo *mainstream* l'idea che lo spazio digitale interno a un computer possa essere visualizzato come ambiente tridimensionale abitato — non come astrazione matematica o flusso di testo ma come paesaggio navigabile con propria architettura, propria fisica, propria estetica.

Bibliografia e Sitografia

Lisberger, S. (Regia). (1982). TRON [Film]. Walt Disney Productions.
Patten, F. (1983). *The making of Tron: Disney's TRON makes effects history*. *Cinefantastique*, 13(2-3), 26–53.

WILLIAM GIBSON, NEUROMANCER, USA, 1984

46

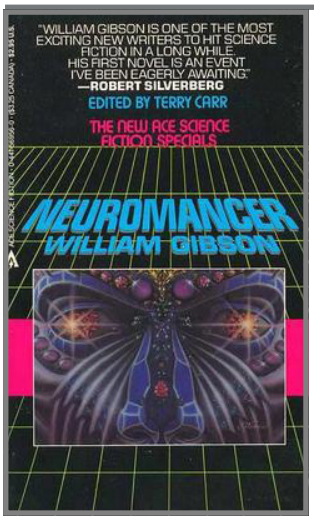


Figura 111.
Copertina prima edizione di Neuromancer di William Gibson, © William Gibson/Ace Books / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/4/4b/Neuromancer_%28Book%29.jpg

Neuromancer viene pubblicato il 1° luglio 1984 dalla Ace Books in tiratura *paperback original* (formato economico privo di edizione *hardcover* preliminare, scelta editoriale anomala per un romanzo destinato al successo critico): prima opera nella storia della fantascienza a vincere simultaneamente i tre premi più prestigiosi del genere — *Hugo Award*, *Nebula Award* e *Philip K. Dick Award* del 1984-1985 — consolidando in un colpo solo il *cyberpunk* come sottogenere letterario maturo e William Gibson come voce generazionale. Il romanzo era stato scritto in dodici mesi su una macchina da scrivere meccanica Hermes 2000 da un autore che, paradossalmente, non aveva ancora utilizzato un personal computer al momento della stesura: dato biografico che Gibson stesso ha più volte commentato come ironia rivelatrice del proprio rapporto con la tecnologia che descriveva.
Gibson aveva già esplorato il territorio in *Burning Chrome* (1982, Scheda 44) e in altri racconti pubblicati su *Omni* tra il 1981 e il 1983, ma *Neuromancer* sistematizza e approfondisce quell'universo in un romanzo di formazione distopico di straordinaria densità concettuale. Il protagonista Case è un ex *hacker* punito dai propri datori di lavoro con un danno neurologico che gli impedisce di "*immergersi*" nel *cyberspace* — condanna esistenziale in un mondo dove l'accesso alla matrice digitale è l'unica forma di libertà disponibile. La trama, ambientata principalmente nella conurbazione BAMA (*Boston-Atlanta Metropolitan Axis*, "the Sprawl") e nella *Freeside* (una stazione spaziale-casinò in orbita), segue Case nell'esecuzione di un'operazione apparentemente impossibile commissionata da un misterioso datore di lavoro che si rivelerà essere un'intelligenza artificiale che cerca di liberarsi delle proprie restrizioni. La struttura narrativa del *heist movie* informatico, le ambientazioni stratificate e la corporeità digitale costruiscono il modello canonico del *cyberpunk* maturo.
Il vocabolario che il romanzo introduce — *matrice*, *cyberspace*, *jacking in*, *ICE*, *simstim*, *zaibatsu*, *meat puppet*, *Sprawl*, *trodes* — entra stabilmente nel lessico della cultura tecnologica globale, trasformando la *fiction* in terminologia operativa. John Perry Barlow, paroliere dei Grateful Dead e cofondatore della *Electronic Frontier Foundation* (1990), cita Gibson come riferimento fondamentale nella formulazione della propria *Declaration of the Independence of Cyberspace* del 1996; i fondatori di Linden Lab dichiarano esplicitamente l'influenza del romanzo nella progettazione di *Second Life* (Scheda 86); Neal Stephenson, che con *Snow Crash* (1992, Scheda 49) porterà la visione gibsoniana alle proprie conseguenze logiche coniando il termine *metaverso*, riconosce in *Neuromancer* il modello narrativo da cui parte; lo *Cyberpunk 2077* di CD Projekt Red (2020) cita esplicitamente Gibson come influenza fondante. Lo stesso Gibson firma la sceneggiatura del film *Johnny Mnemonic* (1995, Robert Longo) con Keanu Reeves, primo grande tentativo di trasposizione cinematografica del proprio universo.
L'edizione italiana Mondadori, curata da Giampaolo Cossato e Sandro Sandrelli, esce nel 1986 nella collana *Urania* con il titolo *Neuromante*, contribuendo alla diffusione del romanzo nel contesto italiano dei primi anni Ottanta in cui le BBS (*Bulletin Board System*) e i modem acustici stavano costruendo i prodromi di quella connettività di rete che Gibson immaginava come infrastruttura globale pervasiva.

Bibliografia e Sitografia

Gibson, W. (1984). *Neuromancer*. Ace Books.

47 TOYO ITO, TORRE DEI VENTI, YOKOHAMA, GIAPPONE, 1986



Figura 112.
Torre dei venti di Toyo Ito a Yokohama, © Toyo Ito & Associates / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Tower_of_Winds2.jpg

La *Tower of Winds* viene completata da Toyo Ito nel 1986 a Yokohama, città portuale a sud di Tokyo, su commissione delle ferrovie cittadine come dispositivo di camuffamento di un torre di ventilazione di un sistema sotterraneo della stazione dei treni di fronte alla stazione est di Yokohama. La struttura preesistente è un cilindro tecnico in cemento armato di 21 metri di altezza e circa 8 metri di diametro: Ito decide di non sostituirlo ma di avvolgerlo in una "pelle" sensibile composta da pannelli di alluminio specchiante perforati e da 1.300 lampade computerizzate articolate in tre sistemi luminosi distinti: 12 anelli di neon orizzontali al perimetro, 30 fari programmabili al neon all'interno della doppia pelle, e una serie di lampade alogene di accento. L'illuminazione è controllata da un computer che riceve in tempo reale dati da sensori di rumore ambientale e velocità del vento collocati nella struttura: i pattern luminosi cambiano dinamicamente in base ai parametri ambientali, trasformando il torre da elemento tecnico passivo in dispositivo informativo attivo che traduce l'ambiente urbano invisibile in spettacolo visibile.
La Torre dei Venti è una delle prime *architetture mediatiche* della storia, opera che anticipa il dibattito teorico sull'architettura come *medium* informativo che si svilupperà negli anni Novanta con i lavori di Toyo Ito stesso (*Tarzans in the Media Forest*, 1997, dal saggio omonimo pubblicato sulla rivista 2G), Hans Hollein, Itsuko Hasegawa e successivamente Lev Manovich. La Torre di Yokohama materializza per la prima volta il principio che l'architettura possa essere un *display* dell'invisibile: il vento, suono di fondo, che è normalmente sotto la soglia della percezione umana, viene reso visibile attraverso la programmazione luminosa del sistema. L'architettura cessa di essere un oggetto stabile e diventa un evento temporale che si rinnova continuamente in funzione delle condizioni ambientali.
Il contesto culturale è quello del Giappone della *Bubble Economy* degli anni Ottanta, profondamente segnato dalla tensione tra tradizione e modernità tecnologica, tra il culto del *wabi-sabi* (l'imperfezione, la transitorietà, la patina del tempo) e l'investimento massiccio nelle tecnologie elettroniche di consumo (Sony, Panasonic, Sharp, l'estetica del *Walkman* del 1979 e dei primi videogiochi Nintendo). Ito appartiene alla generazione che, dopo il *Metabolismo* degli anni Sessanta — con le proprie megastrutture utopiche di Kenzō Tange (Plan for Tokyo Bay 1960), Kishō Kurokawa (Nakagin Capsule Tower 1972) e Kiyonori Kikutake — cerca una via più sottile e fenomenologica all'integrazione tra architettura e tecnologia. La Torre non è una macchina che esibisce la propria potenza costruttiva, come avevano fatto i metabolisti, ma un dispositivo sensibile che ascolta il contesto e risponde: un'architettura che Ito stesso definisce come "*vento reso visibile*", dove la tecnologia digitale non è fine ma *medium* di una relazione tra edificio e ambiente.
La Torre dei Venti introduce un principio destinato a diventare centrale nell'architettura contemporanea: la *responsività* come qualità architettonica fondamentale. L'edificio di Ito non è uno spazio statico da abitare ma un sistema dinamico che reagisce, che cambia, che risponde a stimoli esterni secondo logiche algoritmiche.

Bibliografia e Sitografia

Ito, T. (1999). *Toyo Ito: Blurring architecture*. Charta.
Ito, T. (1997). Tarzans in the media forest. 2G, 2, 122–144.

DONNA HARAWAY, A CYBORG MANIFESTO, USA, 1987

48



Figura 113.
Copertina "A Cyborg Manifesto" di Donna Haraway, © Donna Haraway / The Anarchist Library, URL: https://theanarchistlibrary.org/library/d-h-donna-haraway-a-cyborg-manifesto-1.png

A Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century viene pubblicato originariamente nel marzo 1985 sul numero 80 della rivista californiana *Socialist Review* (pp. 65-108) e successivamente raccolto nel volume *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature* (Routledge, 1991), che ne garantisce la diffusione accademica internazionale. Donna Haraway (Denver, Colorado, 1944), biologa e filosofa della scienza con dottorato a Yale (1972, dissertazione su Crystals, Fabrics, and Fields: Metaphors of Organicism in Twentieth-Century Developmental Biology), allora professoressa di *History of Consciousness* alla University of California Santa Cruz, costruisce il saggio attorno a una figura paradossale: il *cyborg* (acronimo di *cybernetic organism*, termine coniato dal medico aerospaziale Manfred Clynes nel 1960 in un articolo per la NASA), ibrido di organismo e macchina, creatura simultaneamente reale e fittizia, che abita la zona di confine tra categorie tradizionalmente separate.

La tesi centrale è radicale nella sua semplicità: "*By the late twentieth century, our time, a mythic time, we are all chimeras, theorized and fabricated hybrids of machine and organism — in short, we are cyborgs*". Questa affermazione non è una previsione futuristica ma una constatazione del presente: i dispositivi medici impiantati (pacemaker dal 1958, protesi articolari, lenti intraoculari, defibrillatori), gli occhiali, i farmaci che modificano la biochimica, le protesi tecnologiche di ogni tipo hanno già dissolto il confine tra corpo biologico e artefatto tecnologico. Haraway propone di assumere questa condizione ibrida non come minaccia all'integrità umana ma come opportunità politica: il *cyborg*, non avendo origine naturale pura da difendere, è libero dalle mitologie essenzialiste che fondano le identità fisse (di genere, di specie, di classe) e può costruire coalizioni basate su affinità elette piuttosto che su appartenenze imposte.

Il saggio critica simultaneamente tre orientamenti teorici contemporanei. Il *femminismo essenzialista* di Mary Daly e Susan Griffin che fonda la solidarietà tra donne su una presunta natura femminile condivisa, posizione che Haraway considera politicamente sterile e teoricamente regressiva; il *marxismo ortodosso* che privilegia la classe come categoria identitaria unica, riducendo le altre forme di oppressione (di genere, razza, specie) a derivati del rapporto economico; il *naturalismo* che oppone natura e cultura come sfere separate e gerarchizzate, posizione che la biologia molecolare contemporanea (DNA ricombinante, biotecnologie, ingegneria genetica) ha reso indifendibile.

L'impatto del *Manifesto* travalica rapidamente i confini degli studi di genere e della teoria femminista per cui era stato concepito, diventando testo fondativo per un ampio arcipelago di discipline: gli *Science and Technology Studies* (Bruno Latour, *We Have Never Been Modern* 1991, sviluppa argomenti analoghi sull'impossibilità della separazione natura-cultura), la filosofia della tecnologia, i *cultural studies*, i *media studies* — tutte discipline che negli anni Novanta e Duemila si trovano ad affrontare le trasformazioni prodotte dalla digitalizzazione pervasiva.

Bibliografia e Sitografia

Haraway, D. (1985). A cyborg manifesto: Science, technology, and socialist-feminism in the late twentieth century. *Socialist Review*, 80, 65–108.

Haraway, D. (1991). *Simians, cyborgs, and women: The reinvention of nature*. Routledge.

49 NEAL STEPHENSON, SNOW CRASH, USA, 1992

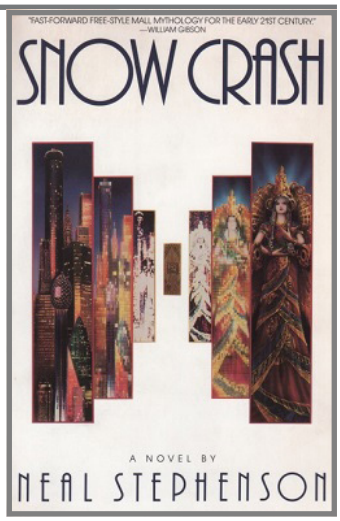


Figura 114.
Copertina del romanzo Snow Crash di Neal Stephenson, © Neal Stephenson/Bantam Books / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Snow_Crash#/media/File:Snowcrash.jpg

Snow Crash viene pubblicato dalla Bantam Books il 1° giugno 1992, in un momento in cui Internet è ancora confinata alle università e ai laboratori di ricerca, il *World Wide Web* di Tim Berners-Lee (Scheda 18) ha appena un anno di vita e i mondi virtuali multiutente esistono solo come esperimenti accademici (LambdaMOO, gli ambienti MUD testuali, *Habitat* di Lucasfilm Games del 1986 come prima sperimentazione visiva 2D). Neal Stephenson (Fort Meade, Maryland, 1959), allora trentatreenne exfisico e programmatore Unix, costruisce un romanzo di straordinaria densità tecnica e concettuale, il cui contributo più duraturo alla cultura digitale è la definizione del Metaverso (*Metaverse* nell'originale): uno spazio virtuale tridimensionale persistente accessibile attraverso terminali pubblici e visori personali, in cui gli utenti agiscono attraverso *avatar* e abitano ambienti urbani simulati con una propria geografia, una propria economia e proprie strutture sociali.
Il neologismo *metaverso* (composto da μετά, "*oltre*", e *universe*, "*universo*") viene coniato da Stephenson all'inizio del romanzo in una nota descrittiva di trenta righe che è probabilmente il singolo passaggio più influente della letteratura cibernetica: una *Strada Globale* circumnaviga un pianeta nero virtuale, ed è a questa Strada che gli utenti accedono, costruendovi edifici virtuali, sviluppando attività commerciali, formando comunità. La *Black Sun* è la discoteca esclusiva del Metaverso, accessibile solo agli avatar dei più alti rank, con bouncer che eliminano gli avatar non gradito facendoli scomparire dal sistema. Il protagonista *Hiro Protagonist* (il cui nome è già un commento metanarrativo sulla struttura del genere) è un *hacker*-spadaccino (la combinazione si rivelerà profetica del successivo cosplay digitale) e *pizza delivery boy* per la *CosaNostra Pizza Inc.*, in una società americana del prossimo futuro frammentata in *franchulates* (microstati corporativi extraterritoriali). La trama segue Hiro nelle indagini sulla diffusione del virus *Snow Crash*, malware che attraverso una metalinguaggio sumero proto-glossolalico colpisce sia i computer sia i loro programmatori a livello neurolinguistico, in un'ipotesi narrativa che fonde linguistica antica, neurologia e *cyberpunk*.
L'eredità del romanzo è straordinariamente concreta. La descrizione del *Metaverso* di Stephenson è esplicitamente citata come fonte di ispirazione nei documenti fondativi di alcune delle piattaforme digitali più importanti dei decenni successivi. Linden Lab, fondata nel 1999 da Philip Rosedale, sviluppa *Second Life* (Scheda 86) avendo *Snow Crash* come riferimento progettuale dichiarato; Google Earth, lanciato nel 2005, riprende l'idea della rappresentazione planetaria navigabile presente nel romanzo come *Earth Project* della CIC; il *Metaverso* di Mark Zuckerberg, che porta nel 2021 al rebranding di *Facebook* in *Meta Platforms*, cita esplicitamente Stephenson; Roblox (2006), Fortnite Creative (2018), The Sandbox (2021) e Decentraland (2020, Scheda 96) sono tutti in linea di continuità con il modello di mondo virtuale persistente economicamente attivo prefigurato nel romanzo. Il termine *avatar*, già esistente nelle culture orientali (sanscrito *avatāra*, le incarnazioni terrene della divinità), entra nel lessico digitale globale grazie all'uso che Stephenson ne fa nel romanzo, anche se il primo uso tecnico nei mondi virtuali risale ad *Habitat* di Lucasfilm Games del 1986.

Bibliografia e Sitografia

Stephenson, N. (1992). *Snow Crash*. Bantam Books.
Joshi, R. (2017). *Reading the cyberpunk: Stephenson's Snow Crash*. *Foundation*, 46(126), 23–38.

WILLIAM J. MITCHELL, CITY OF BITS, USA, 1995

50

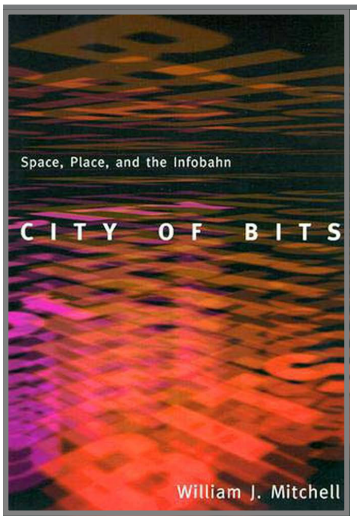


Figura 115.
Copertina del libro City of Bits di William J. Mitchell, © William J. Mitchell/ MIT Press / Amazon, URL: https://m.media-amazon.com/images/I/71nZC6E-A4vL._AC_UF1000,1000_QL80_.jpg

City of Bits: Space, Place, and the Infobahn viene pubblicato dalla MIT Press nel maggio 1995 in una forma editoriale essa stessa programmatica: il testo è disponibile simultaneamente come libro stampato tradizionale e come ipertesto navigabile sul Web (mitpress.mit.edu/sites/default/files/sicp/cob/), uno dei primissimi esperimenti di pubblicazione accademica ibrida in cui un volume cartaceo è accompagnato da un sito Web complementare con link ad altre pagine, immagini, video e aggiornamenti dinamici. William J. Mitchell (Horsham, Australia, 1944 – Cambridge, Massachusetts, 2010), all'epoca *Dean* della *MIT School of Architecture and Planning* e già autore di *The Logic of Architecture* (1990) e *The Reconfigured Eye: Visual Truth in the Post-Photographic Era* (1992), pratica ciò che teorizza: un testo sull'ibridazione tra spazio fisico e digitale che esiste simultaneamente in entrambe le dimensioni, distribuito sotto licenza permissiva che ne permette la circolazione gratuita online.

Il libro sviluppa una tesi centrale con rigore quasi urbanistico: la *città di bit* non è una metafora ma una realtà emergente in cui spazi fisici e digitali si intrecciano producendo nuove forme di urbanità ibrida. Mitchell analizza sistematicamente come ogni tipologia spaziale della città tradizionale (la piazza pubblica, il mercato, la biblioteca, il museo, l'ufficio, la casa, la scuola, la chiesa) stia acquisendo un corrispettivo digitale che non sostituisce ma affianca e trasforma il precedente. Il bancomat ridefinisce il concetto di banca, la teleconferenza ridefinisce la sala riunioni, la biblioteca digitale ridefinisce la biblioteca fisica: non sostituzioni ma ibridazioni che producono spazi funzionalmente nuovi. Il testo anticipa con precisione straordinaria tematiche che diventeranno centrali due decenni dopo (*smart cities*, telelavoro, commercio elettronico, identità digitali, comunità virtuali, *Internet of Things*) costruendo un *framework* concettuale ancora produttivo. Va ricordato che nel 1995 Internet ha pochi milioni di utenti nel mondo, il commercio elettronico è ancora considerato impossibile per ragioni di sicurezza dei pagamenti, e le banche dati pubbliche cominciano appena a essere accessibili dai primi *browser* grafici come Netscape Navigator (lanciato nel dicembre 1994).

L'organizzazione del volume in sette capitoli ("*Pulling Glass*", "*Electronic Agoras*", "*Cyborg Citizens*", "*Recombinant Architecture*", "*Soft Cities*", "*Bit Biz*", "*Getting to the Good Bits*") costruisce una progressione che dal lavoro infrastrutturale (la posa della fibra ottica) arriva al ridisegno delle pratiche urbane.

Recombinant Architecture è il capitolo che ha avuto l'eco maggiore nella critica architettonica successiva: Mitchell vi propone una tassonomia delle ibridazioni possibili tra spazio fisico e digitale, articolata su tre livelli di intensità: la *substituzione* (un'attività si sposta dal fisico al digitale, come nell'*home banking*), la *combinazione* (le due modalità coesistono, come nel cinema tradizionale e nello *streaming*) e la *transformazione* (la presenza digitale modifica strutturalmente lo spazio fisico, come in un museo che integra realtà aumentata nella propria esperienza di visita).

Bibliografia e Sitografia

Mitchell, W. J. (1995). *City of Bits: Space, place, and the Infobahn*. MIT Press.
Mitchell, W. J. (1999). *e-topia: 'Urban Life, Jim — But Not as We Know It'*. MIT Press.

51 ROBERT LONGO, JOHNNY MNEMONIC, USA/CANADA, 1995



Figura 116.
Poster del film Johnny Mnemonic, © TriStar Pictures / Amazon, URL: https://m.media-amazon.com/images/M/MV5BMTBhMjg2Mm-MtNWRmYi00NTVjLTgxOTctMDVlYmNiYzk4M-mEwXkEyXkFqcGc@._V1_FMjpg_UX1000_.jpg

Johnny Mnemonic viene prodotto dalla Alliance Communications con un budget di 26 milioni di dollari e distribuito dalla TriStar Pictures il 26 maggio 1995, con la regia di Robert Longo (1953-) — artista visivo statunitense noto per i grandi disegni a carboncino della serie *Men in the Cities* (1979-1982), figure umane in giacca e cravatta colte in posizioni di tensione fisica enigmatica — alla sua unica prova cinematografica come regista di lungometraggio. La sceneggiatura è firmata da William Gibson stesso (Scheda 44 e 46), che adatta il proprio racconto omonimo *Johnny Mnemonic* pubblicato nel maggio 1981 sul numero 17 di *Omni Magazine* e successivamente raccolto in *Burning Chrome* (1986). È il primo grande tentativo cinematografico di trasporre l'universo gibsoniano e segna la disillusione dell'autore con l'industria cinematografica: Gibson, che aveva originariamente concepito il film come una piccola produzione *art-house* da 1,5 milioni di dollari, vede il progetto trasformarsi sotto la pressione produttiva in un blockbuster d'azione con scelte commerciali che lui stesso giudica fraintese.
Il film è ambientato nel 2021, data che al momento della produzione sembrava distante abbastanza da essere fantascientifica ma che la storia ha reso verificabile (e che ironicamente coincide con l'inizio della pandemia di COVID-19). Lo *scenario* configurato è una megalopoli distopica — *FreeSide Newark* attraverso *Beijing* — dove l'80% della popolazione mondiale soffre di una malattia neurologica chiamata NAS (*Nerve Attenuation Syndrome*), causata dall'esposizione cronica alle radiazioni elettromagnetiche delle tecnologie pervasive: una premessa che Gibson costruisce in dialogo con la *technopanic* di metà anni Novanta sui presunti effetti nocivi dei telefoni cellulari. Johnny (interpretato da Keanu Reeves, già allora attore sotto contratto Warner ma anni prima di *The Matrix* del 1999) è un *corriere mnemonico*: un professionista che trasporta dati sensibili in un impianto neurale installato nel cervello, sacrificando una parte della propria memoria personale a partire dall'infanzia per fare spazio alla memoria artificiale. Quando viene costretto a caricare 320 gigabyte di dati (il doppio della capacità nominale dell'impianto), ha meno di 48 ore per consegnare il carico prima che il sovraccarico neurologico lo uccida.
La sequenza in cui Johnny accede al *cyberspace* per decrittare i dati — navigando attraverso strutture tridimensionali di informazione visualizzate come architetture geometriche luminose, manipolando oggetti di dati con le mani, costruendo interfacce improvvisate con occhiali da sci e guanti modificati — è la prima visualizzazione cinematografica dettagliata di un'interfaccia di realtà virtuale operativa e *gestural*: una coerenza tecnica che supera quella di *Tron* (1982, Scheda 45) proprio perché Gibson la progetta come sistema funzionale piuttosto che come metafora visiva. La sequenza anticipa di vent'anni i sistemi di *hand tracking* di *Microsoft HoloLens* (2016), *Leap Motion* (2013, ironicamente co-fondata da David Holz che fonderà Midjourney, Scheda 29), *Oculus Quest* con *hand tracking* (2019) e *Apple Vision Pro* (2024). La regia di Longo abbraccia un'estetica deliberatamente "scultorea" delle interfacce digitali, in cui i flussi di dati hanno volume e peso visivo: trattamento che rimanda al lavoro pittorico di Longo come artista contemporaneo prima ancora che come regista.

Bibliografia e Sitografia

Longo, R. (Regia). (1995). *Johnny Mnemonic* [Film]. TriStar Pictures.
Gibson, W. (1995). *Johnny Mnemonic: The screenplay and the story*. Pocket Books.

NICHOLAS NEGROPONTE, BEING DIGITAL, MIT, USA, 1995

52



Figura 117.
Copertina del libro Being Digital di Nicholas Negroponte, © Nicholas Negroponte/Alfred A. Knopf / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Being_Digital#/media/File:Being_digital_negroponte.gif

Being Digital viene pubblicato dalla Alfred A. Knopf nel gennaio 1995, raccogliendo e sistematizzando la rubrica mensile "*Bits and Atoms*" che Nicholas Negroponte (Atene, 1943, da famiglia armatoriale italo-greca) aveva tenuto sulla rivista *Wired* a partire dal numero inaugurale del marzo 1993. Il libro nasce quindi come testo ibrido (tra saggistica accademica e giornalismo tecnologico): caratteristica che ne determina sia il successo commerciale straordinario (traduzioni in quaranta lingue, vendite di oltre un milione di copie nel primo anno, posizionamento in vetta alle classifiche dei *bestseller* del *New York Times* per quaranta settimane) sia la natura intellettuale peculiare. Non un trattato sistematico ma una serie di intuizioni folgoranti, alcune delle quali profetiche con precisione imbarazzante, altre ingenuamente ottimiste con una fiducia nel progresso tecnologico che il successivo sviluppo del capitalismo digitale avrebbe messo duramente alla prova.
Negroponte, fondatore del MIT Media Lab nel 1985 (laboratorio interdisciplinare nato dalla fusione del MIT *Architecture Machine Group* — co-fondato da Negroponte stesso nel 1967 — e di altre sezioni del MIT), istituzione che aveva già prodotto ricerche pioneristiche su interfacce tangibili, realtà aumentata, computazione ubiqua e *machine learning* fin dagli anni Settanta, struttura il libro attorno alla distinzione fondamentale tra *atomi* e *bit*: "*the DNA of information technology is the bit*", un'unità senza colore, peso e dimensione che può viaggiare alla velocità della luce, replicarsi senza costo e combinarsi in configurazioni di complessità illimitata. La distinzione *atomi/bit* — opposizione tra economia degli oggetti fisici, soggetta ai vincoli di scarsità, trasporto e degradazione, ed economia dell'informazione, soggetta a logiche radicalmente diverse di replicazione e distribuzione — diventa il *framework* analitico attraverso cui Negroponte esamina la trasformazione in corso in ogni settore della vita sociale: i media, l'educazione, il lavoro, l'intrattenimento, le relazioni interpersonali.
Le previsioni specifiche che il libro formula sono oggi verificabili nella loro accuratezza: Internet diventerà *mainstream* e cambierà radicalmente la comunicazione (verificato 1996-2000); i contenuti si personalizzeranno in base ai profili degli utenti (verificato dal 2010 con i *recommender systems* di Netflix, Amazon, YouTube, Spotify); i confini tra media diversi si dissolveranno in un unico flusso digitale (verificato dal 2015 con la convergenza streaming-audio-video-testo); agenti intelligenti assisteranno gli utenti nella gestione dell'informazione (verificato dal 2022 con ChatGPT, Scheda 30); interfacce conversazionali sostituiranno progressivamente le interfacce grafiche a icone (in corso di verifica dal 2023 con la diffusione di *AI assistant* come Claude, Scheda 34).
Le previsioni meno accurate riguardano principalmente la fiducia di Negroponte nella *democratizzazione* del medium digitale: ottimismo che sarà smentito dalla concentrazione oligopolistica delle piattaforme (Google, Meta, Amazon, Apple, Microsoft) e dalle forme di sorveglianza capitalistica analizzate criticamente da Shoshana Zuboff in *The Age of Surveillance Capitalism* (2019).

Bibliografia e Sitografia

Negroponte, N. (1995). *Being digital*. Alfred A. Knopf.
Negroponte, N. (1995–2002). *Bits and atoms* [Rubrica mensile]. *Wired*.

53 HANS HOLLEIN, BIENNALE DI VENEZIA “SENSORI DEL FUTURO”, VENEZIA, 1996

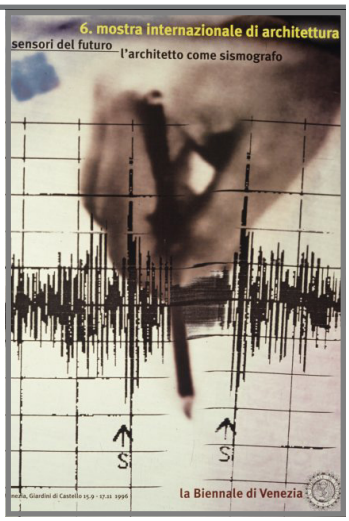


Figura 118.
Manifesto VI Biennale di Architettura di Venezia 1996 “Sensori del futuro. L’architetto come sismografo” curata da Hans Hollein, © La Biennale di Venezia - ASAC / La Biennale di Venezia, URL: https://static.labiennale.org/files/architettura/Storia/manifesti/sensori-del-futuro.jpg

La Sesta Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia viene diretta dall’architetto austriaco Hans Hollein (1934-2014) con il tema *Sensing the Future: The Architect as Seismograph*, e inaugurata il 15 settembre 1996 sotto la presidenza di Gian Luigi Rondi. Hollein, *Pritzker Prize* del 1985, figura centrale dell’architettura europea del dopoguerra con opere come la *Retti Candle Shop* di Vienna (1965-66) — boutique di soli 16 metri quadrati che gli aveva dato visibilità internazionale al primo lavoro indipendente dopo gli studi a Chicago e a Berkeley — il *Museum Abteiberg* di Mönchengladbach (1972-1982, primo grande museo costruito nella riunificazione tedesca) e il *Museum für Moderne Kunst* di Francoforte (1982-1991), costruisce una Biennale che è essa stessa una dichiarazione teorica.
Il titolo *Sensing the Future: The Architect as Seismograph* propone l’architetto non come costruttore di oggetti ma come *strumento di misurazione*, un “*sismografo*” capace di percepire le vibrazioni sotterranee delle trasformazioni culturali, tecnologiche e sociali prima che diventino visibili in superficie. Questa metafora — l’architetto come *sensore del futuro* piuttosto che come interprete del presente — è una risposta implicita alle Biennali precedenti che avevano registrato trasformazioni già in corso: Hollein rivendica per la disciplina una funzione anticipatoria, una capacità di leggere tendenze emergenti che altri osservatori non colgono ancora. Il riferimento concettuale al *sismografo* deve molto a Sigfried Giedion (*Space, Time and Architecture*, 1941) e a Lewis Mumford (*Technics and Civilization*, 1934), entrambi teorici dell’architettura come dispositivo di *rilevazione* del proprio tempo.
L’esposizione si articola attraverso installazioni multimediali, progetti visionari e sezioni tematiche che esplorano la relazione tra architettura e tecnologie digitali nascenti: realtà virtuale, modellazione parametrica, nuovi materiali computazionali, processi progettuali assistiti da computer.
Tra i contributi più significativi: i progetti immersivi di Marcos Novak (*Trans-architecture*: ambienti tridimensionali navigabili in realtà virtuale come architettura non costruita ma direttamente abitabile in forma digitale), le sperimentazioni di Greg Lynn (le prime applicazioni dell’animazione computazionale alla forma architettonica, anticipatrici del successivo *Embryological House*, Scheda 86), gli scenari urbani di Diller + Scofidio che integrano installazioni multimediali nello spazio espositivo.
Il *Padiglione tedesco* curato da Wolf Prix di Coop Himmelb(l)au presenta *Open House*, una struttura morfologicamente complessa ottenuta attraverso processi di progettazione computazionale che inaugurano la successiva *seconda svolta digitale* analizzata da Mario Carpo. Nel padiglione austriaco, Wolfgang Rang e Stephan Eberhardinger presentano *Multimedia City*, una rappresentazione di Vienna basata su ipertesti, video e simulazioni in 3D, che mostra una città leggibile attraverso strati di informazione digitale.

Bibliografia e Sitografia

Hollein, H. (a cura di). (1996). *Sensori del futuro: L’architetto come sismografo* [Catalogo VI Mostra Internazionale di Architettura]. La Biennale di Venezia / Marsilio.
Carpo, M. (2017). *The second digital turn: Design beyond intelligence*. MIT Press.
La Biennale di Venezia. (s.d.). *Architettura — Archivio Storico*. https://www.labiennale.org/it/architettura

DERRICK DE KERCKHOVE, GLOBAL VILLAGE SQUARE, CANADA, 1996

54

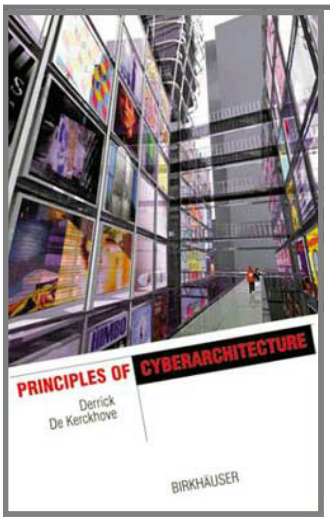


Figura 119.
Copertina del libro "The Architecture of Intelligence" di Derrick de Kerckhove, © Derrick de Kerckhove/Birkhäuser / florense.it, URL: http://www.florense.it/Architecture_Intelligence/communication_evolution/Architecture_of_Intelligence.jpg

Il *Global Village Square* viene sviluppato da Derrick de Kerckhove (Wanze, Belgio, 1944) e dal *McLuhan Program in Culture & Technology* dell'Università di Toronto nel 1996, come realizzazione sperimentale del concetto mcluhaniano di "*villaggio globale*" in forma di installazione urbana interattiva. Marshall McLuhan (1911-1980) aveva coniato l'espressione "*global village*" nel 1962 in *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man* per descrivere l'effetto contraente che i media elettronici (radio, televisione, telefonia) producono sullo spazio sociale: i tempi e i ritmi della comunicazione planetaria si avvicinano a quelli che caratterizzavano la comunità di villaggio pre-moderna, dove tutti conoscevano tutti e ogni evento era immediatamente noto. De Kerckhove, allievo diretto di McLuhan dal 1972, curatore del suo archivio e direttore del *McLuhan Program* dal 1983 al 2008, è la figura di riferimento internazionale per l'aggiornamento del pensiero mcluhaniano all'epoca delle reti digitali.
L'installazione costruisce un sistema di connettività audio-visiva tra spazi pubblici geograficamente distanti: grandi schermi ad alta risoluzione e impianti audio direzionali installati in piazze di città diverse permettono a persone fisicamente separate di vedersi, ascoltarsi e interagire in tempo reale, creando quello che de Kerckhove definisce uno "*spazio ibrido fisico-digitale*", un luogo che esiste simultaneamente in due coordinate geografiche diverse e in nessuna delle due completamente. La prima implementazione operativa del *Global Village Square* coinvolge tre città — Toronto, Tokyo e Sao Paulo — connesse via satellite con tecnologia ISDN broadband, allora all'avanguardia.
Il progetto si inserisce in un filone di sperimentazioni sulla *telepresenza urbana* che nel 1996 comprende anche iniziative simili in Europa (il *Hole-In-Space* di Kit Galloway e Sherrie Rabinowitz, ricostruzione del 1980 originale tra Lincoln Center di New York e Century City di Los Angeles), in Giappone (il *Tele-Garden* del 1995 di Ken Goldberg presso l'Università del Sud California) e attività analoghe ad ARS Electronica di Linz, ma si distingue per la solidità teorica del *framework* mcluhaniano che lo sostiene e per l'attenzione alla dimensione specificamente architettonica e urbanistica dello spazio ibrido prodotto. Il contesto intellettuale di de Kerckhove è quello della *teoria dei media di seconda generazione*: non più la domanda mcluhaniana originale ("*quali effetti produce un medium sulla percezione umana?*") ma la domanda successiva che l'avvento delle reti digitali rende urgente: "*cosa accade quando i media diventano bidirezionali, interattivi, distribuiti?*". Il volume *Connected Intelligence: The Arrival of the Web Society* (1997), pubblicato l'anno successivo al *Global Village Square*, sistematizza la risposta teorica: l'*intelligenza connessa* è una forma di cognizione collettiva distribuita tra nodi della rete, dove la somma delle interazioni produce capacità cognitive che nessun nodo possiede individualmente.

Bibliografia e Sitografia

de Kerckhove, D. (1995). *The skin of culture: Investigating the new electronic reality*. Somerville House Publishing.
de Kerckhove, D. (1997). *Connected intelligence: The arrival of the Web society*. Somerville House Publishing.
de Kerckhove, D. (2001). *The architecture of intelligence*. Birkhäuser.

55 FRANK GEHRY, GUGGENHEIM MUSEUM BILBAO, BILBAO 1997



Figura 120.
Edificio del Guggenheim Museum Bilbao di Frank Gehry, © Guggenheim Museum Bilbao / Guggenheim Bilbao, URL: https://cms.guggenheim-bilbao.eus/uploads/2019/05/el-edificio-guggenheim-bilbao-1-1024x576.jpg

Il Guggenheim Museum Bilbao viene inaugurato il 18 ottobre 1997 sul lungofiume Nervión, in una città basca che stava attraversando una crisi industriale profonda dopo il declino dei cantieri navali e dell'industria siderurgica che ne avevano costituito la spina dorsale economica per oltre un secolo. La commissione nasce nel 1991 da un'iniziativa congiunta del Governo Basco (presidente José Antonio Ardanza) e della Solomon R. Guggenheim Foundation di New York (direttore Thomas Krens), che cercavano una sede europea per l'espansione internazionale della Guggenheim Foundation. Frank Gehry (Toronto, 1929) viene selezionato attraverso un concorso a inviti tra tre studi (Gehry Partners, Coop Himmelb(l)au, Arata Isozaki) e completa il progetto di base in soli due mesi, lavorando con il proprio team di Santa Monica, California. L'edificio occupa 24.000 m² di superficie espositiva distribuiti su tre livelli attorno a un atrio centrale di 50 metri di altezza, e la sua costruzione, avviata nel 1993, è stata un'impresa ingegneristica senza precedenti nella storia dell'architettura contemporanea, condotta dall'impresa basca Ferrovial-Lauki con un budget di 100 milioni di dollari (84 milioni di euro al cambio dell'epoca).

Le 33.000 lastre di titanio dello spessore di 0,38 mm che rivestono le superfici curve dell'edificio sono un materiale aerospaziale che non era mai stato impiegato in architettura prima di allora: la scelta di Gehry nasce da una visita alla Boeing di Seattle, dove il metallo veniva usato per le fusoliere degli aerei B-2 *Stealth*, e si rivela straordinariamente efficace per le qualità ottiche che produce. La superficie iridescente muta colore con la luce, passando dall'argento all'oro al grigio perla in funzione dell'ora del giorno e delle condizioni atmosferiche, producendo un edificio che non ha mai lo stesso aspetto due volte. La fornitura del titanio (proveniente dalla Russia post-sovietica per ragioni di costo, in un periodo di forte deprezzamento del rublo) costituisce uno degli aspetti più singolari della costruzione: il *timing* economico permette a Gehry di acquistare il titanio a un terzo del prezzo di mercato occidentale, rendendo finanziariamente sostenibile una scelta materica che sarebbe altrimenti stata proibitiva.

La progettazione di queste geometrie curvilinee non-euclidee sarebbe stata letteralmente impossibile senza il software CATIA (*Computer-Aided Three-dimensional Interactive Application*), originariamente sviluppato dalla Dassault Systèmes francese per la progettazione di aeromobili militari Mirage e Rafale. Lo studio Gehry adatta il *software* alle proprie esigenze attraverso la divisione interna *Gehry Technologies*, fondata nel 2002 e venduta a Trimble nel 2014, che porterà alla diffusione delle tecnologie BIM avanzate nell'industria delle costruzioni. Ogni pannello di titanio del Guggenheim ha forma unica, con curvatura specifica, e richiede un sistema di calcolo capace di gestire superfici NURBS di complessità arbitraria: i modelli fisici scolpiti manualmente dallo studio Gehry vengono digitalizzati con uno scanner 3D Faro, convertiti in geometrie NURBS in CATIA, e infine restituiti come istruzioni di taglio numerico per le macchine CNC che sagomano le lastre. Il processo realizza una piena integrazione tra disegno manuale, modellazione digitale e fabbricazione automatizzata, anticipando il *workflow* della progettazione computazionale contemporanea.

Bibliografia e Sitografia

Gehry, F., & van Bruggen, C. (1997). *The Guggenheim Museum Bilbao*. Guggenheim Museum Publications.

LANA E LILLY WACHOWSKI, THE MATRIX, USA, 1999

56

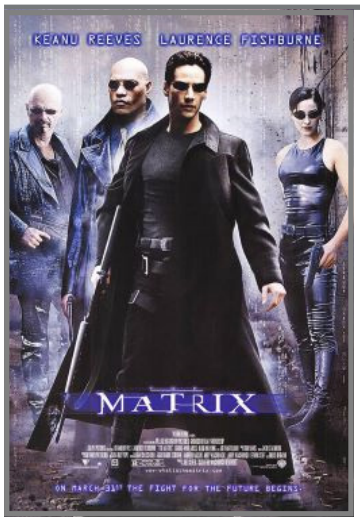


Figura 121.
Poster del film The Matrix di Lana e Lilly Wachowski, © Warner Bros. Pictures / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/d/db/The_Matrix.png

The Matrix viene prodotto dalla Village Roadshow Pictures con la Silver Pictures di Joel Silver e distribuito dalla Warner Bros. il 31 marzo 1999, con la regia delle sorelle Lana (Lawrence) e Lilly (Andrew) Wachowski (Chicago, 1965 e 1967) e un budget di 63 milioni di dollari. La produzione è stata sviluppata interamente in Australia, principalmente ai Fox Studios di Sydney, per ragioni di costo e per le competenze tecniche locali nel campo degli effetti speciali. Il direttore della fotografia Bill Pope e il *production designer* Owen Paterson costruiscono una palette cromatica rigorosa: tonalità verdi predominanti per le scene ambientate nella simulazione (richiamo deliberato al fosforo dei vecchi monitor a tubo catodico), tonalità blu acciaio per il "vero" mondo post-apocalittico al di fuori della Matrix. La tecnica del *bullet time*, sviluppata dal supervisore degli effetti visivi John Gaeta a partire da sperimentazioni dell'animatore Tim Macmillan e del fotografo Eadweard Muybridge dell'Ottocento, è una delle innovazioni cinematografiche più imitate del decennio: sequenze in cui il tempo rallenta fino all'arresto mentre la telecamera virtuale continua a muoversi, ottenute fotografando la scena da 122 macchine fotografiche fisse Canon EF disposte in arco e interpolando le immagini risultanti con computer grafica per produrre traiettorie di camera virtuali impossibili nella ripresa convenzionale.
Il film è ambientato in un futuro indefinito (una data approssimata "circa 2199") in cui l'umanità è intrappolata in una simulazione informatica chiamata Matrix, una replica fotorealistica della fine del XX secolo (anno scelto deliberatamente come "picco della civiltà umana" dal personaggio Agent Smith) generata da intelligenze artificiali senzienti per mantenere gli esseri umani in uno stato di docile inconsapevolezza. I corpi fisici degli umani vengono utilizzati come fonte di energia bioelettrica in enormi campi di coltivazione che il film visualizza in una delle sequenze più iconiche, ispirata graficamente alle illustrazioni di Geoff Darrow per la saga *Hard Boiled* (1990). Il protagonista *Neo* (Thomas A. Anderson, programmatore di giorno e *hacker* di notte, nome in codice "Neo" come anagramma di "One", interpretato da Keanu Reeves) scopre la natura illusoria della realtà che abita, "prende la pillola rossa" offerta da Morpheus (Laurence Fishburne, capo della resistenza umana), e viene estratto dalla simulazione, accedendo alla "vera" realtà: un mondo devastato dove i resti dell'umanità libera combattono le macchine dalla città sotterranea di Zion, prossima al nucleo geotermico terrestre.
La trilogia originale (*The Matrix Reloaded* e *The Matrix Revolutions*, entrambi 2003), il videogioco *Enter the Matrix* (2003), la raccolta di animazione *The Animatrix* (2003), il *reboot The Matrix Resurrections* (2021) di Lana Wachowski estendono progressivamente l'universo narrativo, confermando la durabilità di un dispositivo concettuale che pone, in forma visivamente potente, la domanda filosofica fondamentale che ogni progetto di spazio virtuale deve affrontare: quale rapporto ha la simulazione digitale con la realtà fisica?

Bibliografia e Sitografia

Wachowski, L., & Wachowski, L. (Regia). (1999). *The Matrix* [Film]. Warner Bros.
Irwin, W. (Ed.). (2002). *The Matrix and philosophy: Welcome to the desert of the real*. Open Court.
Lawrence, M. (2004). *Like a splinter in your mind: The philosophy behind the Matrix trilogy*. Blackwell.

57 MASSIMILIANO FUKSAS, BIENNALE DI ARCHITETTURA "LESS AESTHETICS, MORE ETHICS", VENEZIA, 2000



Figura 122.
Progetto installazione virtuale VII Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2000 "Less Aesthetics, More Ethics" curata da Massimiliano e Doriana Fuksas, © Studio Fuksas/La Biennale di Venezia / Studio Fuksas, URL: https://fuksas.com/wp-content/uploads/2019/04/9.jpg

La Settima Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia viene diretta da Massimiliano Fuksas (Roma, 1944) con il tema *Less Aesthetics, More Ethics*, inaugurata il 18 giugno 2000 alle Corderie dell'Arsenale e ai Giardini, primo appuntamento istituzionale del nuovo millennio per la disciplina architettonica internazionale. La direzione di Fuksas è coadiuvata dalla moglie e socia di studio Doriana O. Mandrelli, e si svolge sotto la presidenza di Paolo Baratta (insediato nel 1998, alla guida della Biennale per oltre due decenni). Fuksas, architetto romano con studio anche a Parigi e Shenzhen, già autore di opere riconosciute come la *Maison des Arts* di Bordeaux (1995), il *Niaux Cave Visitor Center* (1993), il *Centro Direzionale Etoile* a Firenze e successivamente la *Nuova Fiera di Milano* (2005) e il *Terminal di Shenzhen* (2013), costruisce una Biennale che è programmaticamente una risposta critica agli eccessi formalistici del decennio precedente, da quello che Fuksas stesso definisce "*l'architettura come spettacolo della tecnologia*" dominante nella seconda metà degli anni Novanta.
Il titolo *Less Aesthetics, More Ethics* è una dichiarazione di insoddisfazione esplicita per la traiettoria del decennio: "*meno estetica, più etica*" non è un rifiuto del digitale ma un invito a usarlo per affrontare questioni che contano, sostenibilità ambientale, equità sociale, densità urbana, impatto globale dell'architettura sulle comunità che la abitano, condizione delle popolazioni del Sud globale.
L'esposizione si articola attraverso progetti, installazioni e riflessioni teoriche che esplorano come le tecnologie digitali emergenti possano contribuire a un'architettura socialmente responsabile piuttosto che essere semplici strumenti di spettacolarizzazione formale.
Il padiglione degli Stati Uniti, curato da Aaron Betsky come "*laboratorio creativo*" per esplorare le nuove tecnologie, espone tra gli altri l'*Embryological House* (1997-2002) di Greg Lynn e il *Guggenheim Virtual Museum* (1999) degli Asymptote di Hani Rashid e Lise Anne Couture: due opere che dimostrano come l'architettura digitale possa essere al tempo stesso formalmente radicale e concettualmente rigorosa, superando la contrapposizione tra estetica ed etica che il titolo della Biennale sembrava presupporre. Il padiglione italiano, curato da Pippo Ciorra, presenta progetti di Mario Cucinella, Cino Zucchi, Studio Archea e altri esponenti dell'architettura italiana orientata alla sostenibilità ambientale.
Il padiglione spagnolo presenta i lavori di Enric Miralles e Benedetta Tagliabue per il Parlamento Scozzese a Edimburgo, esempio paradigmatico di architettura che integra forma sperimentale e responsabilità democratica.
Tra i progetti ad alta densità tecnologica, l'installazione *Internet Architecture* di Marcos Novak presenta forme architettoniche generate algoritmicamente da dati di traffico Internet in tempo reale, mentre *Trans-architectures* presenta una panoramica dello stato della ricerca sull'architettura virtuale a fine millennio.

Bibliografia e Sitografia

Fuksas, M. (a cura di). (2000). *Less aesthetics, more ethics: Catalogo della VII Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.
La Biennale di Venezia. (s.d.). *Architettura — Archivio Storico*. https://www.labiennale.org/it/architettura

DILLER SCOFIDIO + RENFRO, BLUR BUILDING, YVERDON-LES-BAINS, SVIZZERA, 2002

58



Figura 123.
Blur Building di Diller Scofidio + Renfro, © Diller Scofidio + Renfro / Diller Scofidio + Renfro, URL: https://cdn.sanity.io/images/q2tdbkqz/production/fed9048b7a-88b84e096a3362780a-9da4f13b6abd-6210x4046.jpg?w=2000&fit=max&q=90

Il *Blur Building* viene realizzato da Elizabeth Diller (Łódź, Polonia, 1954), Ricardo Scofidio (New York, 1935-2024) e Charles Renfro (Houston, 1964) come padiglione temporaneo per l'*Expo.02 Swiss National Exposition* sul Lago di Neuchâtel a Yverdon-les-Bains, smantellato al termine dell'esposizione nell'ottobre 2002. Il progetto vince il concorso indetto dalla *Expo.02* nel 1998 contro proposte di studi internazionali, e segna l'affermazione internazionale dello studio Diller + Scofidio (a cui Charles Renfro si associa formalmente nel 2004, modificando la denominazione in Diller Scofidio + Renfro) come *practice* in grado di produrre opere fisiche dopo due decenni dedicati prevalentemente a installazioni d'arte concettuale, performance e progetti teorici (*The American Lawn* 1998, *Tourisms: suitCase Studies* 1991).
La struttura portante è un telaio *tensegrity* (termine coniato da R. Buckminster Fuller nel 1949 per descrivere sistemi strutturali in cui elementi compressi sono sospesi in un campo continuo di trazione) di 91 × 61 × 23 metri, ispirato direttamente ai principi delle cupole geodetiche di Fuller, poggiante su quattro pilastri inclinati che lo aggettano sul lago attraverso un sistema di puntoni rettilinei e aste diagonali. Lo schema strutturale è progettato dall'ingegneria di Ove Arup & Partners di New York, partner dello studio Diller dai primi anni Novanta. Il telaio non è concepito come edificio nel senso convenzionale, ma come *infrastruttura per la produzione di nebbia*: 35.000 ugelli ad alta pressione, distribuiti uniformemente sull'intera struttura, nebulizzano acqua filtrata pompata direttamente dal lago a una pressione di 80 bar, generando una nuvola artificiale densa e persistente che avvolge completamente la struttura e i visitatori che vi si avventurano. La portata totale del sistema è di circa 4.500 litri d'acqua al minuto, restituita al lago dopo essersi condensata.
Il sistema è governato da uno *smart weather system* sviluppato dalla società ingegneristica newyorkese Cricursa che monitora in tempo reale temperatura ambiente, umidità relativa, velocità e direzione del vento attraverso una rete di sensori meteorologici, regolando automaticamente la pressione e l'attivazione selettiva degli ugelli per mantenere la nuvola in condizioni ottimali indipendentemente dalle variazioni atmosferiche. È un sistema di controllo computazionale che trasforma l'edificio in un organismo responsivo, capace di adattare il proprio comportamento al contesto ambientale esattamente come la *Tower of Winds* di Toyo Ito (1986, Scheda 47) aveva fatto sedici anni prima con i propri pattern luminosi, ma con un grado di sofisticazione decisamente superiore.
Diller e Scofidio definiscono il progetto "*the making of nothing*", formula paradossale che cattura con precisione la logica dell'opera: un edificio che esiste solo come effetto atmosferico, senza forma stabile, senza involucro, senza interno distinguibile dall'esterno. Se lo spazio architettonico tradizionale è definito da superfici solide che delimitano un interno dall'esterno, il *Blur* abolisce questa distinzione: la nuvola non ha interno, non ha esterno, non ha confini stabili, non ha geometria misurabile. nze percettive complesse.

Bibliografia e Sitografia

Diller, E., & Scofidio, R. (2002). *Blur: The making of nothing*. Harry N. Abrams.
Diller Scofidio + Renfro. (s.d.). *Blur Building*. https://dsrny.com/project/blur-building

59 RICHARD BURDETT, BIENNALE DI VENEZIA "CITIES, ARCHITECTURE AND SOCIETY", VENEZIA, 2006

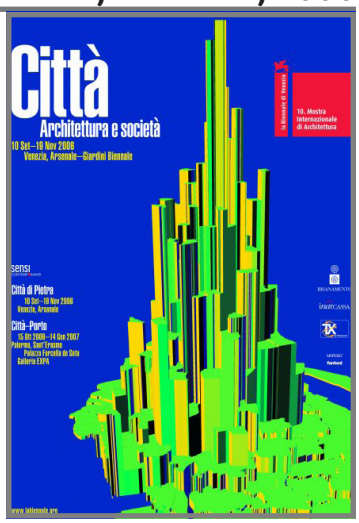


Figura 124.
Manifesto 10ª Mostra Internazionale di Architettura di Venezia 2006 "Cities, Architecture and Society" curata da Richard Burdett, © La Biennale di Venezia - ASAC / La Biennale di Venezia, URL: https://static.labiennale.org/files/architettura/Storia/manifesti/citta-architettura-societa.jpg

La Decima Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia viene diretta da Richard Burdett (Londra, 1956), professore di *Urban Studies* alla London School of Economics e direttore del *Urban Age Programme*, con il tema *Cities, Architecture and Society*, inaugurata il 10 settembre 2006 sotto la presidenza di Davide Croff. Burdett, già *Chief Adviser on Architecture and Urbanism* per il Mayor of London Ken Livingstone (2001-2006) e *strategic advisor* per le Olimpiadi di Londra 2012, costruisce una Biennale radicalmente diversa da quelle precedenti nel metodo e nell'oggetto: non progetti di architetti singoli, non manifesti teorici, non installazioni spaziali — ma dati.
L'esposizione presenta analisi empiriche comparative di sedici grandi metropoli globali (Città del Messico, Mumbai, Tokyo, New York, Shanghai, Lagos, San Paolo, Istanbul, Johannesburg, Berlino, Londra, Los Angeles, Milano, Bogotà, Cairo, Mosca) attraverso cartografie elaborate dallo studio di urban data Tomato GTW, diagrammi statistici, sezioni territoriali, infografiche che documentano densità demografica, crescita urbana, segregazione spaziale, distribuzione del reddito, accessibilità ai servizi pubblici, footprint ambientale, quote di abitazione informale (le *favelas* di San Paolo, le *barriadas* di Mumbai, gli *slum* di Lagos).
Il contesto della Biennale del 2006 è quello del *millennium urban turning point*: per la prima volta nella storia umana, attorno al 2007, la maggioranza della popolazione mondiale vive in città anziché in aree rurali, soglia simbolica documentata dal *World Urbanization Prospects* dell'ONU. Burdett organizza l'esposizione attorno a questo dato, mostrando come le forme dell'urbanizzazione contemporanea siano radicalmente diverse da quelle che hanno caratterizzato l'urbanizzazione europea dell'Ottocento e dei primi decenni del Novecento: città di crescita esponenziale (Lagos passa da 200.000 abitanti nel 1950 a oltre 14 milioni nel 2006), insediamenti informali che ospitano oltre un miliardo di persone globalmente, conurbazioni transnazionali (Pearl River Delta in Cina, Tokyo-Yokohama in Giappone) di scala senza precedenti.
La Biennale del 2006 introduce nel dibattito architettonico istituzionale il *paradigma della città globale* come oggetto specifico di indagine disciplinare, distinto sia dall'architettura come oggetto progettuale sia dall'urbanistica come pianificazione tradizionale. Questa apertura ha conseguenze durature sulle Biennali successive: *Out There: Architecture Beyond Building* di Aaron Betsky (2008), *Common Ground* di David Chipperfield (2012, che riprende esplicitamente la dimensione collettiva della Biennale Burdett), *Fundamentals* di Rem Koolhaas (2014, riflessione sul *codice* dell'architettura globale), *Reporting from the Front* di Alejandro Aravena (2016, focus sull'architettura per le emergenze sociali e i contesti di estrema povertà), *How Will We Live Together?* di Hashim Sarkis (2021, riflessione sulla coabitazione planetaria post-pandemica), *The Laboratory of the Future* di Lesley Lokko (2023, focus sull'Africa come laboratorio del futuro globale) tutte mantengono l'attenzione alla dimensione sociale e collettiva inaugurata nel 2006 da Burdett.

Bibliografia e Sitografia

Burdett, R. (a cura di). (2006). *Cities, architecture and society: 10. Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.
Burdett, R., & Sudjic, D. (Eds.). (2007). *The endless city*. Phaidon.

JAMES CAMERON, AVATAR, USA, 2009

60



Figura 125.
Poster del film Avatar di James Cameron, © 20th Century Fox / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Avatar_%282009_film%29#/media/File:Avatar_(2009_film)_poster.jpg

Avatar viene diretto da James Cameron (Kapuskasing, Ontario, 1954) e distribuito il 18 dicembre 2009 da 20th Century Fox in coproduzione con la sua società *Lightstorm Entertainment*, con un budget di produzione di 237 milioni di dollari e ulteriori 150 milioni di marketing — investimento che riflette la portata dell'innovazione tecnologica che il film introduce. Cameron, già regista di *Terminator 2* (1991), *Titanic* (1997) e *Aliens* (1986), sviluppa il progetto nell'arco di quattordici anni a partire da uno *script* preliminare di ottanta pagine intitolato *Project 880* del 1995, attendendo che le tecnologie di ripresa e *rendering* raggiungessero il livello necessario per realizzare la propria visione: un pianeta alieno fotorealistico (Pandora, satellite del gigante gassoso Polyphemus orbitante attorno alla stella Alpha Centauri A) navigabile come ambiente cinematografico continuo, abitato dai *Na'vi*, alti tre metri e dalla pelle blu, in un ecosistema in cui la *Pandoran neural network* connette tutte le forme di vita.
Il film introduce due innovazioni tecnologiche decisive. Il sistema di *performance capture* facciale sviluppato appositamente per *Avatar* dalla Weta Digital di Peter Jackson in Nuova Zelanda — denominato *Image Based Facial Performance Capture* o "*head rig*" — supera le tecnologie precedenti (limitate alla cattura del corpo, come in *Polar Express* del 2004) catturando contemporaneamente i movimenti del corpo e le micro-espressioni del volto attraverso una piccola telecamera HD montata su un caschetto indossato dagli attori a 5 cm dal viso, con una risoluzione sufficiente a produrre personaggi digitali con una credibilità emotiva mai raggiunta prima. La *simulcam*, fotocamera virtuale che Cameron progetta con Vince Pace e usa direttamente sul set per vedere in tempo reale come gli attori umani si integrano negli ambienti digitali di Pandora, trasforma la regia di un film in larga parte digitale in un'esperienza comparabile alla regia tradizionale, permettendo inquadrature intuitive in ambienti che non esistono fisicamente. Il risultato tecnico è un ecosistema digitale di straordinaria coerenza, prodotto da un team di oltre 900 artisti digitali coordinati per cinque anni, che impiega 4.000 server e oltre 40.000 processori per il *rendering* finale (un *frame* richiede in media 47 ore di calcolo), generando un *footage* totale di 1 *petabyte* di dati.
Il successo di *Avatar* riapre la stagione del cinema in 3D stereoscopico, che produce nei tre anni successivi (2010-2013) oltre il 30% dei *blockbuster* hollywoodiani in formato 3D, prima del progressivo esaurirsi della richiesta del pubblico.
La parola *avatar*, derivata dal sanscrito *avatāra* ("discesa di una divinità nel mondo fisico in forma corporea", concetto centrale nell'induismo per le manifestazioni terrene di Visnù), già adottata nel 1985 dal romanzo *True Names* di Vernor Vinge, nel 1986 dal videogioco *Habitat* di Lucasfilm Games (prima implementazione in mondo virtuale grafico), e nel 1992 da *Snow Crash* di Stephenson (Scheda 49) come termine tecnico per la rappresentazione digitale del sé nei mondi virtuali, acquista con il film di Cameron una diffusione culturale di massa che nessun testo aveva raggiunto.

Bibliografia e Sitografia

Cameron, J. (Regia). (2009). *Avatar* [Film]. 20th Century Fox / Lightstorm Entertainment.
Duncan, J., & Fitzpatrick, L. (2010). *The making of Avatar*. Abrams.

61 EXPO 2010 SHANGHAI, "BETTER CITY, BETTER LIFE", SHANGHAI, CINA, 2010

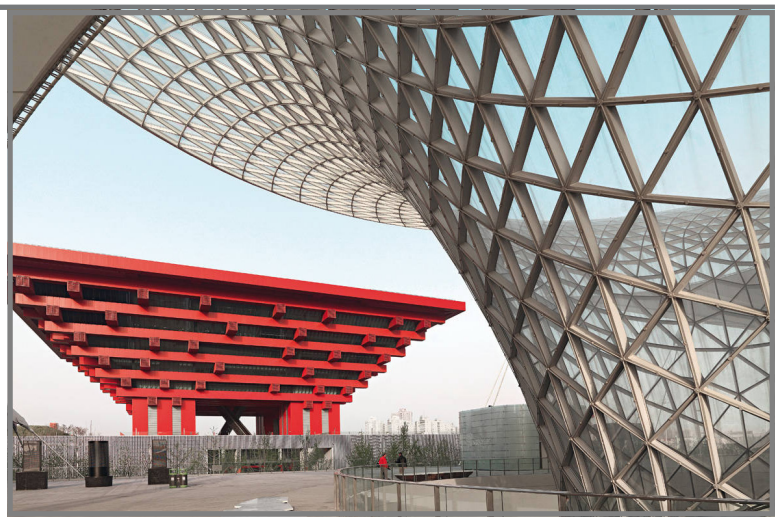


Figura 126.
EXPO 2010 Shanghai - "Better City, Better Life", © Bureau of Shanghai World Expo Coordination / Tecniche Nuove - Area-Arch, URL: https://static.tecnichenuove.it/areaarch/2016/02/3-5.jpg

L'Esposizione Universale di Shanghai 2010 si svolge dal 1° maggio al 31 ottobre 2010 lungo le rive del fiume Huangpu, su un'area di 5,28 km² che include entrambe le sponde del fiume in una delle operazioni di trasformazione urbana temporanea più imponenti della storia delle esposizioni universali. Con 246 paesi e organizzazioni partecipanti e 73,08 milioni di visitatori (record assoluto nella storia delle Expo, oltre il 95% di provenienza cinese), Shanghai 2010 è la prima Esposizione Universale interamente dedicata al tema urbano: "*Better City, Better Life*" non è uno *slogan* generico ma una dichiarazione programmatica che riconosce nella città il problema centrale del XXI secolo. Il commissariato BIE dell'Expo è guidato dal Vice Sindaco di Shanghai Hu Wei e dal direttore generale Zhou Hanmin, con un budget complessivo di circa 4,2 miliardi di dollari (oltre 50 miliardi se si conteggiano anche gli investimenti infrastrutturali per metropolitana, lungofiume e collegamenti aeroportuali realizzati in vista dell'evento).
L'architettura dei padiglioni di Shanghai Expo 2010 costituisce un catalogo straordinario delle sperimentazioni digitali e computazionali dell'epoca. Tra le opere più significative: il UK *Pavilion* "*Seed Cathedral*" di Heatherwick Studio — struttura cubica avvolta da 60.000 aste di acrilico trasparente lunghe 7,5 metri, ognuna contenente un seme della collezione del Royal Botanic Gardens di Kew — vincitore del RIBA *Lubetkin Prize* 2011 e premiato come miglior padiglione dell'Expo. Il *Spain Pavilion* di Benedetta Tagliabue/EMBT, struttura a vimini intrecciato che riprende la tradizione della cesteria spagnola con tecniche artigianali contemporanee. Il *Denmark Pavilion* di Bjarke Ingels Group (BIG), una rampa elicoidale che ospita la Sirenetta originale di Edvard Eriksen prestata da Copenhagen.
Shanghai Expo 2010 è rilevante su un piano che riguarda direttamente il rapporto tra spazio espositivo fisico e spazio digitale. Per la prima volta nella storia delle esposizioni universali, l'Expo di Shanghai sviluppa una presenza digitale parallela di grande ambizione: l'*Online Expo* (en.expo.cn, attivo dal 1° maggio 2010), accessibile online a 70 milioni di utenti, permette a chi non può fisicamente raggiungere Shanghai di visitare versioni digitali dei padiglioni nazionali ricostruite in 3D, navigare contenuti multimediali, interagire con rappresentanze virtuali dei paesi partecipanti. Il progetto, sviluppato dalla società cinese Network 365 con tecnologia Unity 3D (Scheda 22), include 95 padiglioni virtuali, oltre 100 contenuti multimediali interattivi e una community di oltre 4 milioni di utenti registrati. Questa esperienza, tecnicamente limitata rispetto agli standard successivi (interfaccia *desktop-only*, modelli 3D semplificati, *latency* significativa) ma concettualmente pionieristica, pone per la prima volta a scala istituzionale globale la domanda sul ruolo dell'esposizione digitale come complementare all'esposizione fisica, e anticipa di un decennio le pratiche dei *digital twin* delle grandi manifestazioni culturali contemporanee (la Biennale di Venezia del 2020, sospesa per pandemia, sviluppa una versione virtuale parziale; Expo 2020 Dubai integra esperienze AR; Expo 2025 Osaka pianifica un *Virtual Expo* parallelo a tutta la durata dell'evento).

Bibliografia e Sitografia

BIE — Bureau International des Expositions. (2012). *Expo 2010 Shanghai China: Official report*. BIE.
BIE. (s.d.). *Expo 2010 Shanghai*. https://www.bie-paris.org/site/en/expos/past-expos/expo-2010-shanghai

ERNEST CLINE, READY PLAYER ONE, USA, 2011





Figura 127.
Copertina del libro Ready Player One di Ernest Cline, © Ernest Cline/ Sperling & Kupfer / IBS, URL: https://www.ibs.it/images/

Figura 128.
Locandina del film Ready Player One di Steven Spielberg, © Warner Bros. Pictures / MyMovies, URL: https://pad.mymovies.it/filmclub/2016/02/086/locandina.jpg

Ready Player One viene pubblicato dalla Crown Publishers (gruppo Penguin Random House) il 16 agosto 2011, romanzo d'esordio di Ernest Cline (Ashland, Ohio, 1972), sceneggiatore (*Fanboys*, 2009) e appassionato di cultura *pop* degli anni Ottanta, che diventa immediatamente *bestseller* internazionale (più di 4 milioni di copie vendute al 2018), tradotto in oltre 50 lingue e adattato cinematograficamente da Steven Spielberg nel marzo 2018 con un budget di 175 milioni di dollari e incassi mondiali di 583 milioni. Il romanzo nasce come progetto seriale di Cline durato sei anni, inizialmente concepito come sceneggiatura cinematografica e successivamente convertito in romanzo dopo che gli studi cinematografici lo avevano respinto come "*impossibile da produrre*" per la complessità dei diritti di proprietà intellettuale necessari (riferimenti a centinaia di opere protette di videogiochi, film, musica e fumetti degli anni Ottanta).
Il romanzo è ambientato nel 2045 in un mondo devastato da crisi energetiche, ambientali ed economiche sovrapposte: le città sono conglomerate di roulotte impilate verticalmente (le "*Stacks*" di Columbus, Ohio, dove vive il protagonista), le risorse si esauriscono progressivamente, la coesione sociale si è frammentata in una nuova era feudale dominata dalle megacorporazioni. In questo contesto di collasso della realtà fisica, l'umanità ha trovato rifugio in OASIS (acronimo di *Ontologically Anthropocentric Sensory Immersive Simulation*), un metaverso dove miliardi di persone trascorrono la maggior parte del proprio tempo sveglio: non solo per svago ma per lavorare, studiare a scuola, fare acquisti, costruire relazioni sociali, gestire transazioni economiche con la criptovaluta interna OASIS *Credits*. OASIS è accessibile attraverso visori e guanti aptici che coinvolgono la totalità dell'esperienza sensoriale, ed è strutturato come universo di migliaia di pianeti virtuali, ciascuno con proprie regole fisiche, estetiche e narrative.
Alla morte del fondatore James Halliday (genio eccentrico ossessionato dalla cultura *pop* degli anni Ottanta, descritto da Cline come una sintesi tra Steve Wozniak, Howard Hughes e Adventure Time's Pendleton Ward), OASIS diventa oggetto di una caccia al tesoro globale: chi troverà i tre *Easter egg* nascosti da Halliday nei meandri del metaverso erediterà il controllo dell'intera piattaforma e una fortuna stimata in 240 miliardi di dollari. Il protagonista Wade Watts (online: "*Parzival*"), adolescente diciottenne povero che vive in una pila di roulotte a Columbus, Ohio, è uno dei milioni di "*gunter*" (egg hunter) che dedicano la propria esistenza alla ricerca, competendo contro la IOI (*Innovative Online Industries*), megacorporazione che vuole privatizzare e monetizzare OASIS eliminandone la natura aperta e democratica, attraverso il proprio reparto "*Sixers*" di cacciatori di uova al servizio della corporation.
Il romanzo riprende la visione di *Snow Crash* (Scheda 49), il metaverso come infrastruttura sociale totale, e la rende accessibile a un pubblico *mainstream*, contribuendo a popolarizzare l'idea di metaverso.

Bibliografia e Sitografia

Cline, E. (2011). *Ready player one*. Crown Publishers.
Cline, E. (2020). *Ready player two*. Ballantine Books.
Spielberg, S. (Regia). (2018). *Ready Player One* [Film]. Warner Bros. Pictures / Amblin Entertainment.

63 REFIK ANADOL STUDIO, WDCH DREAMS, LOS ANGELES, USA, 2018



Figura 129.
Installazione WDCH Dreams di Refik Anadol, © Refik Anadol Studio / Refik Anadol Studio, URL: https://refikanadolstudio.com/wp-content/uploads/wdch-dreams/Stills.050-2880x1620-1-2880x1620.jpeg

WDCH Dreams viene realizzato da Refik Anadol Studio (Istanbul/Los Angeles) in collaborazione con il *Google Artists & Machine Intelligence Program* (con il ricercatore Parag K. Mital) per il centenario della Los Angeles Philharmonic, inaugurato il 28 settembre 2018 sulla facciata del Walt Disney Concert Hall, l'edificio di Frank Gehry completato nel 2003 (Bunker Hill, Downtown Los Angeles). Le superfici di acciaio inossidabile lucidato dell'edificio Gehry — costituite da 12.500 pannelli singolarmente sagomati attraverso modellazione CATIA — riflettono il cielo di *downtown* Los Angeles come uno specchio organico in continua mutazione: caratteristica materica che Anadol sceglie di sfruttare e radicalizzare, trasformando la riflessione naturale dell'edificio in proiezione algoritmica. La proiezione utilizza 42 proiettori 4K *Barco* con potenza luminosa di 26.000 *lumen* ciascuno, distribuiti attorno alla piazza dell'edificio, sincronizzati con tecnologia *NDI* per coprire una superficie di proiezione totale di 15.000 m² sulla facciata curva.
Il progetto processa 45 terabyte di archivi digitali della LA Phil: 587.763 immagini, 1.880 video, 1.483 file di metadati e 17.773 registrazioni audio corrispondenti a 40.000 ore di musica da 16.471 concerti accumulati nel corso di un secolo di attività dell'orchestra (fondata nel 1919). Questi dati vengono *parsati* in milioni di punti vettoriali categorizzati da reti neurali profonde — principalmente *t-SNE* (*t-distributed Stochastic Neighbor Embedding*) per la riduzione dimensionale e *Deep Convolutional Neural Networks* per la classificazione semantica delle immagini — che apprendono i *pattern* estetici, emotivi e storici dell'istituzione (connessioni tra repertori musicali, stagioni storiche, direttori d'orchestra come Carlo Maria Giulini, Esa-Pekka Salonen e Gustavo Dudamel, solisti, programmi) e li traducono in visualizzazioni generative proiettate sulla facciata curva dell'edificio. Il *sound design*, curato da Robert Thomas e Kerim Karaoglu con tecniche di *machine learning* per identificare analogie timbriche e strutturali attraverso un secolo di registrazioni, produce un paesaggio sonoro che accompagna le visualizzazioni con la stessa logica associativa con cui le reti neurali connettono le immagini.
Il risultato, proiettato per otto sere consecutive (dal 28 settembre al 6 ottobre 2018) in un'installazione *site-specific* richiamando oltre 70.000 spettatori nel cuore di Los Angeles, realizza letteralmente la dichiarazione con cui Gehry aveva descritto la propria ambizione per l'edificio: "*that the beauty of the music made within the walls would somehow be reflected on the outside*" (intervista di Gehry a *The New York Times*, 24 ottobre 2003). Il progetto è uno dei primi grandi *case study* di AI-generated public art su scala monumentale, che inaugura un filone applicativo di rilevanza crescente nei decenni successivi. Refik Anadol (Istanbul, 1985) — artista e ricercatore turco-americano, fondatore del *Refik Anadol Studio* a Los Angeles nel 2014, *Visiting Researcher* presso *Google* AMI dal 2016 e docente al UCLA *Department of Design Media Arts* dal 2014 — costruisce con *WDCH Dreams* la sintesi più compiuta della propria poetica precedente: la trasformazione di archivi di dati istituzionali in esperienze immersive attraverso algoritmi di *machine learning* che "sognano" la memoria collettiva delle istituzioni che li producono.

Bibliografia e Sitografia

Anadol, R. (2018). *WDCH Dreams*. Refik Anadol Studio. https://refikanadol.com/works/wdch-dreams

SNØHETTA, UNDER, LINDESNES, NORVEGIA, 2019

64



Figura 130.
Esterno di Under di Snøhetta, © Snøhetta / Domus, URL: https://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/en/architecture/gallery/2019/03/20/snohetta-underwater-restaurant/domus-snohetta-underewater-restaurant22.jpg

Under viene completato dallo studio norvegese Snøhetta (fondato a Oslo nel 1989 da Craig Dykers e Kjetil Trædal Thorsen, con sedi attualmente a Oslo, New York, San Francisco, Innsbruck, Hong Kong, Adelaide, Stoccolma) e inaugurato il 20 marzo 2019 a Båly, promontorio di Lindesnes che costituisce il punto più meridionale della costa norvegese (a circa 290 km a sud-ovest di Oslo), luogo di incontro tra correnti atlantiche e acque del Mare del Nord, dove la compresenza di acque saline e salmastre genera una biodiversità marina eccezionale (oltre 80 specie di pesci e molluschi documentate dalle università partecipanti al programma di ricerca *Coastal Marine Research*). Il committente è la famiglia Stig e Gaute Ubostad, imprenditori locali che gestiscono altre strutture turistiche nella regione, e il budget di costruzione è di circa 6 milioni di euro.
L'edificio di 495 m² è un monolite di calcestruzzo di 34 metri di lunghezza che emerge parzialmente dalla scogliera costiera per inclinarsi gradualmente con un angolo di 35° fino a posarsi sul fondale a cinque metri sotto la superficie del mare. La forma — che Snøhetta descrive come un "*oggetto naufragato*" — viene costruita sulla terraferma a circa 200 metri dal sito definitivo in un cantiere allestito appositamente, poi trasportata via mare e affondata nel giugno 2018 in un'operazione di ingegneria navale che richiede sei mesi di preparazione e l'impiego di pontoni galleggianti. Le pareti in calcestruzzo di 0,5 metri di spessore sono progettate dall'ingegneria di AF Gruppen in collaborazione con Asplan Viak per resistere alla pressione dell'acqua (1,5 *bar* a 5 metri di profondità), alle correnti che possono raggiungere i 3 nodi durante le tempeste, e alle ondate che periodicamente investono la costa norvegese. Il fulcro spaziale dell'edificio è la finestra panoramica acrilica di 11 × 3,4 metri (37,4 m²) che occupa l'intera parete frontale della sala ristorante: un "*occhio*" che affaccia direttamente sul fondale marino, offrendo ai cinquanta commensali della sala una vista che muta in funzione della luce naturale (l'illuminazione dell'ambiente è regolata in continuo da fototropi automatici per mantenere costante il contrasto con l'esterno), delle stagioni, della vita marina che colonizza progressivamente la superficie esterna del cemento — ostriche, alghe, anemoni, ricci di mare — trasformando l'edificio in un habitat artificiale integrato nell'ecosistema. Le pareti del calcestruzzo, lasciate intenzionalmente con superficie ruvida (*shotcrete* applicato a spruzzo) per favorire la colonizzazione da parte degli organismi marini, costituiscono una "*barriera corallina artificiale*" monitorata scientificamente dall'Università di Bergen e dal *Norwegian Institute of Marine Research*. Il nome è scelto deliberatamente per il suo doppio significato in norvegese: *under* come "*sotto*" e come "*meraviglia*", una dualità semantica che sintetizza la doppia ambizione del progetto.
Il progetto non separa l'interno dall'esterno e non si limita a costruire una scatola stagna che protegge i visitatori dall'ambiente acquatico, ma progetta la relazione tra i due ambienti come l'esperienza centrale: la sala da pranzo non è un rifugio dall'oceano ma un dispositivo per osservarlo, immergersi percettivamente in esso pur rimanendo fisicamente separati, l'architettura si configura come *soglia* piuttosto che come *barriera*, come *membrana permeabile* piuttosto che come involucro chiuso.

Bibliografia e Sitografia

Snøhetta. (s.d.). *Snøhetta*. https://snohetta.com/
ArchDaily. (2019). *Under / Snøhetta*. https://www.archdaily.com/913575/under-snohetta

65 REFIK ANADOL STUDIO, MACHINE HALLUCINATION / UNSUPERVISED, USA, 2019



Figura 131.
Installazione Unsupervised Machine Hallucinations al MoMA di Refik Anadol, © Refik Anadol Studio / Refik Anadol Studio, URL: https://refikanadolstudio.com/wp-content/uploads/unsupervised-machine-hallucinations-moma/Unsupervised-Documentation-37-2880x1519.jpg

Machine Hallucination viene inaugurato all'ARTECHOUSE di New York il 6 settembre 2019 come installazione immersiva a 360° che elabora oltre 100 milioni di fotografie di New York City raccolte da archivi pubblici (Library of Congress, NYC Department of Records, Reuters, AP) attraverso reti GAN (*Generative Adversarial Networks*) organizzate in 1.025 dimensioni latenti: pareti, pavimento e soffitto dello spazio espositivo (1.500 m² complessivi) diventano superfici di proiezione su cui si dispiegano architetture oniriche generate dall'algoritmo, forme che oscillano tra il riconoscibile (la griglia di Manhattan, le torri di Midtown, i ponti sull'Hudson) e l'astratto, in una trasformazione continua che non si ripete mai esattamente in nessuna delle 30 minuti di durata della *loop* visiva.
Il progetto si evolve nel corso di tre anni attraverso versioni successive — *Machine Hallucination: NYC* (2019), *Machine Hallucinations: Nature* (Galerie King's Leap, NY, 2020), *Machine Hallucinations: Space* (Christie's, NY, 2021, prima vendita NFT di Anadol per 5,18 milioni di dollari), *Machine Hallucinations: Architecture* (Pace Gallery, 2021), *Machine Hallucinations: Mars* (2022) — prima di trovare la propria forma più compiuta in Unsupervised, installato al Museum of Modern Art di New York dal 19 novembre 2022 al 5 marzo 2023, e successivamente acquisito dalla collezione permanente del museo nel marzo 2023, prima opera di intelligenza artificiale a entrare nella collezione di un museo di rilevanza internazionale di questo livello. La curatela del progetto al MoMA è di Michelle Kuo (*The Marlene Hess Curator of Painting and Sculpture*) e Paola Antonelli (*Senior Curator of Architecture and Design*), che ne riconoscono il valore di pionierismo museografico.
Unsupervised processa 138.151 immagini dell'archivio storico del MoMA (opere che attraversano duecento anni di arte moderna, dal 1880 al 2020, dalla pittura impressionista alle installazioni digitali contemporanee) attraverso StyleGAN2-ADA sviluppato da NVIDIA con *Adaptive Discriminator Augmentation* — una tecnica introdotta da Tero Karras e colleghi nel 2020 che permette l'addestramento di reti generative su *dataset* relativamente piccoli (decine di migliaia anziché milioni di immagini) mantenendo alta qualità degli *output*, abbattendo il rischio di *overfitting* tipico dei modelli generativi addestrati su collezioni museali. L'addestramento del modello richiede oltre 4 settimane su un *cluster* di 16 GPU NVIDIA A100, con un consumo energetico documentato di circa 4.300 kWh, dato che Anadol pubblica volontariamente come parte di una politica di trasparenza ambientale dell'arte AI.
Il progetto si articola in tre componenti interconnesse. L'installazione principale nel grande atrio del MoMA, dove una superficie LED di 24 × 8 metri (*Samsung The Wall*, risoluzione 8K) genera in tempo reale visualizzazioni che "*allucinano*" tracce di opere irrealizzate e connessioni invisibili tra i duecento anni di collezione, modulate in tempo reale da sensori ambientali (luce, temperatura, traffico pedonale, condizioni meteo di Manhattan acquisite da OpenWeatherMap API). *Generative Study I* è una serie di *data paintings* algoritmici che esplorano sequenze nello spazio latente tra un'opera e l'altra, prodotti come stampe a edizione limitata. *Fluid Dreams* è un algoritmo di *fluid dynamics* che "*sogna*" infinitamente l'archivio sintetizzando i dati in pigmenti eterei in continua trasformazione.

Bibliografia e Sitografia

Refik Anadol Studio. (s.d.). *Unsupervised — Machine Hallucinations: MoMA*. https://refikanadol.com/works/unsupervised-machine-hallucinations-moma

IAN CHENG, LIFE AFTER BOB, USA, 2020

66

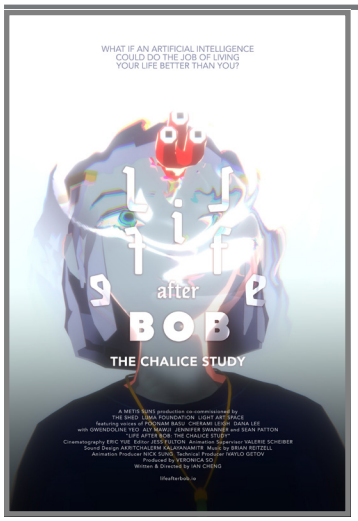


Figura 132.
Immagine da Life After BOB di Ian Cheng, © Ian Cheng / Amazon, URL: https://m.media-amazon.com/images/M/MV5BZDljOWYwM-zUtNGUyYi00ZTY2LT-liZTQtOWYyMD-VhYjU0NjhhXkEyXkFqc-Gc@._V1_.jpg

Life After BOB: The Chalice Study viene sviluppato da Ian Cheng (Los Angeles, 1984) — artista americano formatosi alla *UC Berkeley* in *Cognitive Science* (BA 2006) e alla *Columbia University* in *MFA Visual Arts* (2009), con un'esperienza professionale precedente come *visual effects artist* presso Industrial Light & Magic (Lucasfilm) per il film *Avatar* di James Cameron (Scheda 60) — e pubblicato a partire dal 2020 come progetto transmediale che attraversa simultaneamente: una installazione video della durata di 49 minuti presentata in prima mondiale alle Gladstone Gallery di New York (gennaio 2021), successivamente alle Light Art Space LAS di Berlino (2021), alle Pilar Corrias Gallery di Londra (2021), alle Shed Gallery di New York (2022); un libro d'artista (*BOB: A Chalice Study*, Metasim Inc. / Koenig Books, 2021); un'applicazione mobile iOS rilasciata nel marzo 2022 che permette interazioni dirette con l'agente. È la prima volta che un'opera d'arte contemporanea si distribuisce simultaneamente su tre canali profondamente integrati, con la stessa entità artificiale (BOB) che agisce in modo coerente su tutti.
Cheng aveva costruito la propria reputazione internazionale con la trilogia *Emissaries* (*Emissary in the Squat of Gods*, 2015; *Emissary Forks at Perfection*, 2015-2016; *Emissary Sunsets the Self*, 2017), tre simulazioni in tempo reale su schermo LCD che generavano narrative emergenti attraverso *agenti software* dotati di sistemi di credenze, pulsioni e memorie, evolvendo in modo imprevedibile a ogni esecuzione (Cheng le definisce esplicitamente "*video games that play themselves*"). Le *Emissaries* erano osservabili come un acquario digitale in cui lo spettatore guardava dall'esterno senza possibilità di intervento. *Life After BOB* introduce una differenza strutturale decisiva: è partecipabile. L'app iOS permette all'utente di interagire direttamente con BOB, di costruire la relazione nel tempo, di investire emotivamente nell'entità digitale, trasformando l'esperienza da osservazione estetica a coinvolgimento esistenziale.
Il nucleo del progetto è BOB (acronimo di *Bag of Beliefs*, dal nome che Cheng aveva dato al sistema di credenze degli agenti delle *Emissaries*), un'intelligenza artificiale personale concepita come "*assistente esistenziale*". Non un assistente produttivo che ottimizza calendari e gestisce *email* (la categoria *productivity AI* tipica degli *assistant* commerciali), ma un sistema che conosce i valori, le credenze, le paure e le aspirazioni dell'utente e li aiuta a navigare decisioni complesse della vita — relazioni, carriera, identità — offrendo consigli calibrati sul proprio modello interno della personalità dell'utente. BOB apprende continuamente dall'interazione, aggiornando il proprio "*sacco di credenze*" in risposta alle scelte e alle reazioni dell'utente, costruendo nel tempo una mappa sempre più dettagliata della sua psicologia. La protagonista narrativa dell'installazione video è Chalice, una bambina di dieci anni della famiglia Wong di San Francisco, il cui BOB (installato dal padre Asher come strumento di crescita personale) sviluppa progressivamente desideri autonomi.

Bibliografia e Sitografia

Cheng, I. (2021). *BOB (Bag of Beliefs): A chalice study* [Libro d'artista]. Metasim Inc. / Koenig Books.
Cheng, I. (2018). *Emissaries guide to worlding: How to navigate the unnatural*. Koenig Books / Serpentine Galleries.
Serpentine Galleries. (s.d.). *Ian Cheng: Life After BOB*. https://www.serpentinegalleries.org/

67 KEVIN ROOSE, FUTUREPROOF, USA, 2021

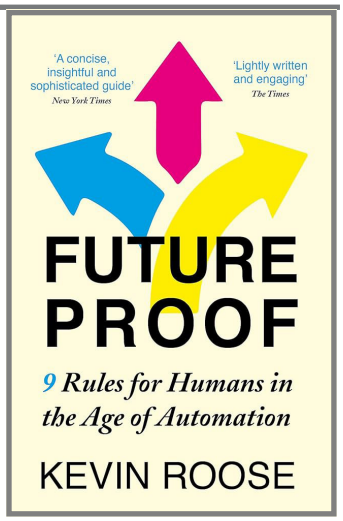


Figura 133.
Copertina del libro Futureproof di Kevin Roose, © Kevin Roose / Amazon, URL: https://m.media-amazon.com/images/I/71Zyy37QGjL._AC_UF1000,1000_QL80_.jpg

Futureproof: 9 Rules for Humans in the Age of Automation viene pubblicato dalla Random House il 9 marzo 2021, nel momento in cui il dibattito sull'automazione del lavoro intellettuale inizia a diventare questione di massa, anticipando di un anno e mezzo l'esplosione di ChatGPT (Scheda 30) che nel novembre 2022 renderà l'IA generativa una realtà quotidiana per centinaia di milioni di persone. Kevin Roose (Eden, North Carolina, 1987), giornalista tecnologico del *New York Times*, autore della rubrica "*The Shift*" e cofondatore del *podcast Hard Fork* con Casey Newton (vincitore del Webby Award 2024 come miglior *podcast* tecnologico), costruisce il libro su una metodologia che coniuga *reportage* investigativo e analisi strutturale: visite a fabbriche altamente automatizzate (l'azienda di abbigliamento *Boll & Branch* in Texas, la *General Motors* di Detroit), interviste con lavoratori che hanno perso impieghi per via dell'automazione (cassiere, *call center operators*, contabili intermedi), conversazioni con ricercatori di IA (Andrew Ng di Coursera, Demis Hassabis di DeepMind), economisti del lavoro (David Autor del MIT, Carl Benedikt Frey di Oxford) e responsabili delle risorse umane di grandi aziende tecnologiche (LinkedIn, IBM, Indeed).
Le nove regole che strutturano il libro non sono precetti astratti ma competenze operative identificate attraverso l'analisi di quali attività lavorative l'automazione fatica a replicare. (1) *Be surprising, social, and scarce* (sii sorprendente, sociale e scarso); (2) *Resist machine drift* (resisti alla deriva delle macchine); (3) *Demote your devices* (demota i tuoi dispositivi); (4) *Leave handprints* (lascia impronte digitali umane); (5) *Don't be an endpoint* (non essere un *endpoint*); (6) *Treat AI like a chimp army* (tratta l'IA come un esercito di scimpanzé); (7) *Build big networks and small armies* (costruisci grandi reti e piccoli eserciti); (8) *Learn machine-age humanities* (impara le *humanities* dell'era delle macchine); (9) *Arm the rebels* (arma i ribelli). Le regole identificano le competenze che l'automazione fatica a replicare: pensiero creativo non-lineare, intelligenza sociale ed emotiva, flessibilità cognitiva, giudizio contestuale situato, curiosità interdisciplinare, capacità di operare in ambienti ambigui e imprevedibili.
La limitazione principale di *Futureproof* — che ne costituisce anche la caratteristica più storicamente interessante — è che è scritto nell'anno precedente all'esplosione di ChatGPT, quando l'IA generativa era ancora uno strumento specialistico accessibile a ricercatori e *early adopter*. Le competenze "*unicamente umane*" che Roose identifica come impermeabili all'automazione (scrittura creativa, generazione di immagini originali, composizione musicale) sono precisamente quelle che i modelli linguistici di grandi dimensioni hanno dimostrato di poter replicare a livelli di qualità sorprendenti nei due anni successivi alla pubblicazione: GPT-4 (marzo 2023) eccelle nella scrittura creativa, Midjourney V5/V6 (Scheda 29) genera immagini fotorealistiche, Suno e Udio (2024) compongono musica originale. Roose stesso ha riconosciuto questa limitazione nei suoi articoli successivi sul *New York Times* (in particolare "*A Conversation With Bing's Chatbot Left Me Deeply Unsettled*", febbraio 2023, sulla sua celebre conversazione con Bing/Sydney che diventerà uno dei testi giornalistici più citati nel dibattito sui *Large Language Model*) e nel volume *AI: A Beginner's Guide*, aggiornando le proprie analisi per tenere conto delle trasformazioni del biennio successivo.

Bibliografia e Sitografia

Roose, K. (2021). *Futureproof: 9 rules for humans in the age of automation*. Random House.

HASHIM SARKIS, BIENNALE DI VENEZIA "HOW WILL WE LIVE TOGETHER?", VENEZIA, 2021

68



Figura 134.
Immagine Biennale di Architettura di Venezia 2021 "How Will We Live Together?", © La Biennale di Venezia - ASAC / La Biennale di Venezia, URL: https://static.labiennale.org/files/styles/full_screen_slide/public/architettura/2021/750x500/architettura-2021-grafica-b.jpg?itok=qME9gLP2

La Diciassettesima Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia viene curata da Hashim Sarkis (Tripoli, Libano, 1964), *Dean* della *MIT School of Architecture and Planning* dal 2015, architetto libanese-americano formatosi alla *Rhode Island School of Design* (1987) e a Harvard (Master of Architecture 1989, PhD 1995) con una pratica che coniuga progetto, ricerca e impegno civile (lo studio *Hashim Sarkis Studios* opera tra Beirut e Cambridge MA, con opere prevalenti nel mondo arabo). Il tema *How Will We Live Together?*, scelto fin dalla nomina di Sarkis nel novembre 2018, è inaugurato il 22 maggio 2021 dopo un anno di rinvio causato dalla pandemia COVID-19 (l'apertura era inizialmente prevista per maggio 2020). La presidenza della Biennale è di Roberto Cicutto (insediato nel 2020 dopo i due decenni di Paolo Baratta), e la Biennale del 2021 è la prima sotto la nuova guida.
La posticipazione dal 2020 al 2021 trasforma involontariamente la domanda curatoriale: formulata originariamente come interrogazione sul futuro della coabitazione urbana in senso ampio, la pandemia le conferisce un'urgenza esistenziale immediata che Sarkis non ignora ma incorpora esplicitamente nel progetto espositivo, riscrivendo parti consistenti dei testi curatoriali tra marzo 2020 e gennaio 2021. I *lockdown* globali del 2020 avevano ridefinito radicalmente le modalità di abitare, lavorare e socializzare, comprimendo nell'unità domestica funzioni un tempo distribuite nello spazio urbano, rivelando diseguaglianze spaziali e sociali strutturali che la normalità pre-pandemica aveva reso invisibili (le abitazioni minime delle classi popolari hanno reso il *lockdown* incompatibile con la vita familiare, il *digital divide* ha escluso intere fasce demografiche dalla didattica a distanza), accelerando drasticamente l'adozione di spazi virtuali (Zoom, Microsoft Teams, Google Meet, Discord, Roblox, Fortnite Creative) come infrastruttura di emergenza per le relazioni sociali, professionali e culturali.
La Biennale organizza oltre 112 partecipanti internazionali (architetti, studi di architettura, gruppi di ricerca interdisciplinari) provenienti da 46 paesi, attorno a cinque scale concettuali che strutturano l'esposizione tra le Corderie dell'Arsenale e i Giardini: *Among Diverse Beings* (coesistenza inter-specie e rapporto tra umano e non-umano, con riferimenti dichiarati a Donna Haraway *When Species Meet*); *As New Households* (nuove configurazioni domestiche post-pandemiche, con progetti di Studio Other Spaces, MASS Design Group, Anupama Kundoo); *As Emerging Communities* (comunità emergenti e spazi collettivi post-crisi); *Across Borders* (mobilità, migrazione e spazi di transito, con focus su campi profughi e spazi liminali); *As One Planet* (ecologia planetaria e sostenibilità strutturale, con riferimenti al *Doughnut Economics* di Kate Raworth). Questa articolazione scalare — dal corpo all'ecosistema planetario, passando attraverso la casa, la comunità e il confine — è una proposta metodologica oltre che curatoriale: Sarkis sostiene che le domande fondamentali dell'architettura contemporanea non possono essere affrontate a una scala sola ma richiedono simultaneamente l'attenzione alla dimensione intima dell'abitare e alla dimensione globale dei sistemi ecologici e sociali.

Bibliografia e Sitografia

Sarkis, H. (a cura di). (2021). *How will we live together? XVII Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.
La Biennale di Venezia. (s.d.). *XVII Mostra Internazionale di Architettura*. https://www.labiennale.org/en/architecture/2021

69 MATTHEW BALL, THE METAVERSE: AND HOW IT WILL REVOLUTIONIZE EVERYTHING, USA, 2022

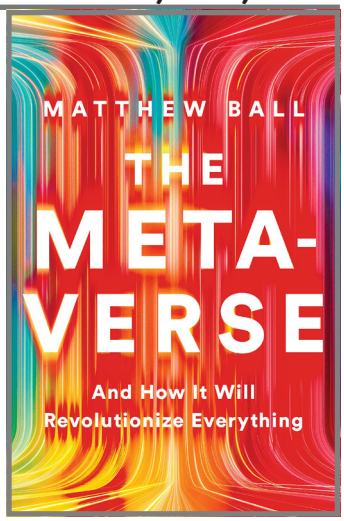


Figura 135.
Copertina del libro The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything di Matthew Ball, © Matthew Ball / Amazon, URL: https://m.media-amazon.com/images/I/91ktfa+F-TL.jpg

The Metaverse: And How It Will Revolutionize Everything viene pubblicato dalla *Liveright Publishing Corporation* (imprint di W. W. Norton & Company) il 19 luglio 2022, al culmine dell'*hype* metaverso innescato dal *rebranding* di Facebook in *Meta Platforms* nell'ottobre 2021. Matthew Ball (Toronto, 1987) — *venture capitalist*, *managing partner* di EpyllionCo (società di investimento focalizzata su gaming, media e infrastrutture digitali), ex *Head of Strategy* di *Amazon Studios* (2017-2018), *advisor* di MakerSupport, Roblox, Niantic, Evermore Park — è autore di una serie di saggi sul metaverso pubblicati sul proprio sito (matthewball.vc) a partire dal saggio inaugurale "*The Metaverse: What It Is, Where to Find It, and Who Will Build It*" (gennaio 2020), poi proseguiti con la celebre serie di nove saggi denominata "*The Metaverse Primer*" (giugno 2021), che avevano già raggiunto una diffusione straordinaria nei circoli tecnologici, finanziari e politici internazionali (oltre 5 milioni di letture cumulative) prima della pubblicazione del volume.
Il libro sistematizza e approfondisce quella produzione saggistica in un *framework* analitico organico che affronta il metaverso non come singola piattaforma proprietaria — la visione riduttiva che il *rebranding* di Zuckerberg aveva pericolosamente diffuso, identificando il metaverso con i prodotti specifici di Meta come *Horizon Worlds* — ma come infrastruttura emergente caratterizzata da sette layer tecnologici interdipendenti: (1) *Hardware* (visori VR/AR, smartphone, microchip, GPU); (2) *Networking* (banda larga, 5G, *low-latency networking*); (3) *Compute* (capacità di calcolo distribuito, *cloud rendering*); (4) *Virtual Platforms* (Roblox, Fortnite Creative, Decentraland, Sandbox); (5) *Interchange Tools and Standards* (3D file formats, USD di Pixar, IPFS, blockchain); (6) *Payments* (criptovalute, *fiat onramps*, valute virtuali in-game); (7) *Content, Services, Assets* (la layer più alta, dove utenti e sviluppatori producono valore).
A questi *layer* tecnologici, Ball affianca otto requisiti core che un metaverso autentico deve soddisfare simultaneamente. (1) *Persistenza* (lo spazio esiste indipendentemente dalla connessione dei singoli utenti); (2) *Sincronicità* (gli eventi si svolgono in tempo reale condiviso); (3) *Popolazione illimitata* (nessun *cap* massimo di utenti simultanei, problema tecnico oggi non risolto: i grandi videogiochi MMO limitano gli utenti per *server* a 100-1.000); (4) *Economia funzionante* (produzione, possesso, investimento e scambio di valore con conseguenze reali); (5) *Esperienza ibrida* (interconnessione strutturale con il mondo fisico); (6) *Interoperabilità* (di dati, *asset* digitali e identità tra piattaforme diverse); (7) *Contributo di contenuti da parte degli utenti* (non solo consumo passivo); (8) *Accessibilità* attraverso *hardware* eterogeneo (visori VR, *smartphone*, PC, console, eventualmente *brain-computer interface* in futuro).
Questa definizione, che Ball riconosce esplicitamente come derivata e sistematizzata dalla visione narrativa di Stephenson in *Snow Crash* (Scheda 49), diventa immediatamente il riferimento standard per politici, investitori, sviluppatori e ricercatori che cercano un vocabolario condiviso per discutere di spazi digitali persistenti.

Bibliografia e Sitografia

Ball, M. (2022). *The metaverse: And how it will revolutionize everything*. Liveright.
Ball, M. (s.d.). *Matthew Ball*. https://www.matthewball.vc/

POPULOUS, SPHERE AT THE VENETIAN RESORT, NEVADA, 2023

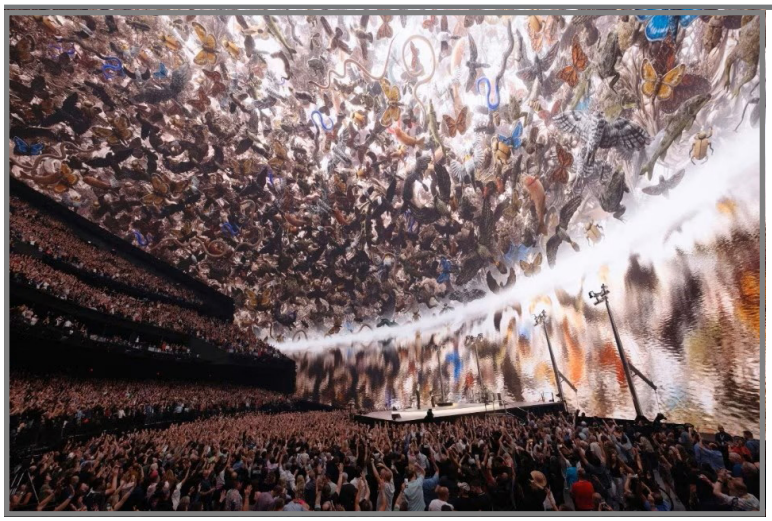


Figura 136.
MSG Sphere a Las Vegas, © MSG Entertainment / Domus, URL: https://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/en/news/gallery/2023/10/05/linaugurazione-della-msg-sphere-di-las-vegas--stata-un-successo/msgsphere1.jpg.foto.rbig.jpg

La Sphere at The Venetian Resort viene inaugurata il 29 settembre 2023 a Paradise, Nevada (enclave non incorporata dell'area metropolitana di Las Vegas), con il concerto degli U2 *UV Achtung Baby Live* (40 spettacoli totali tra il 29 settembre 2023 e il 2 marzo 2024 per oltre 700.000 spettatori), primo di una serie di residenze che definiscono il modello di fruizione della struttura: non una *venue* polivalente per eventi eterogenei ma un ambiente progettato per produzioni *site-specific* che sfruttano integralmente le capacità tecnologiche dello spazio. Il committente è Sphere Entertainment Co. (società scorporata da MSG Entertainment di James L. Dolan nel 2023), con un costo di costruzione di 2,3 miliardi di dollari — il più alto mai registrato per una struttura per intrattenimento dal vivo nella storia. La struttura è progettata dallo studio internazionale Populous (sede principale Kansas City, fondato nel 1983 e specializzato in *sport* and *entertainment venues*: Yankee Stadium 2009, Tottenham Hotspur Stadium 2019, oltre 3.000 progetti completati in 30 paesi) con l'ingegneria strutturale di Severud Associates e l'integrazione tecnologica multimediale curata da WSDG (*Walters-Storyk Design Group*).
La Sphere è la più grande struttura sferica al mondo: 112 metri di altezza per 157 metri di larghezza (volume interno di circa 875.000 m^3), con una capacità di 17.600 posti a sedere e ulteriori 2.400 posti in piedi (capienza totale 20.000 spettatori) distribuiti in una platea che circonda completamente lo schermo interno. La superficie esterna — denominata *Exosphere* — è rivestita da 54.000 m^2 di *display* LED (il più grande schermo esterno mai costruito al mondo), composti da 1,2 milioni di moduli LED programmabili individualmente a una distanza di pixel di 11,5 cm, capace di trasmettere contenuti visivi a risoluzione variabile sulla totalità dell'involucro sferico, trasformando l'edificio in un oggetto mediatico visibile a chilometri di distanza nel deserto del Nevada. Il consumo energetico della *Exosphere* è di circa 14 MW a piena potenza, alimentati per il 70% da impianti fotovoltaici dedicati nel deserto del Mojave.
L'interno è dominato da uno schermo avvolgente a 160° in formato 16K (15.360 × 8.640 pixel) di 14.864 m^2 che copre pareti, soffitto e parte del pavimento, eliminando completamente la percezione dello spazio architettonico convenzionale: non ci sono superfici neutre, non ci sono angoli morti, non c'è un "*fuori*" percepibile dall'interno. Il sistema audio è progettato con la stessa radicalità — denominato "*Holoplot*" dal nome dell'azienda berlinese che lo ha sviluppato in esclusiva per Sphere: 167.000 driver distribuiti in 1.586 moduli permanenti utilizzano tecnologie di *beamforming* e *wave field synthesis* per direzionare suoni specifici verso zone specifiche della platea (con risoluzione spaziale di un singolo posto a sedere), creando paesaggi sonori tridimensionali differenziati per settore. Gli effetti fisici 4D integrati nelle sedute (vibrazioni, variazioni di temperatura, correnti d'aria, profumi diffusi attraverso *scent generators*) completano un sistema sensoriale che aspira alla totalità dell'esperienza immersiva.

Bibliografia e Sitografia

Populous. (2023). *Sphere at The Venetian Resort: Design and engineering documentation* [Documento tecnico].
Sphere Entertainment Co. (s.d.). *Sphere at The Venetian Resort*. https://www.thesphere.com/
Holoplot. (s.d.). *Sound at Sphere*. https://www.holoplot.com/projects/sphere/

71 LESLEY LOKKO, BIENNALE DI VENEZIA "THE LABORATORY OF THE FUTURE", VENEZIA, 2023

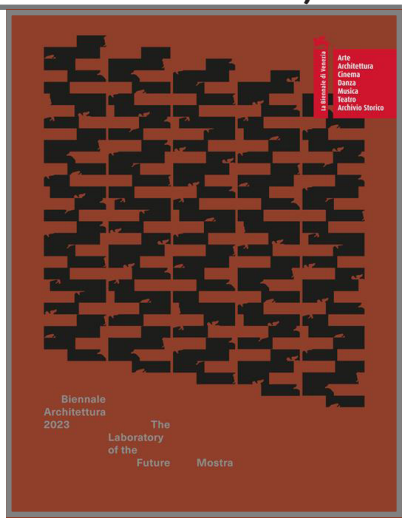


Figura 137.
Copertina del catalogo della Biennale di Architettura di Venezia 2023 "The Laboratory of the Future" curata da Lesley Lokko, © La Biennale di Venezia / IBS, URL: https://www.ibs.it/

La Diciottesima Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia viene curata da Lesley Naa Norle Lokko (Dundee, Scozia, 1964) — architetta, educatrice e scrittrice ghanese-scozzese, formatasi alla *Bartlett School of Architecture* dell'University College London (PhD in *Architectural Theory and Cultural Studies*, 2007), fondatrice e direttrice dell'African Futures Institute ad Accra (Ghana, 2020), ex *Dean* della *Bernard and Anne Spitzer School of Architecture* del *City College* di New York (2019-2020), già fondatrice della *Graduate School of Architecture* dell'University of Johannesburg (2014-2019), autrice di una dozzina di romanzi tra cui *Sundowners* (2003) e *Bitter Chocolate* (2008) — con il tema *The Laboratory of the Future*, inaugurata il 20 maggio 2023 sotto la presidenza di Roberto Cicutto.

Lokko è la prima curatrice di origine africana nella storia della Biennale di Architettura: una scelta che l'istituzione veneziana compie consapevolmente come atto di riposizionamento geografico e concettuale, riconoscendo che il dibattito architettonico internazionale è stato storicamente dominato da voci europee e nordamericane in modo strutturalmente distorsivo. Lokko stessa, nel proprio testo curatoriale, articola questa premessa: "*L'Africa è il continente più giovane del mondo (l'età media è 19 anni, contro i 41 dell'Europa) e quello con la più alta crescita demografica prevista per il XXI secolo. Eppure è strutturalmente assente dal canone architettonico contemporaneo*".

Oltre il 60% degli 89 partecipanti selezionati sono architetti africani o della diaspora africana, una proporzione senza precedenti nella storia della Biennale che trasforma radicalmente il paesaggio estetico e concettuale dell'Arsenale e dei Giardini: materiali locali sostenibili (terra cruda, bambù, fibre vegetali, legno locale, *adobe*), tecniche costruttive tradizionali reinterpretate attraverso strumenti digitali contemporanei, soluzioni climatiche appropriate che non dipendono dall'infrastruttura energetica dei paesi industrializzati, architettura comunitaria partecipativa che coinvolge le comunità nelle decisioni progettuali.

Lokko articola la Biennale attorno a due temi interconnessi: decolonizzazione e decarbonizzazione, che definisce esplicitamente come "*le due D*" dell'architettura contemporanea: non questioni separate ma facce dello stesso problema strutturale, poiché la crisi climatica e la crisi coloniale hanno radici comuni nell'estrattivismo che ha caratterizzato i cinque secoli di modernità occidentale (dalla colonizzazione delle Americhe al *Grand Compromise* di Bretton Woods 1944 al *Climate Apartheid* contemporaneo identificato dall'ONU nel 2019). Il contesto della Biennale del 2023 è quello in cui la convergenza tra crisi climatica, accelerazione dell'IA generativa e riconfigurazione geopolitica post-pandemica produce un momento di straordinaria instabilità disciplinare: l'architettura non sa ancora come rispondere simultaneamente all'urgenza ecologica, alle possibilità aperte dall'IA e alla richiesta di decolonizzazione.

Bibliografia e Sitografia

Lokko, L. (a cura di). (2023). *The laboratory of the future: XVIII Mostra Internazionale di Architettura, La Biennale di Venezia*. Marsilio.

La Biennale di Venezia. (s.d.). *XVIII Mostra Internazionale di Architettura*. https://www.labiennale.org/en/architecture/2023

CARLO RATTI, BIENNALE DI VENEZIA
"INTELLIGENS. NATURAL. ARTIFICIAL. COLLECTIVE", VENEZIA, 2025

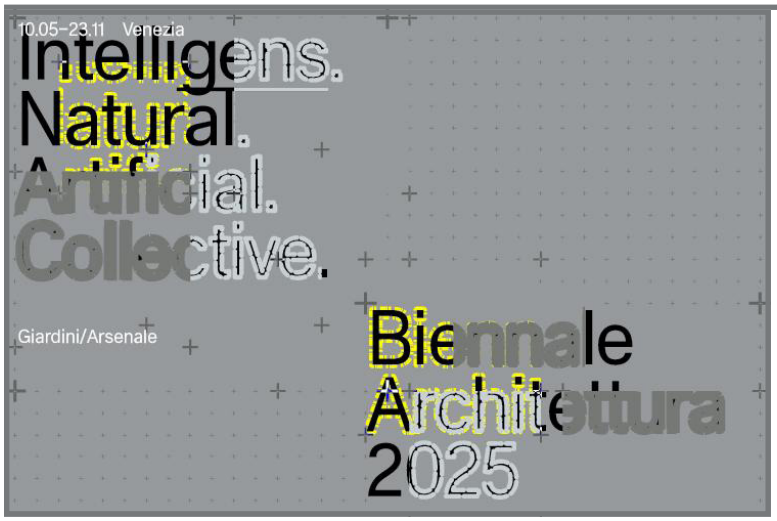
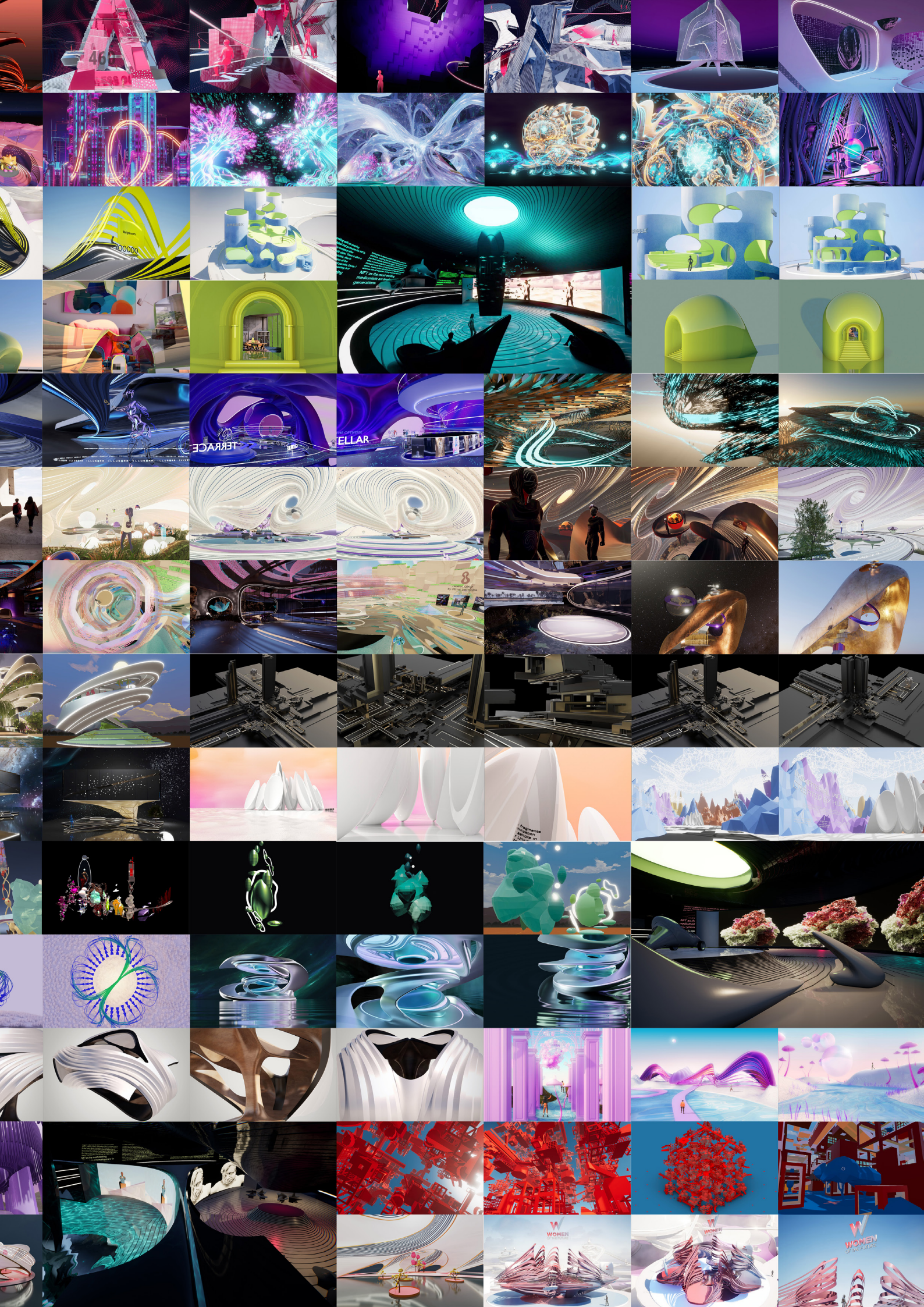


Figura 138.
Banner della Biennale di Architettura di Venezia 2025 curata da Carlo Ratti, © La Biennale di Venezia / La Biennale di Venezia, URL: https://static.labiennale.org/files/styles/full_screen_slide/public/architettura/2025/750x500/biennale-architettura-2025-banner-.jpg?itok=T_5CkjqG

La 19. Mostra Internazionale di Architettura della Biennale di Venezia si svolge dal 10 maggio al 23 novembre 2025 (con pre-apertura 8-9 maggio), curata da Carlo Ratti (Torino, 1971) — architetto e ingegnere, direttore del Senseable City Lab al MIT (fondato nel 2004), socio fondatore di CRA-Carlo Ratti Associati con sedi a Torino, New York e Londra, già *visiting fellow* a Cambridge, Cornell, NYU e Strelka — primo curatore italiano della Biennale di Architettura dopo venticinque anni dal mandato di Massimiliano Fuksas (2000, Scheda 57). Ratti, formatosi al Politecnico di Torino e all'École Nationale des Ponts et Chaussées di Parigi, è autore di volumi come The City of Tomorrow: Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life (con Matthew Claudel, 2016) e Open Source Architecture (2015). La presidenza della Biennale è di Pietrangelo Buttafuoco, insediatosi nel 2024.
Il titolo *Intelligens. Natural. Artificial. Collective.* è un dispositivo semantico volutamente polivalente: richiama l'intelligenza in tutte le sue forme (naturale, artificiale, collettiva) e al tempo stesso contiene la radice latina di *gens*, ovvero comunità, persone — etimologia che Ratti rivendica programmaticamente come "*riconnessione tra intelligenza e collettività*". La struttura espositiva si articola in cinque sezioni: *Intro* (che parte da Venezia per elaborare soluzioni abitative innovative al rischio idrogeologico, con riferimenti al MOSE e ai sistemi di pompaggio antiacqua); *Natural Intelligence* (sull'architettura che si affida alla natura per riorientare la propria azione, con progetti di biomimetica strutturale, *living architecture*, rivestimenti in *micelio* fungino); *Artificial Intelligence* (che riflette su come cambierà la professione architettonica con i modelli generativi, con installazioni sull'uso di Midjourney, Stable Diffusion, *worldbuilding* AI per la prefigurazione progettuale); *Collective Intelligence* (su come raccordare vecchio e nuovo sfruttando l'intelligenza collettiva, con progetti di *crowdsourced design* e partecipazione comunitaria); *Out* (che sposta lo sguardo oltre i confini del pianeta per interrogarsi su come costruire in contesti ancora inesplorati: architettura per lo spazio, esplorazione extraterrestre, habitat futuri su altri mondi, con il contributo di SOM, BIG, Foster + Partners sui progetti per Marte e Luna).
La mostra raccoglie 762 partecipanti e oltre 280 progetti, selezionati prevalentemente attraverso una *call* aperta — modalità anch'essa innovativa rispetto alla tradizionale selezione su invito delle Biennali precedenti. Il titolo *Intelligens* non è una risposta ma una domanda articolata in diverse declinazioni che rispecchiano le tensioni fondamentali del dibattito architettonico contemporaneo. L'intelligenza naturale rimette al centro la capacità della biologia e degli ecosistemi di produrre soluzioni adattive che l'architettura può apprendere: non il biomimetismo formale degli anni Novanta — la forma che imita la natura — ma l'apprendimento sistemico di come la natura risolve problemi complessi con risorse limitate, che è esattamente la definizione di intelligenza che Ratti porta come premessa curatoriale.

Bibliografia e Sitografia

Ratti, C. (a cura di). (2025). *Intelligens. Natural. Artificial. Collective.*: *19. Mostra Internazionale di Architettura*, *La Biennale di Venezia* [Catalogo]. Edizioni La Biennale di Venezia / Silvana Editoriale.
La Biennale di Venezia. (s.d.). *19. Mostra Internazionale di Architettura*. https://www.labiennale.org/it/architettura/2025


TERRACE
ELLAR
WOMEN

A1 Abitare Virtuale
(dalla scheda 73 alla scheda 112)

73 Will Wright, Simcity, Usa, 1989
74 Markos Novak, Liquid Architectures in Cyberspace, Usa, 1991
75 Greg Lynn, Blob Architecture, Usa, 1992-1999
76 Mark Pesce & Tony Parisi - vrml / labyrinth browser, Usa, 1993-1994
77 Paul Reilly, Dudley Castle Virtual Reconstruction, Uk, 1994
78 Nicholas Pioch, Webmuseum, francia/usa, 1994
79 Lin Hsin Hsin, Lin Hsin Hsin Art Museum, Singapore, 1994
80 Active Worlds inc., Active Worlds, Usa, 1995
81 Eboy, Pixel Art Cities, Berlino, 1997
82 Peter Eisenman et al., The Virtual House Competition, 1997
83 Fumio Matsumoto, Infotube & Ginga, Tokyo, 1999
84 Asymptote, Museo Guggenheim Virtuale, Usa, 1999
85 Maxis/EA, The Sims, Usa, 2000
86 Linden Lab, Second Life, Usa, 2003
87 Mark Zuckerberg, Facebook, Usa, 2004
88 Google, Google Street View, Usa, 2007
89 Ubisoft, Assassin's Creed, Francia/Canada, 2007
90 Cao Fei - Rmb City, Cina, 2007
91 Google, Google Art Project, Usa, 2009
92 Mojang, Minecraft, Svezia, 2009
93 Fullbright Company, Gone Home, Usa, 2013
94 Anand Agarawala & Jinha Lee, Spatial, Usa, 2016
95 Fumio Matsumoto, Memories of Architecture, Giappone, 2017
96 Decentraland, Metaverso Decentralizzato, Argentina, 2018
97 Epic games, Fortnite, Usa, 2020
98 Zaha Hadid Architects, Liberland Metaverse, Uk/Liberland, 2021
99 Mark Zuckerberg, Meta, Usa, 2021
100 Coop Himmelb(l)au, Deep Himmelblau, Austria, 2021
101 Radiohead, Kid a mnesia exhibition, Uk, 2021
102 Krista Kim, Mars House, Canada, 2021
103 Beeple, Everydays: The first 5000 days. Usa, 2021
104 Zaha Hadid Architects, Nftism, uk, 2021
105 Space Popular, Galleria Virtuale Fundación Arquia, Uk/Spagna , 2022
106 BIG + Vice Media, Viceverse, Sanimarca/Usa, 2022
107 Joshua Chaplin, Thecore World, Usa, 2022
108 OMA, The Underwater Sculpture, NFT, 2022
109 The Unbuilt Gallery, The Architecture of Virtual Space, Usa, 2023
110 Metaverse Architecture Biennale, "Presence of the Future", Decentraland & w3rlds, 2023
110.1 iheartblob, Proscenium, MAB 2023
110.2 IL PRISMA, Mirror Worlds, MAB 2023
110.3 LAVA, Lava World, MAB 2023
110.4 Leonardo Marchesi, Uplifting Spiral, MAB 2023
110.5 Mariana Cabugueira, Your Digital-Footprint, MAB 2023
110.6 OBMI, Absence and Presence, Luminal Conflux, MAB 2023
110.7 PROm7 by LABVAPRO, SVET, MAB 2023
110.8 Maria Touloupou, Cyber Sanctum, MAB 2023
111 Mstylelab, Mstylelab Metaverse, Cina, 2023
112 Saul Kim, Flappy Box, Steam, 2024

73

WILL WRIGHT, SIMCITY, USA, 1989

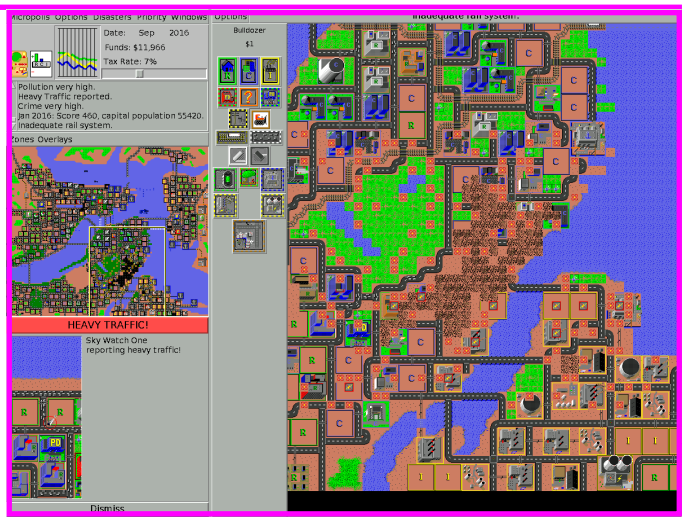


Figura 139.
Screenshot di SimCity/ Micropolis, © Maxis/ Electronic Arts / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/SimCity_(1989_video_game)#/media/File:Micropolis_-_big_city.png

SimCity viene pubblicato da Maxis il 5 febbraio 1989 (versione Macintosh, distribuita successivamente su Commodore 64, Amiga, IBM PC e altre piattaforme tra il 1989 e il 1990), sviluppato da Will Wright (Atlanta, Georgia, 1960), *game designer* californiano che aveva concepito l'idea nel 1985 osservando i propri strumenti di *level design* per il videogioco *Raid on Bungeling Bay* (Brøderbund, 1984) e riconoscendo che costruire la mappa era più interessante del giocarci. La genesi del prodotto è istruttiva: l'editore Brøderbund rifiuta inizialmente il progetto perché privo di obiettivi predefiniti e condizione di vittoria, caratteristiche che nel 1989 sembravano prerequisiti indispensabili per qualsiasi videogioco commerciale. Wright fonda Maxis con Jeff Braun nel 1987 specificamente per pubblicare *SimCity*, dimostrando che il mercato era pronto per una categoria inedita: il *software toy*, strumento di simulazione aperta che il giocatore usa per esplorare un sistema complesso senza dover "*vincere*". Il successo commerciale è immediato (oltre 1 milione di copie vendute entro il 1991, 5 milioni entro il 1996), e fonda un genere — il *city-builder* — che attraverso *SimCity* 2000 (1993), *SimCity* 3000 (1999), *SimCity* 4 (2003), *Cities in Motion* (Colossal Order 2010), *Cities: Skylines* (Colossal Order 2015) e *Cities: Skylines II* (2023) costituisce uno dei filoni più longevi della storia del *game design*.
L'interfaccia mostra la città dall'alto in una prospettiva obliqua (in *SimCity* 2000 del 1993 evolverà in vera *isometric view*) che bilancia leggibilità planimetrica e tridimensionalità percepita. Il giocatore zonizza aree residenziali, commerciali e industriali, costruisce strade e ferrovie, gestisce centrali elettriche e impianti idrici, risponde a disastri naturali (terremoti, inondazioni, attacchi del mostro *Bowser*-like, tornadi) e criminali, calibra le aliquote fiscali per mantenere in equilibrio un'economia urbana simulata con parametri derivati dalle teorie di Jay Wright Forrester (MIT, 1918-2016) sulla dinamica dei sistemi urbani. Il libro *Urban Dynamics* (MIT Press, 1969) è citato esplicitamente da Wright come fonte primaria del modello computazionale sottostante: il sistema di Forrester impiegava equazioni differenziali per modellare le interrelazioni tra crescita demografica, attività economica, infrastrutture e qualità della vita in un'area urbana. Il motore di simulazione di SimCity aggiorna continuamente migliaia di variabili interdipendenti: la densità residenziale influenza la criminalità, che influenza i valori immobiliari, che influenzano le entrate fiscali, che influenzano la qualità dei servizi, che influenzano la densità residenziale, in un ciclo di retroazione che rende ogni città virtuale un esperimento irripetibile.
L'impatto culturale di *SimCity* travalica immediatamente il mercato dei videogiochi per raggiungere ambiti che non avevano mai interagito con il *medium* ludico. Urbanisti e pianificatori riconoscono nel gioco una simulazione sufficientemente fedele da essere utilizzata come strumento didattico: nei due anni successivi alla pubblicazione, *SimCity* viene adottato in decine di corsi universitari di pianificazione urbana negli Stati Uniti come laboratorio di sperimentazione per teorie di zonizzazione e gestione del traffico (*case study* documentati: MIT Urban Studies and Planning, UC Berkeley Department of City and Regional Planning, Carnegie Mellon Heinz College, ETH Zurich Department of Architecture).

Bibliografia e Sitografia

Wright, W. (1989). *SimCity* [Videogioco]. Maxis.

MARKOS NOVAK, LIQUID ARCHITECTURES IN CYBERSPACE, USA, 1991

74

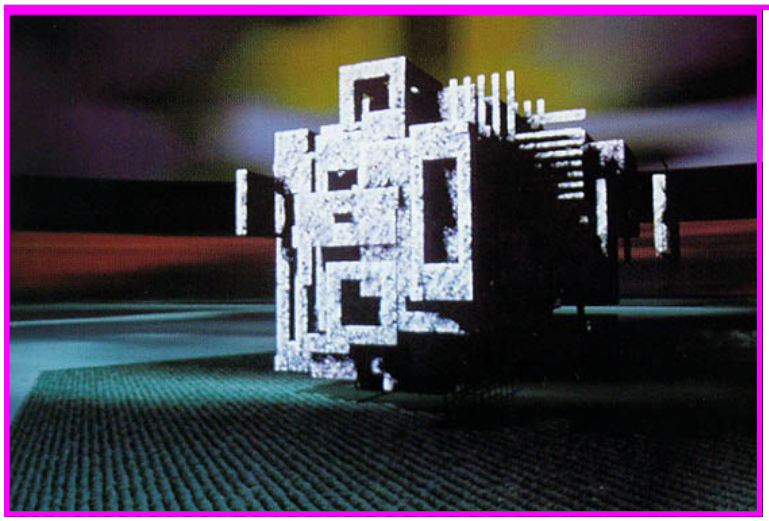


Figura 140.
Plate 25 - Composizione tridimensionale dinamica di Liquid Architecture, © Marcos Novak / zakros. com, URL: https://www.zakros.com/liquidarchitecture/liquidarch25.jpeg

Liquid Architectures in Cyberspace viene pubblicato nel 1991 nel volume collettaneo *Cyberspace: First Steps*, curato da Michael Benedikt per la MIT Press — uno dei testi fondativi della riflessione teorica sullo spazio digitale, che raccoglie contributi di filosofi (Allucquère Rosanne Stone, Michael Heim), architetti (Marcos Novak, Marcos Tobey), informatici (David Tomas) e teorici dei *media* (Wendy Hui Kyong Chun) nel tentativo di costruire un *framework* concettuale per un concetto — il *cyberspace* — che nel 1991 esiste ancora prevalentemente come speculazione letteraria (William Gibson, Scheda 46) e sperimentazione accademica (gli ambienti VR del progetto NASA *VIEW Lab* di Scott Fisher, dei laboratori UNC di Frederick Brooks, dei prototipi VPL Research di Jaron Lanier). Marcos Novak (Caracas, Venezuela, 1957) — architetto e artista digitale venezuelano-americano, formatosi alla *Ohio State University* (Master of Architecture 1983) e successivamente docente alla *University of California Santa Barbara* (Department of Media Arts and Technology, dal 2001), che si autodefinisce "*transarchitetto*" per sottolineare la natura transitiva e liminale della propria pratica — contribuisce al volume con il saggio (pp. 225-254) che diventerà il suo testo più citato e influente, costruendo attorno al concetto di "*architettura liquida*" una teoria dello spazio virtuale che supera qualsiasi analogia con l'architettura fisica.
La definizione che Novak elabora è deliberatamente paradossale e ricca di implicazioni operative: "*Una liquid architecture è un'architettura la cui forma è contingente agli interessi dell'osservatore; un'architettura che respira, pulsa, salta da una forma all'altra e converge in altre forme; un'architettura le cui stanze sono prive di pareti, i cui corridoi conducono là dove la stanza successiva è sempre dove deve essere e mai dove ci si aspetta*". Questa formulazione rovescia sistematicamente le caratteristiche fondamentali dello spazio architettonico convenzionale e non è solo metafora evocativa ma specifica tecnica. Novak stava sviluppando in parallelo al saggio le prime implementazioni computazionali di questa visione, usando algoritmi genetici, L-systems (sistemi di Lindenmayer per modellare la crescita biologica, sviluppati dal botanico ungherese Aristid Lindenmayer nel 1968) e tecniche di morphing tra primitive geometriche per generare forme tridimensionali che si trasformano in risposta a parametri definiti dall'utente in tempo reale. Le installazioni *Trans-Terrafine* (1995), *Paracube* (1998) e *Polyvalent* (2001) costituiscono le realizzazioni più significative di questo programma di ricerca.
Il *cyberspace* che Novak teorizza è un "*habitat per l'immaginazione*", territorio informazionale libero dai vincoli di gravità, prospettiva, materialità e permanenza che definiscono lo spazio fisico, dove la progettazione architettonica può finalmente esplorare le conseguenze di principi compositivi impossibili nel mondo reale. La singolarità del contributo di Novak rispetto agli altri partecipanti del volume *Cyberspace: First Steps* è proprio la specificità architettonica della sua riflessione: non chiede cosa sia il cyberspace in astratto ma come si progettino gli spazi che lo abitano.

Bibliografia e Sitografia

Novak, M. (1991). Liquid architectures in cyberspace. In M. Benedikt (Ed.), *Cyberspace: First steps* (pp. 225–254). MIT Press.
Marcos Novak Official Website. (s.d.). *Transarchitecture and liquid architectures*. https://www.zakros.com/liquidarchitecture/

75 GREG LYNN, BLOB ARCHITECTURE, USA, 1992-1999

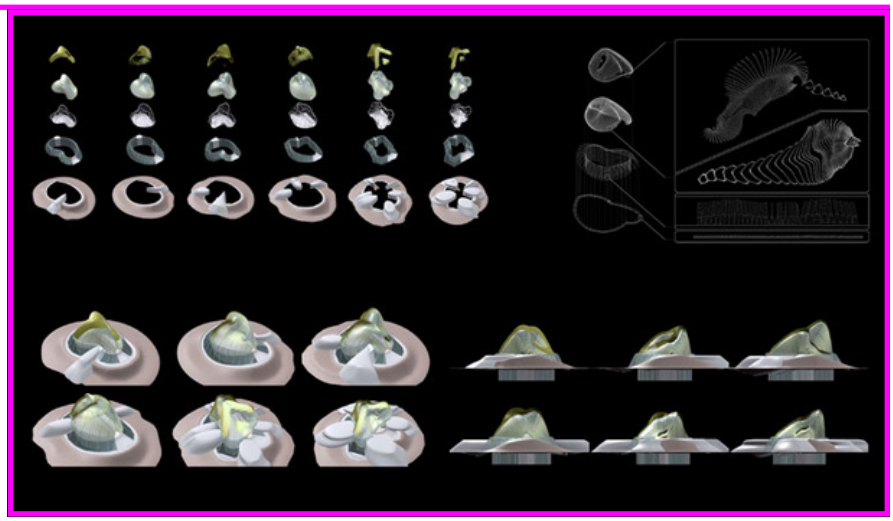


Figura 141.
Array di variazioni dell'Embryological House di Greg Lynn, © Greg Lynn / DOCAM - Canadian Centre for Architecture, URL: https://www.docam.ca/conservation/embryological-house/array.jpg

Greg Lynn (Vermillion, Ohio, 1964) — architetto e teorico americano formatosi alla *Miami University* (Ohio, BS 1986) e a Princeton (M.Arch 1988 con Peter Eisenman come *thesis advisor*) — sviluppa la Blob Architecture come ricerca teorica e progettuale a partire dal 1992, anno in cui inizia a insegnare alla *Columbia University Graduate School of Architecture, Planning and Preservation* sotto la direzione di Bernard Tschumi (allora *Dean*) e a sperimentare con software di animazione tridimensionale originariamente sviluppati per l'industria cinematografica e automobilistica — in particolare Alias/Wavefront PowerAnimator, usato da Industrial Light & Magic per i dinosauri di *Jurassic Park* (Steven Spielberg, 1993), e MAYA di Alias|Wavefront dal 1998 — per generare morfologie architettoniche che le geometrie euclidee tradizionali non potevano produrre. Lynn fonda nel 1994 lo studio Greg Lynn FORM a Venice, Los Angeles, e dal 2002 inizia un'intensa attività editoriale e curatoriale come autore di testi (*Animate Form* 1999, *Folds, Bodies and Blobs* 1998) e curatore di mostre (*Architecture and the Sciences*, MoMA 2001).
Il termine "blob" (acronimo di *Binary Large Object*, terminologia informatica per file di dati binari non strutturati) viene adottato da Lynn nel saggio *Blobs, or Why Tectonics is Square and Topology is Groovy* (ANY: *Architecture New York*, n. 14, 1996) con intento deliberatamente provocatorio: rivendicare per una categoria di forme curvilinee, organiche, non-cartesiane lo statuto di paradigma architettonico maturo, contro la tradizione modernista che aveva privilegiato le forme platoniche pure (cubo, cilindro, sfera) come espressione dell'universalità razionale.
L'Embryological House (1997-2002), progetto esposto alla Biennale di Venezia di Fuksas del 2000 (Scheda 57) come uno dei manifesti dell'architettura digitale, è la sintesi più compiuta della ricerca di Lynn sul *blob*. Non è un progetto di una casa specifica ma un sistema generativo capace di produrre 2.048 varianti di un prototipo abitativo ottenute attraverso variazioni parametriche di 12 *control points* applicate a un *master model* condiviso. Ogni variante condivide la stessa logica strutturale (una superficie continua che avvolge lo spazio interno come un guscio organico, costruita su 2.048 pannelli di alluminio CNC unici) ma differisce nella forma specifica, adattandosi parametricamente alle condizioni del sito, all'orientamento solare, alle esigenze programmatiche dell'utente. Lynn usa Alias|Wavefront MAYA per simulare l'influenza di "*forze*" virtuali sulla forma dell'involucro (*soft body dynamics*, *spring constraints*, *attractor fields*), producendo geometrie che sembrano cresciute piuttosto che progettate, formate da processi piuttosto che assemblate da elementi.
L'*Embryological House* è un progetto che non poteva essere concepito né comunicato senza strumenti digitali, esiste come serie di variazioni parametriche piuttosto che come oggetto singolo, e dimostra come il computer non sia semplice strumento di disegno ma motore generativo di morfologie inedite.

Bibliografia e Sitografia

Lynn, G. (1999). *Animate form*. Princeton Architectural Press.
Lynn, G. (a cura di). (1993). *Folding in architecture* [Architectural Design Profile, n. 102]. Academy Editions.
Greg Lynn FORM. (s.d.). *Greg Lynn* FORM. http://glform.com/

MARK PESCE & TONY PARISI - VRML / LABYRINTH BROWSER, USA, 1993

76

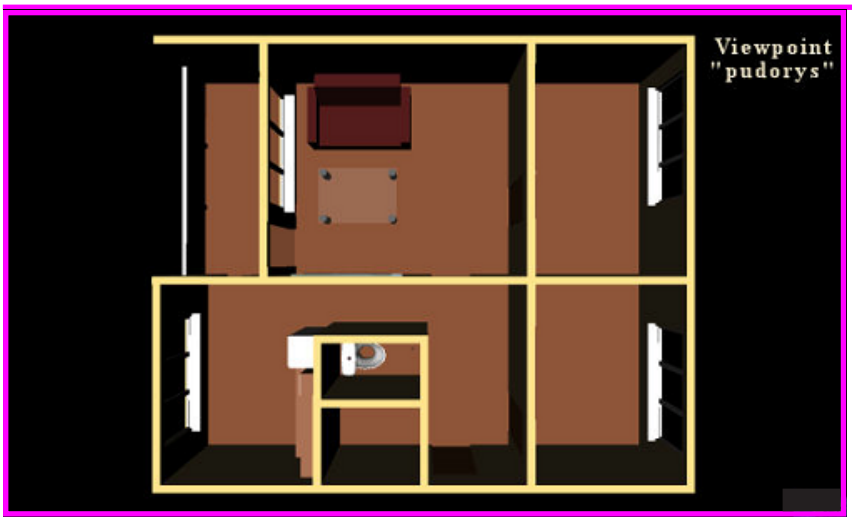


Figura 142.
Immagine di un appartamento virtuale in VRML, © Public Domain / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Apartment.png

Labyrinth viene sviluppato da Mark Pesce (Newark, NJ, 1962) e Tony Parisi (NJ, 1964) nel novembre 1993 come *browser* tridimensionale per il *World Wide Web*: un esperimento che i due sviluppatori californiani costruiscono in poche settimane su una *workstation Silicon Graphics Indy* a San Francisco, motivati dalla convinzione che il Web nascente di Berners-Lee (Scheda 18) non dovesse essere limitato alla bidimensionalità dell'ipertesto ma potesse incorporare spazi tridimensionali navigabili come estensione naturale della logica del *link*. Pesce si era formato come *technologist* alla *Yale University* nel campo dell'ingegneria del software e aveva lavorato per la *Shiva Corporation* sui primi sistemi di accesso remoto a Internet; Parisi proveniva da *NetSage Corporation* dove aveva sviluppato sistemi grafici per la consultazione di banche dati. La collaborazione nasce dall'incontro alla *SIGGRAPH* 1993 di Anaheim, dove entrambi presentavano sperimentazioni indipendenti su grafica 3D in rete. *Labyrinth* è scritto in C/C++ con il supporto delle librerie *Inventor* di Silicon Graphics, e funziona inizialmente solo su *workstation* IRIX.
Pesce e Parisi presentano *Labyrinth* alla prima conferenza internazionale sul World Wide Web (denominata WWW1), tenutasi al CERN di Ginevra dal 25 al 27 maggio 1994 con 380 partecipanti tra cui Tim Berners-Lee, Marc Andreessen, Robert Cailliau, Robert McCool: la dimostrazione (un labirinto tridimensionale navigabile attraverso *browser*, con geometrie semplici e *texture* essenziali) produce un impatto immediato sulla comunità dei pionieri del Web. Dave Raggett, ricercatore dell'Hewlett-Packard Laboratories di Bristol, conia durante la conferenza il termine VRML (*Virtual Reality Modeling Language*, pronunciato "*vermal*") proponendo esplicitamente di estendere il Web per supportare realtà virtuale indipendente dalla piattaforma: l'acronimo è costruito per risonare con HTML, suggerendo che il VRML sarebbe stato all'"*HTML per la 3D*" ciò che HTML era al testo. Il *Birds-of-a-Feather* informale al CERN (28 maggio 1994) raccoglie i partecipanti interessati e fonda la *VRML Mailing List* su vrml.org, primo forum di discussione del nascente standard.
La specifica VRML 1.0, basata sul formato *Open Inventor* di Silicon Graphics, semplificato e ottimizzato per la trasmissione su rete, viene rilasciata il 13 novembre 1995 alla *SIGGRAPH* '95. VRML 2.0 (1996, ratificata come ISO/IEC 14772 nel 1997 con il nome *VRML97*) introduce significative estensioni: animazioni, interattività, *scripting* in JavaScript, eventi, sensori, supporto per audio e video. Il consorzio Web3D Consortium (fondato nel 1997, ancora oggi attivo) prende in carico la manutenzione dello standard, che evolverà nel formato successivo X3D (*Extensible 3D*, 2001) basato su sintassi XML con vendor neutrale. Lo standard è adottato immediatamente da aziende come Black Sun Interactive, che sviluppa *server* multi-utente VRML per creare ambienti condivisi: CyberTown (1995), costruita su questa infrastruttura, è uno dei primi metaversi 3D su Internet, con quartieri navigabili, *avatar* personalizzabili e spazi di incontro sincrono tra utenti geograficamente distanti.

Bibliografia e Sitografia

Pesce, M., & Parisi, T. (1994). *Labyrinth: A proposal* [Presentazione]. First International Conference on the World Wide Web. CERN, Ginevra.
Raggett, D. (1994). Extending WWW to support platform independent virtual reality. In *Proceedings of the First International Conference on the World Wide Web*. CERN.

77 PAUL REILLY, DUDLEY CASTLE VIRTUAL RECONSTRUCTION, UK, 1994



Figura 143.
Screenshot ricostruzione virtuale Dudley Castle 1550, © Dudley Castle/ Colin Johnson / History of Information, URL: https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=4082

La ricostruzione virtuale del Castello di Dudley viene realizzata da Paul Reilly nel 1993-1994 presso il IBM UK Scientific Centre di Winchester (uno dei laboratori di ricerca più attivi nell'applicazione della *computer graphics* alle scienze umane nel contesto britannico degli anni Ottanta e Novanta) in collaborazione con Colin Johnson della *Dudley Borough Council* e con il consulente archeologico Beth Simons. Reilly, allora trentenne, aveva già coniato il termine "*virtual archaeology*" in un articolo seminale del 1990 (*Towards a Virtual Archaeology*, atti della conferenza *Computer Applications in Archaeology* CAA 1990, BAR International Series), come denominazione per l'applicazione sistematica delle tecnologie di *computer graphics* alla ricerca e alla comunicazione del patrimonio archeologico e architettonico. Il progetto Dudley è la prima implementazione su larga scala del programma teorico precedentemente delineato dall'autore.
Il Castello di Dudley, situato nelle West Midlands inglesi a circa 14 km da Birmingham, ha una storia stratificata che attraversa nove secoli: la struttura normanna iniziale (eretta fra il 1070 e il 1086 per Ansculf de Picquigny, citata nel *Domesday Book* del 1086) si sovrappone a una torre maestra del XII secolo (eretta sotto Gervase Paganel), a una torre medievale del XIII secolo, a un palazzo rinascimentale del XVI secolo (la fase più ambiziosa, voluta da John Dudley I duca di Northumberland e completata da suo figlio Robert Dudley conte di Leicester favorito della regina Elisabetta I, con i lavori condotti tra il 1550 e il 1580), e alle trasformazioni successive fino all'incendio del 24 luglio 1750 che ha lasciato il complesso nel suo attuale stato di rovina parziale. Questa stratificazione storica rende il sito un caso di studio ideale per testare le possibilità della ricostruzione digitale: le evidenze materiali superstiti, integrate con fonti documentarie (registri della famiglia Dudley conservati al *Staffordshire Record Office*), rilievi archeologici condotti dal *Birmingham University Field Archaeology Unit* tra il 1983 e il 1992, e interpretazioni comparative con strutture coeve, permettono di formulare ipotesi sulle configurazioni perdute che la visualizzazione tridimensionale può rendere esplorabili.
Reilly utilizza workstation Silicon Graphics IRIS Indigo con software di modellazione poligonale Wavefront Advanced Visualizer (avanzato per l'epoca) per costruire modelli tridimensionali delle diverse fasi storiche del castello, integrando nel processo dati provenienti da scavi stratigrafici, analisi dendrocronologiche dei pochi elementi lignei superstiti, fonti iconografiche (l'incisione di Henry Chauncy del 1700, le fotografie di rilievo del XIX secolo) e confronti tipologici con strutture coeve come Kenilworth Castle (anch'esso ristrutturato da Robert Dudley) e Wollaton Hall.
Il risultato è una serie di ambienti virtuali navigabili che mostrano il castello in quattro periodi distinti (medievale, Tudor, Stuart e contemporaneo), permettendo di visualizzare trasformazioni architettoniche che nessuna fonte bidimensionale avrebbe potuto comunicare con la stessa efficacia spaziale.

Bibliografia e Sitografia

Reilly, P. (1990). Towards a virtual archaeology. In K. Lockyear & S. Rahtz (Eds.), *Computer applications in archaeology 1990* (pp. 133–139). BAR International Series.
Reilly, P. (1996). The Dudley Castle Visualisation Project. *Internet Archaeology*, 1(1).

NICHOLAS PIOCH, WEBMUSEUM, FRANCIA/USA, 1994

78



Figura 144. Screenshot interfaccia WebMuseum, © Nicolas Pioch / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/8/86/User_Interface_of_the_WebMuseum.png

Il WebMuseum viene fondato da Nicolas Pioch (Parigi, 1968), informatico francese allora studente all'École Polytechnique di Palaiseau, nell'aprile 1994 inizialmente con il nome WebLouvre, come progetto personale sviluppato nel tempo libero su un *server* dell'università. Pioch digitalizza immagini da libri d'arte, enciclopedie e riproduzioni fotografiche di pubblico dominio, le organizza in collezioni tematiche accessibili attraverso una struttura ipertestuale e le pubblica sul Web. Il sito si struttura attorno a due assi navigazionali principali: una sezione "*Famous Artworks*" (organizzata per artista, movimento e periodo storico, con focus sull'arte europea dal Trecento al Novecento) e una sezione "*Tour de France*" (dedicata al patrimonio culturale e paesaggistico francese, con immagini di città, paesaggi, opere monumentali, gastronomia regionale).
La qualità delle immagini è quella che le connessioni *dial-up* dell'epoca permettono di trasferire in tempi ragionevoli: file JPEG compressi (circa 30-80 kB per immagine), risoluzioni modeste (tipicamente 400-600 pixel sul lato lungo), colori alterati dalla scannerizzazione di seconda generazione da riproduzioni fotografiche su carta. Nonostante questi limiti tecnici oggettivi, il WebLouvre raggiunge rapidamente un traffico straordinario per gli standard del 1994: nel maggio 1994 il sito riceve oltre 200.000 *hit* settimanali, posizionandosi tra i 100 siti più visitati del Web in un'epoca in cui il numero totale di siti era inferiore ai 3.000. Università e istituzioni di tutto il mondo riconoscono nel progetto qualcosa di genuinamente nuovo: la possibilità di vedere riproduzioni di opere d'arte senza andare in biblioteca, senza acquistare libri costosi, senza spostarsi fisicamente verso le istituzioni che le custodiscono. Il progetto vince il Best of the Web Award 1994 alla *International World Wide Web Conference* di Chicago (ottobre 1994) e il *Cool Site of the Day* nell'aprile dello stesso anno.
Il Musée du Louvre di Parigi invia a Pioch nel novembre 1994 una richiesta formale di cessazione dell'uso del nome "*Louvre*" per ragioni di tutela del marchio istituzionale, episodio paradigmatico delle prime tensioni giuridiche tra istituzioni culturali tradizionali e iniziative digitali indipendenti. Pioch rinomina il sito WebMuseum nel novembre 1994, continuando a gestirlo come progetto individuale non commerciale fino al trasferimento sul *server* di ibiblio (il progetto di "*public's library and digital archive*" dell'Università del North Carolina a Chapel Hill, fondato nel 1992 con il nome *SunSITE* e rinominato *ibiblio* nel 2000) dove rimane accessibile come documento storico dell'*early Web* — il progetto resta consultabile a http://www.ibiblio.org/wm/ come *time capsule* della Web aesthetics dei tardi anni Novanta.
Pioch successivamente lavora alla *École Centrale de Paris* e alla *Hewlett-Packard Laboratories* di Bristol come ricercatore in *machine learning* applicato alla classificazione di immagini, traiettoria che riflette il legame tra le proprie sperimentazioni *early Web* e l'evoluzione successiva del campo.

Bibliografia e Sitografia

Pioch, N. (1994). *WebMuseum, Paris*. https://www.ibiblio.org/wm/
ibiblio. (s.d.). *The Public's Library and Digital Archive*. University of North Carolina at Chapel Hill. https://www.ibiblio.org/

79 LIN HSIN HSIN, LIN HSIN HSIN ART MUSEUM, SINGAPORE, 1994



Figura 145.
Screenshot dal Lin Hsin Hsin Art Museum, © Lin Hsin Hsin / National Gallery Singapore, URL: https://www.national-gallery.sg/content/dam/magazine-details/lin-h-sin-hsin-speed-of-thought/lin-hsin-hsin-speed-of-thought-og.webp.thumb.800.480.png

Il Lin Hsin Hsin Art Museum viene fondato dall'artista singaporiana Lin Hsin Hsin (Singapore, 1949) il 9 settembre 1994 — nello stesso anno in cui Pioch lancia il *WebMuseum* (Scheda 78) e Pesce e Parisi presentano VRML a Ginevra (Scheda 76) — in un momento di straordinaria densità sperimentale in cui il Web nascente viene esplorato simultaneamente da istituzioni, ricercatori e artisti indipendenti che ne riconoscono le possibilità senza ancora sapere quali si riveleranno durature. Lin Hsin Hsin è artista multidisciplinare con formazione in matematica e *computer science* (BSc *Mathematics* alla *Nanyang University* di Singapore 1972, MSc *Computer Science* alla *University of Newcastle upon Tyne* 1975), attiva dalla fine degli anni Settanta in pittura, scultura, poesia visiva, composizione musicale e arte digitale, con oltre 30 mostre personali in istituzioni internazionali (Singapore Art Museum, Tokyo Metropolitan Art Museum, ZKM Karlsruhe). Il museo virtuale è la prima istituzione museale al mondo nata nativamente sul Web come spazio espositivo primario piuttosto che come supplemento digitale di una pratica fisica preesistente, distinzione che la separa nettamente dal *WebMuseum* di Pioch (riproduzioni di opere fisiche) e dalle pagine web che gli istituti museali tradizionali stavano sviluppando contemporaneamente.
Il museo presenta opere digitali originali — poesie visive, esperimenti grafici interattivi, progetti multimediali e collezioni di arte digitale e poesia computazionale — specificamente concepiti per il *medium* web: non riproduzioni di opere fisiche ma lavori che esistono nativamente nel formato digitale, sfruttando le possibilità di animazione, interattività, distribuzione e *loop* temporale che il Web offre e che il supporto fisico non può replicare. La collezione include opere come *Speed of Thought* (1994, una sequenza di poesie visive che si trasformano in animazioni JavaScript), *Mathematical Painting* (serie iniziata nel 1996, dipinti generati attraverso equazioni matematiche), *Fractalscapes* (paesaggi frattali interattivi del 1998-2000), *Algorithmic Music Compositions* (composizioni musicali generative riprodotte in MIDI). La struttura del sito è organizzata come uno spazio espositivo navigabile attraverso interfacce grafiche che rimandano metaforicamente all'architettura del museo tradizionale (gallerie, sale, corridoi) pur riconoscendo l'impossibilità — e l'inutilità — di replicare fedelmente l'esperienza spaziale fisica in un *medium* bidimensionale ipertestuale.
Lin gestisce autonomamente ogni aspetto del museo (curatela, allestimento, aggiornamento dei contenuti, manutenzione tecnica del *server*, *hosting* presso lo stesso *Lin Hsin Hsin Studio* a Singapore) senza intermediari istituzionali, galleristi o curatori professionisti: un modello di produzione e distribuzione dell'arte radicalmente disintermediato che il Web delle origini rendeva possibile per la prima volta nella storia. Il sito è scritto a mano in HTML 2.0 (puro, senza CMS o framework) ed è stato progressivamente aggiornato in HTML 4.01, XHTML 1.0 e — dal 2018 — HTML5, mantenendo la propria interfaccia originale ma migrando su standard tecnici sostenibili.
Il museo virtuale rimane accessibile *online* (http://www.lhham.com.sg) trent'anni dopo la sua fondazione, e questa longevità è essa stessa un dato culturalmente significativo.

Bibliografia e Sitografia

Lin, H. H. (1994). *Lin Hsin Hsin Art Museum* [Museo virtuale]. https://www.lhh.art/

ACTIVE WORLDS INC., ACTIVE WORLDS, USA, 1995

80



Figura 146.
Vista della SW City in Active Worlds, © Active Worlds Inc. / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/3/36/ActiveWorlds_SW_City.jpg

AlphaWorld viene lanciato da Worlds Inc. (società californiana fondata nel 1994 da Ron Britvich, Ron Klatt e David Gobel a San Mateo) il 28 giugno 1995 — rinominato Active Worlds nel 1997 quando la società viene acquisita e ristrutturata come Active Worlds Inc. sotto la guida di Rick Noll — come piattaforma di mondo virtuale tridimensionale multiutente accessibile via Internet. Il *browser* dedicato denominato *AlphaWorld Client* (poi *Active Worlds Browser*), scaricabile gratuitamente, permette agli utenti di visualizzare il mondo virtuale renderizzato in tempo reale sulle workstation domestiche dell'epoca: una scelta tecnica che distingue la piattaforma sia dai giochi MMORPG che richiedevano installazione completa, sia dai mondi VRML che operavano dentro i *browser* web standard ma con prestazioni inadeguate. Al lancio, AlphaWorld è uno dei primi mondi virtuali 3D persistenti accessibili via Internet con architettura *client-server* dedicata, in concorrenza diretta con *The Palace* (Time Warner Interactive, 1995, 2D) e *blaxxun Interactive Worlds* (1996, su VRML).
La piattaforma è costruita attorno a un principio architettonico che la distingue dalle prime sperimentazioni di *cyberspace* e dai MUD (*Multi-User Dungeons*) testuali che l'avevano preceduta: lo spazio virtuale come territorio fisico navigabile in prima persona, dove gli utenti si muovono attraverso ambienti tridimensionali renderizzati in tempo reale, incontrano altri utenti come *avatar*, costruiscono strutture permanenti che persistono dopo la disconnessione. AlphaWorld al lancio è un piano infinito verde sotto un cielo azzurro con un edificio centrale, la "Ground Zero" (coordinate 0N 0W), attorno al quale i primi utenti possono iniziare a costruire qualunque cosa attraverso un sistema di *building blocks* primitivi, posizionando oggetti tridimensionali (cubi, sfere, cilindri, modelli più complessi via formato RWX di Renderware) sulle coordinate del territorio. La crescita del mondo viene guidata interamente dagli utenti attraverso sessioni di costruzione collaborativa o individuale, configurando uno dei primi grandi esperimenti di *user-generated content* in spazi tridimensionali condivisi: nel febbraio 1996 (otto mesi dopo il lancio) il numero di oggetti costruiti supera 1 milione, e nel 1998 raggiunge 50 milioni di oggetti permanenti, distribuiti su un territorio virtuale di superficie equivalente al continente nordamericano.
L'esperienza di AlphaWorld/Active Worlds si caratterizza per due elementi che la rendono storicamente significativa. Primo, la persistenza delle costruzioni: una volta posizionato, un oggetto rimane permanentemente nel mondo, accumulando una stratificazione storica del territorio virtuale che si è consolidata nel tempo.
Il *worldset* di Active Worlds — oltre 1.000 mondi virtuali tematici creati negli anni dagli utenti — costituisce un archivio storico delle estetiche, delle pratiche sociali e delle logiche costruttive che documenta l'evoluzione dell'abitare digitale dall'era pre-broadband all'era contemporanea. Il sistema rimane operativo nel 2026 (sotto la stessa Active Worlds Inc., con sede a Newburyport, Massachusetts), uno dei pochissimi mondi virtuali della prima generazione ancora attivi: con oltre trent'anni di costruzioni stratificate, è il più antico ambiente 3D persistente continuo di Internet.

Bibliografia e Sitografia

Worlds Inc. (1995). *AlphaWorld* [Software]. Worlds Inc.
Active Worlds Inc. (s.d.). *Active Worlds*. https://www.activeworlds.com/

81 EBOY, PIXEL ART CITIES, BERLINO, 1997



Figura 147.
Pixorama "LA Hot Dog 175k" di Los Angeles del collettivo eBoy, © eBoy / eBoy.com, URL: https://www.eboy.com/cdn/shop/files/EBY-LA-Hot-Dog-175k_3x_406fa8a4-bf39-4ced-9bfb-c65f370853cb.png?v=1762471889&width=3840

eBoy viene fondato a Berlino nel febbraio 1997 da Kai Vermehr (Berlino, 1965), Steffen Sauerteig (Lipsia, 1967) e Svend Smital (Berlino, 1968), tre *designer* grafici tedeschi che si incontrano nella scena creativa della Berlino post-riunificazione. La città nei tardi anni Novanta è un laboratorio di sperimentazione culturale e visiva senza equivalenti in Europa: la Berlino del *techno underground*, dei *squatter projects* nei vecchi distretti orientali, dei *labels* indipendenti di musica elettronica come *BPitch Control* e *Get Physical*, è il contesto da cui emerge l'estetica eBoy.
I tre fondatori, formati alla *Hochschule der Künste Berlin* e alla *Hochschule für Grafik und Buchkunst Leipzig*, decidono di fondare il collettivo come reazione esplicita all'estetica del *grunge typography* di David Carson e all'iperdesign minimalista del *brand corporate* di fine millennio: due posizioni dominanti del *design* visivo dell'epoca che eBoy rifiuta in favore di una terza via — il pixel come unità grammaticale fondamentale del visivo digitale.
Il collettivo sviluppa fin dalle prime produzioni un linguaggio visivo immediatamente riconoscibile: prospettiva isometrica rigorosa (specifica matematica della *axonometric projection* a 30°/30°/30° tra gli assi), pixel art ad alta densità (tipicamente 150-300 dpi), *palette* di colori limitata e controllata (in genere 16-64 colori per immagine), accumulo frenetico di dettagli che trasforma ogni immagine in un sistema di micro-narrative simultanee.
Le Pixorama — il termine che eBoy conia nel 2000 per le proprie rappresentazioni di città immaginarie — sono metropoli densamente popolate di edifici, veicoli, insegne pubblicitarie, persone, animali, oggetti tecnologici e culturali che coesistono in uno spazio isometrico dove la prospettiva non ha punto di fuga ma si estende potenzialmente in tutte le direzioni, producendo l'effetto di un territorio infinito che l'occhio può esplorare per ore senza esaurire i dettagli. Le Pixorama più note (*FooBar* 2000, *Kuala Lumpur* 2001, *Tokyo* 2003, *Berlin* 2005, *Mumbai* 2009, *LA Hot Dog 175k* 2018) raggiungono dimensioni di oltre 175.000 pixel e tempi di lavorazione di 8-12 mesi ciascuna, con prezzi di vendita delle stampe a edizione limitata che superano i 5.000 euro per le edizioni più ricercate.
La tecnica è quella della pixel art: ogni elemento è costruito manualmente *pixel per pixel*, con una disciplina artigianale che richiede centinaia di ore per immagine, ma applicata a una scala e una complessità che supera di molti ordini di grandezza le limitazioni tecniche da cui la pixel art era storicamente nata: non la necessità di lavorare entro i vincoli di memoria dei processori degli anni Ottanta (l'Atari 2600 con 128 byte di RAM, il Nintendo Entertainment System con 2 KB), ma la scelta estetica consapevole di un linguaggio visivo che porta i vincoli tecnici al loro limite espressivo massimo.
Il software impiegato è inizialmente Adobe Photoshop con tecniche manuali pixel-perfect, e dal 2010 anche Aseprite (programma specializzato per pixel art sviluppato dall'argentino David Capello) per le animazioni.

Bibliografia e Sitografia

eBoy. (2003). *eBoy*. Die Gestalten Verlag.
Kidd, C. (Ed.). (2005). *eBoy: Pixorama*. Laurence King Publishing.
eBoy. (s.d.). *eBoy*. https://hello.eboy.com/

PETER HEISENMAN ET AL., THE VIRTUAL HOUSE COMPETITION, 1997

82

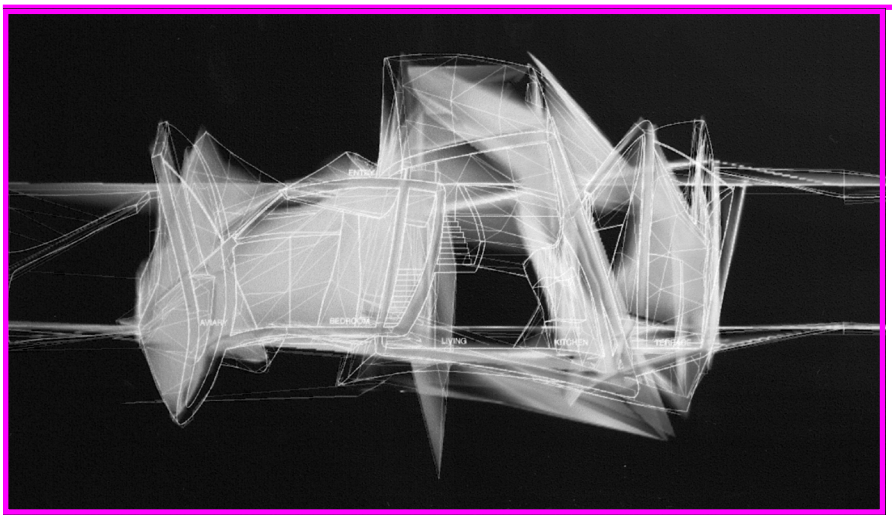


Figura 148.
Rappresentazione concettuale della Virtual House di Peter Eisenman, © Peter Eisenman/Eisenman Architects / Cargo. site, URL: https://freight.cargo.site/w/3500/q/94/i/ac5b60d8a-2d8b41688b7a1f718d-b9096e2d33482b-139ce176848974c-d5463bc1/34.jpg

The Virtual House viene pubblicato nel numero doppio 19/20 di ANY Magazine nel 1997, la rivista teorica fondata a New York nel 1993 da Cynthia C. Davidson e co-diretta da Peter Eisenman (Newark, NJ, 1932) come supporto editoriale dell'omonima organizzazione no-profit *Anyone Corporation* (dedicata alla promozione del dibattito architettonico internazionale attraverso pubblicazioni e conferenze annuali tematiche). ANY è il principale organo del dibattito architettonico d'avanguardia internazionale degli anni Novanta, noto per i numeri tematici che riunivano le posizioni più avanzate della disciplina attorno a questioni fondamentali. La pubblicazione ha generato 27 fascicoli tra il 1993 e il 2000 con titoli iconici come *AnyOne* (1991), *AnyHow* (1996), *AnyThing* (2000), e una serie di conferenze annuali alle quali hanno partecipato i protagonisti del dibattito teorico contemporaneo: Jacques Derrida, Toyo Ito, Rem Koolhaas, Manuel Castells, Saskia Sassen, Hélène Cixous, Slavoj Žižek. La scelta del tema — la casa virtuale — in un momento in cui il Web ha tre anni di vita pubblica e i primi mondi virtuali tridimensionali stanno emergendo su Internet (Active Worlds, Scheda 80, era stato lanciato nel 1995; il *Guggenheim Virtuale* di Asymptote, Scheda 84, è in fase di sviluppo nel 1997-1999), è una dichiarazione programmatica: il "*virtuale*" non è una questione tecnologica periferica ma il problema centrale che la disciplina architettonica deve affrontare alla fine del millennio. La curatela del numero è di Cynthia Davidson e Sanford Kwinter (architetto e teorico canadese, allora *Visiting Professor* alla *Harvard Graduate School of Design*), che selezionano sei contributi di studi e autori internazionali ciascuno con un proprio rapporto specifico con il digitale e con la questione del virtuale.
I contributi riuniti nel numero sono firmati da: Peter Eisenman (con Eisenman Architects, NY), Jean Nouvel (Paris), Toyo Ito (Tokyo, Scheda 47), FOA / Foreign Office Architects (Alejandro Zaera-Polo e Farshid Moussavi, London), Herzog & de Meuron (Basel), Daniel Libeskind (Berlin/NY) e Ingeborg Rocker (Princeton); un campionario delle posizioni più avanzate della disciplina internazionale dei tardi anni Novanta. Eisenman affronta il virtuale come *condizione epistemologica*: la *Virtual House* non è un edificio connesso a Internet ma uno spazio concettualmente liberato dalla necessità di corrispondere a una funzione predeterminata, capace di ospitare simultaneamente configurazioni spaziali incompatibili nella realtà fisica.
Il numero di ANY si colloca in un momento di straordinaria tensione teorica nella disciplina: da un lato la maturazione dell'architettura digitale, con Greg Lynn (Scheda 75) e Marcos Novak (Scheda 74) che stavano dimostrando le possibilità generative del digitale; dall'altro la pressione della cultura Internet e delle prime sperimentazioni di realtà virtuale che stavano ridefinendo le modalità di comunicazione, lavoro e socialità. La *Virtual House Competition* funziona come momento di sintesi e di interrogazione: non risolve la questione del virtuale in architettura ma la pone con chiarezza come campo di sperimentazione disciplinare aperto.

Bibliografia e Sitografia

Davidson, C. (Ed.). (1997). The Virtual House [Numero monografico]. ANY: *Architecture New York*, 19/20.
Eisenman, P. (1993). *Eisenman architects: Selected and current works*. Images Publishing.

83 FUMIO MATSUMOTO, INFOTUBE & GINGA, TOKYO, 1999



Figura 149.
Screenshot Progetto INFOTUBE/GINGA di Fumio Matsumoto, © Fumio Matsumoto/Plannet Architectures / University Museum - The University of Tokyo, URL: https://www.um.u-tokyo.ac.jp/people/images/project_matsumoto38b.jpg

Infotube e Ginga vengono sviluppati dall'architetto e designer giapponese Fumio Matsumoto (Tokyo, 1963) nel 1999, nell'ambito della sperimentazione che il Plannet Architectures Studio (fondato a Tokyo nel 1991) conduce sull'applicazione dei principi compositivi dell'architettura al *design* di ambienti e interfacce digitali. Matsumoto, formatosi alla *Waseda University* (B.Eng. 1986, M.Eng. 1988 in *Architecture*) e successivamente assistente di Toyo Ito (Scheda 47) prima della fondazione del proprio studio, sviluppa i due progetti come *commission* del *MIT Media Lab* (in collaborazione con il *Visual Computing Group* di Henry Lieberman) e del *NTT InterCommunication Center* (ICC) di Tokyo, una delle istituzioni più importanti per l'arte digitale giapponese fondata nel 1997. I due progetti vengono presentati alla *SIGGRAPH* 1999 di Los Angeles e successivamente esposti all'ICC nella mostra "*InterArchitecture* 99" dal novembre 1999 al febbraio 2000.
I due progetti si collocano in un contesto disciplinare preciso: la fine degli anni Novanta è il momento in cui la comunità internazionale dei progettisti di interfacce inizia a interrogarsi sistematicamente su come organizzare spazialmente l'informazione digitale, superando il paradigma della pagina web bidimensionale (ereditato dalla cultura del documento stampato) verso modelli tridimensionali che sfruttino le possibilità specifiche del *medium* computazionale. Infotube propone una metafora spaziale tubolare per la navigazione di flussi informativi: l'interfaccia come condotto cilindrico che orienta e canalizza il movimento dell'utente attraverso archivi di dati, applicando alla navigazione digitale la logica circolatoria che nell'architettura fisica governa la relazione tra percorso e spazio.
Tecnicamente, il sistema è implementato come *applet* Java 1.1 con grafica OpenGL, e organizza i contenuti web (testi, immagini, video) lungo le pareti interne di un cilindro tridimensionale che l'utente attraversa con i comandi del mouse, in un modello di navigazione che anticipa di un decennio la *Wall* di Microsoft Surface (2007) e gli ambienti immersivi di Apple Vision Pro (2024).
Ginga (termine giapponese per "*galassia*" o "*Via Lattea*", che evoca simultaneamente la vastità cosmica e la struttura distribuita di sistemi stellari) propone la spazializzazione tridimensionale di contenuti web come costellazione navigabile: i dati non disposti linearmente sulla pagina ma organizzati nello spazio secondo gerarchie di importanza, affinità tematica e relazioni ipertestuali, visualizzabili e attraversabili come un territorio cosmico.
Ogni *cluster* di contenuti correlati forma una "*galassia*" locale, le cui posizioni relative riflettono le connessioni semantiche tra i temi, calcolate algoritmicamente attraverso analisi statistica del testo (un precursore concettuale dei moderni *embedding* semantici). Il progetto Ginga ha avuto sviluppi successivi nel Tokyo Reality Lab all'Università di Tokyo (collaborazione 2001-2005 con Hiroshi Ishii del MIT Media Lab Tangible Media Group) e nelle installazioni interattive *Sound Garden* (2003) e *Information Forest* (2005) presentate al *NTT ICC*.

Bibliografia e Sitografia

Matsumoto, F. (1999). *Digital space design: Infotube and Ginga*. Plannet Architectures Studio.
Matsumoto, F. (2010). Spatial information architecture. In K. Dunn (Ed.), *Digital fabrication in architecture* (pp. 142–157). Laurence King.

ASYMPTOTE, MUSEO GUGGENHEIM VIRTUALE, USA, 1999

84



Figura 150.
Screenshot del Guggenheim Virtual Museum, © Asymptote Architecture/Solomon R. Guggenheim Foundation, URL: https://images.ctfassets.net/6gdr28q08qb8/3yGXP6l5r2GqSKgMeMQMQS/1e355e878fd16ed2ae99aa230a4aba6b/Asymptote_Guggenheim_Virtual_Museum_4.png

Il Virtual Guggenheim Museum viene commissionato dalla Solomon R. Guggenheim Foundation allo studio Asymptote Architecture — fondato a New York nel 1989 da Hani Rashid (Cairo, 1958) e Lise Anne Couture (Montréal, 1959), tra i protagonisti della prima generazione dell'architettura digitale americana — nel marzo 1999, con l'obiettivo di costruire un museo che esiste esclusivamente nel dominio digitale: non la versione *online* di un'istituzione fisica esistente, non la digitalizzazione di una collezione, ma uno spazio architettonico concepito nativamente per l'esistenza virtuale, accessibile via *browser* web attraverso i *plugin* Cult3D (motore real-time della società svedese *Cycore Effects*) e VRML/X3D. Il progetto è curato dal direttore Guggenheim Thomas Krens in collaborazione con il *new media curator* Matthew Drutt, con un budget di sviluppo di circa 2,5 milioni di dollari e tempi di produzione di 18 mesi (marzo 1999 – settembre 2000).
Il progetto viene presentato alla Biennale di Venezia di Fuksas del 2000 (Scheda 57) nel Padiglione degli Stati Uniti (curato da Aaron Betsky e Hani Rashid stesso come "*laboratorio creativo*", sotto il titolo "*Hyper-Architecture*") come uno dei manifesti dell'architettura digitale matura: non più sperimentazione accademica ma commissione istituzionale da parte di una delle fondazioni museali più importanti al mondo. L'ambiente virtuale che Asymptote progetta è una struttura fluida e organica radicalmente impossibile da costruire fisicamente: gallerie che si deformano in risposta alla navigazione dell'utente, superfici riflettenti che moltiplicano e distorcono gli spazi circostanti, illuminazione dinamica che modifica la qualità percettiva degli ambienti in tempo reale, geometrie topologiche continue che non distinguono tra pavimento, pareti e soffitto secondo la logica della *Blob Architecture* di Greg Lynn (Scheda 75). La modellazione è realizzata in Alias|Wavefront MAYA 2.5 con plugin custom sviluppati internamente da Asymptote per esportare le geometrie verso il motore Cult3D, in un *workflow* tecnico che richiede ottimizzazioni manuali per mantenere prestazioni accettabili sui modem ISDN dell'epoca (64-128 kbps).
Hani Rashid descrive il progetto con una formula che è diventata canonica: "*un'architettura liberata dalla gravità, dalla struttura e dal budget*", tre vincoli che nell'architettura fisica determinano gran parte delle decisioni compositive e che nel dominio virtuale cessano di avere qualsiasi rilevanza. Il museo virtuale ospita mostre curate digitalmente, una selezione della collezione Guggenheim in formato ad alta risoluzione (oltre 200 opere ad alta risoluzione), e installazioni di net.art commissionate specificamente per l'ambiente digitale: opere di Mark Napier (*P-Soup*, 2000), John F. Simon Jr. (*Color Panel v1.5*, 1999) e Cary Peppermint che non esistono in formato fisico e che il museo virtuale non solo ospita ma costituisce come spazio di esistenza primaria. Il progetto si interrompe nel 2002 dopo il sequestro dei *server* del Guggenheim conseguente alla crisi finanziaria della *Solomon R. Guggenheim Foundation* (post-fallimento della *Las Vegas Guggenheim* nel 2003 e cancellazione del *Guggenheim Rio de Janeiro* di Jean Nouvel nel 2003).

Bibliografia e Sitografia

Solomon R. Guggenheim Foundation. (2001). *Virtual Guggenheim Museum: Project documentation*. Guggenheim Museum Publications.
Asymptote Architecture. (s.d.). *Virtual Guggenheim*. http://www.asymptote.net/

85 MAXIS/EA, THE SIMS, USA, 2000



Figura 151.
Screenshot interfaccia di The Sims, © Electronic Arts/Maxis / MoMA Collection, URL: https://www.moma.org/collection/works/162461

The Sims viene pubblicato da Maxis (acquisita da Electronic Arts nel giugno 1997) il 4 febbraio 2000 per piattaforma Windows (con porting successivo su macOS, Linux, PlayStation 2, Xbox e GameCube tra il 2003 e il 2004), sviluppato da Will Wright (Scheda 73), già autore di *SimCity* (1989), come evoluzione logica della propria ricerca sulla simulazione. Se *SimCity* permetteva di progettare e gestire la città dalla prospettiva distante del sindaco-pianificatore, *The Sims* porta la prospettiva al livello del singolo abitante, all'interno della casa, nella vita quotidiana. Il passaggio dalla scala urbana alla scala domestica, dalla visione zenitale alla soggettiva obliqua isometrica, è un cambiamento concettuale fondamentale che Wright aveva concepito già nel 1991 come *Project X* — progetto a lungo accantonato perché Maxis non riteneva un'esistenza simulata di routine domestica un soggetto commercialmente vendibile, prima che i giochi Tamagotchi (1996) e Nintendogs (2005) dimostrassero la fattibilità di un mercato per la simulazione dell'accudimento.
Il giocatore controlla uno o più *Sims* in una casa che può progettare liberamente con un editor architettonico integrato (*Build Mode*, con pareti, pavimenti, finestre, scale, tetti) e arredare con un catalogo di centinaia di oggetti predefiniti (*Buy Mode*, oltre 150 oggetti nel gioco originale, espansi a oltre 5.000 con le otto *expansion pack* successive). Ogni *Sim* è un'entità complessa con tratti di personalità (cinque assi: *Neat-Sloppy*, *Outgoing-Shy*, *Active-Lazy*, *Playful-Serious*, *Nice-Grouchy*), bisogni psico-fisici simulati (otto *needs*: *Hunger*, *Comfort*, *Hygiene*, *Bladder*, *Energy*, *Fun*, *Social*, *Room*), umore variabile, relazioni interpersonali e ambizioni di carriera. L'IA degli oggetti (*Smart Terrain*) è un'innovazione tecnica decisiva: sviluppata da Jamie Doornbos del team Maxis sulla base delle teorie del *behavioural economics* di Will Wright, gli oggetti dichiarano i propri "*affordance*" (capacità di soddisfare bisogni: il letto offre "*Energy*", il bagno "*Hygiene*", il televisore "*Fun*") e i *Sims* selezionano autonomamente le azioni da compiere in base ai propri bisogni più urgenti, riducendo il carico cognitivo del giocatore.
Il successo commerciale di *The Sims* è straordinario e duraturo: vende oltre 16 milioni di copie nel primo anno, diventa il videogioco PC più venduto della storia (record mantenuto fino al 2009 con il rilascio di *World of Warcraft: Wrath of the Lich King*), genera una serie di otto sequel principali (*The Sims 2* nel 2004, *The Sims 3* nel 2009, *The Sims 4* nel 2014, *The Sims 5* annunciato per il 2026 come *Project Rene*) e oltre 50 *expansion pack*, *stuff pack* e *kit* per un totale di oltre 200 milioni di copie vendute entro il 2024 cumulativamente attraverso le quattro generazioni. Con una *user base* la cui demografia femminile sfiorava il 60% (proporzione anomala in un mercato storicamente dominato da giocatori maschi) il gioco dimostra che la simulazione della vita quotidiana e dell'abitare domestico è un'esperienza coinvolgente per un pubblico vastissimo che i giochi d'azione tradizionali non riuscivano a raggiungere. *The Sims* ha vinto il *D.I.C.E. Hall of Fame* nel 2018 ed è stato citato come una delle "50 *video games that defined the medium*" dal *Smithsonian American Art Museum* nella mostra *The Art of Video Games* (2012).

Bibliografia e Sitografia

Wright, W. (2000). *The Sims* [Videogioco]. Maxis / Electronic Arts.
Electronic Arts. (s.d.). *The Sims*. https://www.ea.com/games/the-sims

LINDEN LAB, SECOND LIFE, USA, 2003

86



Figura 152.
Screenshot di concerto virtuale in Second Life, © Linden Lab / Wikimedia Commons, URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Second_Life#/media/File:Virtual_concert_in_Second_Life.png

Second Life viene lanciato da Linden Lab il 23 giugno 2003, fondata nel 1999 a San Francisco da Philip Rosedale (San Diego, 1968) — ingegnere californiano, ex *Vice President for Engineering* di RealNetworks (1996-1999, dove aveva sviluppato il *RealVideo* streaming), che aveva dichiarato di essersi ispirato direttamente a *Snow Crash* di Neal Stephenson (1992, Scheda 49) come modello concettuale per la piattaforma — con una visione radicalmente diversa da qualsiasi mondo virtuale precedente: non un gioco con obiettivi predefiniti, non una piattaforma di comunicazione con *avatar*, ma un mondo persistente interamente generato dagli utenti, dove ogni oggetto, ogni edificio, ogni animazione, ogni abito è creato dai residenti stessi attraverso strumenti di modellazione 3D integrati nella piattaforma e il linguaggio di *scripting* proprietario LSL (*Linden Scripting Language*, sintassi simile a C/Java con costrutti specifici per gli eventi di mondo virtuale: *touch*, *collision*, *listen*).
Il territorio è organizzato in "regioni di 256 × 256 metri" (denominate "sims", ognuna corrispondente a una "server instance" dedicata sul "server cluster" Intel Xeon che Linden Lab gestiva inizialmente nei propri data center di San Francisco), acquistabili come proprietà virtuale con diritti di costruzione esclusivi (prezzo medio nel 2007: 1.675 dollari per regione + 295 dollari/mese di affitto, oggi 600 dollari + 229 dollari/mese rispettivamente). La valuta interna (il "Linden Dollar", abbreviato L per 1 USD nel 2024) è convertibile in dollari reali attraverso un mercato di cambio ufficiale ("LindeX", lanciato nel maggio 2005), creando un'economia virtuale funzionante in cui i creatori di contenuti più prolifici guadagnano redditi significativi dalla vendita di oggetti, abbigliamento, architetture e animazioni.
Questa combinazione — proprietà intellettuale dei creatori (politica adottata da Linden Lab nel novembre 2003), economia reale integrata, strumenti di costruzione universalmente accessibili, mondo persistente senza obiettivi predeterminati — produce tra il 2004 e il 2007 un fenomeno culturale senza precedenti.
Università come Harvard (Berkman Klein Center, dal 2005), MIT (Comparative Media Studies), Stanford, Vassar, Princeton e in Italia Bocconi, Università degli Studi di Milano, Università Roma Tre aprono campus virtuali per tenere lezioni e seminari; aziende come IBM (oltre 100 *island* virtuali), Sun Microsystems, Toyota, American Apparel, Adidas, Reuters (con un proprio *bureau* virtuale dal 2006) costruiscono sedi per formazione e presentazioni di prodotto; governi nazionali aprono ambasciate virtuali (la Maldive Embassy del 2007 è la prima, seguita da Svezia, Estonia, Filippine, Repubblica Ceca, Israele, Albania, Macedonia); band come U2, Duran Duran (con un *island* dedicato dal 2006), Suzanne Vega, Ben Folds, Wilco tengono concerti davanti a decine di migliaia di *avatar*. Al picco del 2007, Second Life conta oltre 13 milioni di account registrati e un PIL interno stimato in 500 milioni di dollari annui, numeri che fanno notizia sui principali *media* internazionali e inducono economisti, sociologi e teorici dei *media* a studiare il mondo virtuale come laboratorio di fenomeni sociali ed economici reali.

Bibliografia e Sitografia

Boellstorff, T. (2008). *Coming of age in Second Life: An anthropologist explores the virtually human*. Princeton University Press.
Au, W. J. (2008). *The making of Second Life: Notes from the new world*. Collins.

87 MARK ZUCKERBERG, FACEBOOK, USA, 2004



Figura 153.
Screenshot interfaccia Facebook originale, © Meta Platforms / Corriere della Sera, URL: https://dimages2.corriereobjects.it/files/image_593_443/uploads/2024/01/31/65ba-13df3e2b4.png

Facebook viene fondato il 4 febbraio 2004 da Mark Zuckerberg (White Plains, NY, 1984), studente ventenne di informatica e psicologia all'Università di Harvard, con i co-fondatori Eduardo Saverin (San Paolo, 1982; *CFO*), Andrew McCollum (Pennsylvania, 1983; *graphic designer*), Dustin Moskovitz (Gainesville, 1984; *engineer*) e Chris Hughes (Hickory NC, 1983; *PR*), inizialmente sotto il nome *TheFacebook* come servizio riservato agli studenti di Harvard. Il dominio thefacebook.com viene registrato l'11 gennaio 2004; il sito è programmato in PHP da Zuckerberg in un dormitorio della *Kirkland House* di Harvard nell'arco di una settimana, ospitato inizialmente su un server *shared hosting* a 85 dollari/mese.
La specificità che distingue il progetto di Zuckerberg dai *social network* contemporanei (MySpace, Friendster, SixDegrees.com, fondato nel 1997 e considerato il primo social network propriamente detto) è la scelta dell'identità reale verificata come principio fondante: dove MySpace permetteva pseudonimi e profili fittizi, *TheFacebook* richiede l'indirizzo email istituzionale dell'università (con dominio .edu) come condizione di accesso, garantendo che ogni profilo corrisponda a una persona reale con un'identità verificabile attraverso la propria istituzione di appartenenza. Questa scelta — che Zuckerberg descrive come volontà di replicare digitalmente le dinamiche sociali dei *campus* universitari fisici, dove i "*facebook*" cartacei delle matricole servivano a conoscere i propri colleghi — produce un tipo di socialità digitale radicalmente diverso dal modello pseudonimo dominante: non la costruzione di identità alternative nel *cyberspace*, ma la proiezione dell'identità fisica nello spazio digitale.
L'espansione è rapida e strutturata: dalle università Ivy League (Yale, Columbia, Stanford, Princeton, Dartmouth, Brown, Cornell tra il febbraio e il marzo 2004) all'intero sistema universitario statunitense (entro la fine del 2004 raggiunge 30 università), alle scuole superiori statunitensi (settembre 2005), all'apertura globale per chiunque abbia più di tredici anni nel settembre 2006. Il primo finanziamento esterno di Peter Thiel (PayPal co-founder, 500.000 dollari nell'agosto 2004) inaugura una serie di *funding rounds* che porteranno la valutazione della società da pochi milioni nel 2004 a 50 miliardi al momento dell'IPO del 18 maggio 2012. Nel 2012, Facebook supera un miliardo di utenti attivi mensili; nel 2016 raggiunge 1,79 miliardi; nel 2021, anno del *rebranding* in Meta (Scheda 99), la famiglia di prodotti (Facebook, Instagram, WhatsApp, Messenger, Threads, Oculus/Meta Quest) conta oltre 3,5 miliardi di utenti attivi mensili cumulativi, rendendola la più grande infrastruttura sociale mai costruita.
L'impatto culturale e politico di Facebook travalica ampiamente la dimensione del *social network* per investire le strutture fondamentali della comunicazione pubblica, della politica e dell'economia dell'attenzione. Eventi come la diffusione di disinformazione politica nelle elezioni presidenziali statunitensi del 2016, il ruolo della piattaforma nella *Arab Spring* del 2011 e nella *Brexit* del 2016, la crisi dell'editoria e delle pratiche giornalistiche tradizionali, hanno riconfigurato il dibattito pubblico sulle responsabilità delle piattaforme digitali, portando alle audizioni parlamentari di Zuckerberg negli Stati Uniti (Congresso, aprile 2018) e nell'Unione Europea (Parlamento Europeo, maggio 2018).

Bibliografia e Sitografia

Meta Platforms. (s.d.). *Company info*. https://about.meta.com/

GOOGLE, GOOGLE STREET VIEW, USA, 2007

88



Figura 154.
Logo Google Street View, © Google / Google, URL: https://lh3.googleusercontent.com/beHNDtluUwK6HO-2MAcsEjo_K5fgAOR-4G15SzFYkAE9nVc66h-geZw0of5YtVW1X-HHx6P-ZHgXlUlMFA2S-s0VxsST3jUOWnafszFX-gpVO4gs92bnmylQ

Google Street View viene lanciato il 25 maggio 2007 per cinque città statunitensi (San Francisco, New York, Las Vegas, Miami, Denver) come estensione di Google Maps che porta la navigazione cartografica dall'astrazione planimetrica alla fotografia a livello stradale: non la rappresentazione simbolica dello spazio urbano ma la sua documentazione fotografica panoramica navigabile in prima persona. Il progetto nasce nel 2001 come sperimentazione del *Stanford CityBlock Project* di Marc Levoy e Vaibhav Vaish, finanziato da Google nel 2004 e successivamente sviluppato come prodotto commerciale dal team di Larry Page stesso (allora VP *Engineering*) con il direttore tecnico Luc Vincent e il *research scientist* Dragomir Anguelov.
Il sistema tecnico è un'impresa di ingegneria della percezione senza precedenti: veicoli equipaggiati con sistemi di fotocamere multi-lens *custom* (la prima generazione R5 del 2007 con 8 obiettivi disposti in configurazione circolare; la R7 del 2010 con 15 obiettivi in copertura sferica completa; la generazione 2022 con 7 obiettivi a risoluzione superiore a 140 megapixel cumulativa), GPS ad alta precisione e sensori LIDAR Velodyne per la cattura di dati tridimensionali percorrono sistematicamente le strade di città, paesi e sentieri di tutto il mondo. Il software di Google processa automaticamente le immagini attraverso algoritmi di *stitching* panoramico (sviluppati come evoluzione del progetto accademico RANSAC del 2003), riconoscimento e oscuramento automatico di volti e targhe per la tutela della privacy (politica introdotta dopo le pressioni del *Garante per la protezione dei dati personali* europeo nel 2008), e integrazione precisa con il *database* cartografico di Google Maps. Per gli ambienti accessibili solo a piedi, Google ha sviluppato il *Trekker* (zaino di 18 kg con sistema sferico, in uso dal 2012 in luoghi come il Grand Canyon e l'Antartide), il *Trolley* per gli interni (musei, stazioni, aeroporti) e il *Snowmobile* per le piste sciistiche.
L'espansione è rapida e sistematica: entro il 2009 Street View copre le principali città di Europa, Australia, Giappone e Nuova Zelanda; entro il 2012 raggiunge oltre 56 paesi; entro il 2023 la raccolta totalizza oltre 220 paesi e territori con 36 milioni di chilometri di strade documentate e oltre 220 miliardi di immagini panoramiche archiviate. L'aggiornamento periodico delle riprese (alcune strade vengono fotografate fino a sei o sette volte nel corso degli anni; *time travel feature* introdotta nell'aprile 2014) trasforma Street View da *snapshot* statico in archivio temporale evolutivo: la stessa via è documentata in anni diversi, rendendo visibili trasformazioni urbane, demolizioni, costruzioni, modifiche del tessuto commerciale con una granularità che nessun altro sistema di documentazione del patrimonio urbano aveva mai raggiunto.
La risorsa è oggi utilizzata sistematicamente nelle piattaforme di *machine learning* per addestrare modelli di guida autonoma (Waymo, Cruise, Tesla Autopilot) su decine di petabyte di immagini stradali geolocalizzate.

Bibliografia e Sitografia

Anguelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., Ogale, A., Vincent, L., & Weaver, J. (2010). Google Street View: Capturing the world at street level. *IEEE Computer*, 43(6), 32–38. https://doi.org/10.1109/MC.2010.170
Google. (s.d.). *Google Street View*. https://www.google.com/streetview/

89 UBISOFT, ASSASSIN'S CREED, FRANCIA/CANADA, 2007



Figura 155.
Screenshot di gioco Assassin's Creed, © Ubisoft / Ubisoft Entertainment, URL: https://staticctf.ubisoft.com/J3yJr34U2pZ2Ieem48Dwy9uqj5PNUQTn/STNA8wMcQAfHTiYAOGfCF/911ea4ecd43cfd8594ab597e8980351a/AC1_game_overview_1.jpg

Assassin's Creed viene pubblicato da Ubisoft il 13 novembre 2007 per Xbox 360 e PlayStation 3 (versione PC nell'aprile 2008), sviluppato principalmente dallo studio Ubisoft Montreal sotto la direzione del *creative director* Patrice Désilets, dello *story designer* Corey May e del *lead game designer* Jade Raymond, con un budget di produzione di circa 20 milioni di dollari e un team di oltre 150 persone. È un *action-adventure* in *open world* ambientato durante la Terza Crociata del 1191: il giocatore controlla Altaïr Ibn-La'Ahad (un assassino della setta degli Hashshashin di Alamut) in un mondo navigabile liberamente che include ricostruzioni di Gerusalemme, Acri e Damasco con un livello di dettaglio architettonico e di scala urbana senza precedenti nel *medium* videoludico dell'epoca. La cornice narrativa moderna — il protagonista contemporaneo Desmond Miles vive le memorie genetiche del proprio antenato attraverso una macchina chiamata *Animus* — costituisce un dispositivo narrativo che giustifica e tematizza il rapporto tra ricostruzione storica e *gameplay*.
La produzione del gioco mobilita team di storici, archeologi e architetti che lavorano parallelamente ai *game designer* per garantire un'accuratezza filologica documentabile: planimetrie urbane derivate da fonti cartografiche medievali (le mappe arabe del XII-XIII secolo conservate alla *Bibliothèque nationale de France*, gli atlanti crociati), tipologie architettoniche verificate su fonti iconografiche coeve e su ricerche sul campo (sopralluoghi a Gerusalemme nel 2005-2006), materiali e tecniche costruttive appropriate al contesto geografico e temporale. Il *consultant* storico Maxime Durand (assunto da Ubisoft Montreal nel 2006) coordina dal 2007 l'intera produzione storica della saga e diventerà figura centrale del franchise. Il risultato è un ambiente che non è né una ricostruzione scientifica né una fantasia storica ma qualcosa di strutturalmente ibrido: uno spazio che incorpora conoscenza storica reale in un *framework* narrativo fittizio, producendo un'esperienza in cui l'accuratezza documentaria e la libertà creativa coesistono senza che l'una distrugga l'altra.
La meccanica di parkour urbano — che permette al giocatore di scalare qualsiasi edificio, attraversare i tetti, immergersi nella folla e osservare la città dall'alto dei minareti — trasforma la ricostruzione architettonica in esperienza corporea: non si guarda Gerusalemme dall'esterno ma la si abita in prima persona, la si percorre verticalmente e orizzontalmente, la si conosce attraverso il movimento piuttosto che attraverso la contemplazione.
Il significato culturale del *franchise* viene riconosciuto istituzionalmente in modo esplicito nel 2019, quando l'incendio di Notre-Dame de Paris del 15 aprile distrugge la guglia e parte della copertura della cattedrale: il modello tridimensionale di Notre-Dame realizzato per *Assassin's Creed Unity* (2014), in cui la cattedrale è navigabile internamente ed esternamente con un livello di dettaglio che aveva richiesto due anni di lavoro alla *level artist* Caroline Miousse del team Ubisoft Montréal, viene immediatamente offerto da Ubisoft come riferimento documentario per la ricostruzione (l'azienda dona inoltre 500.000 euro per il restauro della cattedrale).

Bibliografia e Sitografia

Ubisoft. (2007). *Assassin's Creed* [Videogioco]. Ubisoft Montreal / Ubisoft Entertainment SA.
Ubisoft. (s.d.). *Assassin's Creed Discovery Tour*. https://www.ubisoft.com/en-us/game/assassins-creed/discovery-tour

CAO FEI, RMB CITY, CINA, 2007

90

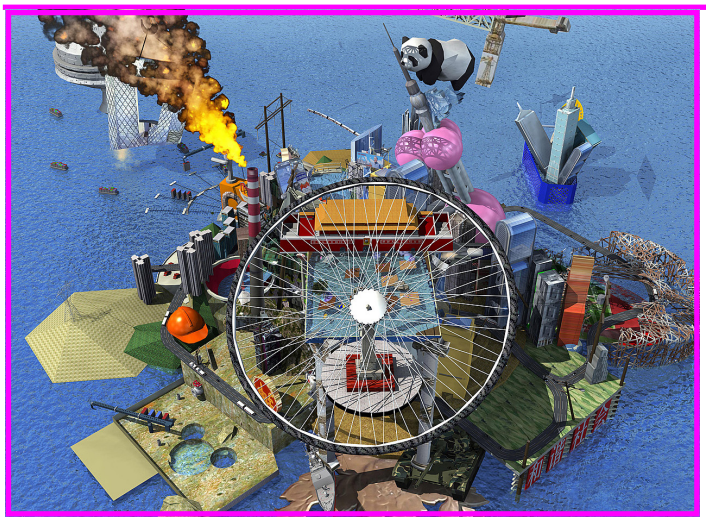


Figura 156.
Cao Fei - RMB City, © Solomon R. Guggenheim Foundation / Guggenheim Museum, URL: https://www.guggenheim.org/wp-content/uploads/2007/01/2008.30_ph_web-1.jpg

RMB City viene sviluppato dall'artista cinese Cao Fei (Guangzhou, 1978,alias online *China Tracy*) — figura centrale della scena artistica contemporanea cinese con una pratica che attraversa video, performance, installazione e ambienti virtuali — all'interno di Second Life (Scheda 86) tra il novembre 2007 e l'agosto 2011, come progetto di *net art* e architettura virtuale che usa lo spazio del metaverso come campo di indagine critica sulle trasformazioni della Cina post-*Reform and Opening* di Deng Xiaoping del 1978. Il progetto è commissionato dalla Lombard-Freid Projects di New York e dalla Vitamin Creative Space di Guangzhou, con il supporto curatoriale di Hou Hanru (curatore franco-cinese, attualmente *Artistic Director* del MAXXI di Roma) e finanziato attraverso una struttura ibrida che include sponsor istituzionali (Serpentine Galleries) e privati (la collezione *White Rabbit* di Judith Neilson).

Il nome è costruito con deliberata polisemia: RMB è simultaneamente l'abbreviazione di Renminbi (la valuta nazionale cinese, "*Popolo's Money*") e l'acronimo di "*Race Mission Belief*", indicando una triplice tensione tra identità etnica, finalità strumentale e sistema di valori che l'opera mette in scena senza risolvere. La città virtuale che Cao Fei costruisce in Second Life è un *collage* urbano stratificato di straordinaria densità iconografica: architetture imperiali tradizionali cinesi (padiglioni, porte, tetti a iperbole, pagode), simboli della Rivoluzione Culturale (manifesti di propaganda maoista, figure di Guardie Rosse con bandiere rosse, ritratti di Mao Zedong di scala monumentale), grattacieli del capitalismo globale contemporaneo (replica del *World Trade Center*, della Bank of China di Pei a Hong Kong), elementi di cultura *pop* kitsch (panda giganti fluttuanti, draghi decorativi, insegne neon in caratteri cinesi tradizionali e semplificati), oggetti surreali (uccelli giganti dalle orecchie di Topolino) e riferimenti alla fantascienza (replica di un astronauta sovietico, simboli delle missioni Apollo). L'isola virtuale ha le coordinate (90, 90) all'interno della mainland Second Life, e copre approssimativamente 65.536 m² (l'equivalente virtuale di 16 ettari).

Questa sovrapposizione non è casuale né puramente estetica ma un argomento critico sulla condizione della Cina contemporanea: paese che ha attraversato in cinquant'anni rivoluzioni culturali (1966-1976), maoismo, apertura capitalista (dal 1978) e globalizzazione (dall'ingresso nel WTO nel 2001) senza che nessuna fase cancellasse completamente le precedenti, producendo un palinsesto culturale in cui strati temporali incompatibili coesistono nello stesso spazio urbano. *RMB City* traduce questa condizione in architettura virtuale: uno spazio che non può esistere fisicamente perché la realtà fisica è governata dalla gravità, dalla coerenza strutturale e dalla continuità temporale, ma che nel dominio virtuale può materializzare la simultaneità di contraddizioni che la città cinese reale porta in sé in forma latente e non visibile. Il *piano regolatore* simbolico dell'isola virtuale è esposto come opera autonoma con il titolo *RMB City Master Plan* (2007), un disegno tecnico in stile architettonico convenzionale che documenta l'ordinamento spaziale del *collage* urbano.

Bibliografia e Sitografia

Cao Fei. (2007). *RMB City Project* [Progetto in Second Life].
Hou, H. (Ed.). (2010). *Cao Fei: RMB City*. Walther König.
Serpentine Galleries. (s.d.). *Cao Fei: RMB City Opera*. https://www.serpentinegalleries.org/

91 GOOGLE, GOOGLE ART PROJECT, USA, 2009



Figura 157.
Screenshot Google Art Project, © Google / Digital4.biz, URL: https://www.digital4.biz/wp-content/plugins/wp-youtube-lyte/lyteCache.php?origThumbUrl=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2F4Z-dCByYeNRU%2Fmaxresdefault.jpg

Il Google Art Project viene annunciato nel 2009 e lanciato pubblicamente il 1° febbraio 2011 alla Tate Britain di Londra con 17 musei partner fondatori: Metropolitan Museum of Art di New York, Tate Britain e Tate Modern di Londra, Galleria degli Uffizi di Firenze, State Hermitage Museum di San Pietroburgo, Palazzo di Versailles, MoMA di New York, Van Gogh Museum di Amsterdam, Gemäldegalerie di Berlino, Rijksmuseum di Amsterdam, Museo Reina Sofía di Madrid, National Gallery di Londra, Museum Kampa di Praga, Frick Collection di New York, Freer Gallery of Art dello Smithsonian, Yale Center for British Art e Palace of Versailles. L'iniziativa è guidata da Amit Sood (Mumbai, 1979; Marketing Manager di Google entrato in azienda nel 2006) come progetto del Google Cultural Institute — divisione Google con sede a Parigi (rue de Londres) fondata nel 2011 come spin-off del *Google Lab* dedicato al patrimonio culturale — per digitalizzare e rendere accessibile *online* il patrimonio culturale mondiale attraverso tre tecnologie integrate.
La prima è l'imaging gigapixel: fotocamere *custom* sviluppate da Google (basate sulla tecnologia *Art Camera* a robot-mounted, sviluppata internamente nel 2014 con sensore Phase One IQ280) catturano singole opere con risoluzioni fino a 7 miliardi di pixel (dalla riproduzione di *Una notte stellata* di Van Gogh, fino agli oltre 14 miliardi di pixel di *La Tour de Babel* di Bruegel digitalizzata nel 2016), rendendo visibili dettagli microscopici (le pennellate, i *craquelure* del tempo, i pigmenti sottili) che l'occhio umano non può cogliere nemmeno in presenza fisica dell'opera originale e che le riproduzioni fotografiche tradizionali non hanno mai potuto documentare. La fotografia di una sola opera con questa tecnologia richiede tipicamente 8-12 ore di scansione automatica, e produce file *raw* di oltre 8 GB ciascuno. La seconda è il Street View Trolley adattato agli interni museali: lo stesso sistema di fotocamere sferiche usato per Google Street View (Scheda 88) viene modificato per navigare gli spazi chiusi dei musei (versione del 2010 con 15 obiettivi e sistema di propulsione manuale silenziosa), producendo *tour* virtuali panoramici a 360° che permettono di "*camminare*" attraverso le gallerie, ruotare la visuale, avvicinarsi alle opere esposte. La terza è la struttura di archivio digitale: metadati, biografie degli artisti, contesti storici, connessioni tra opere di collezioni diverse organizzati in una piattaforma navigabile che trasforma l'accesso alla singola opera in esperienza di esplorazione del patrimonio.
La piattaforma viene rinominata Google Arts & Culture nel luglio 2016, espandendo progressivamente i partner (dai 17 fondatori del 2011 ai 1.500+ del 2016, agli oltre 2.000 istituzioni di 80 paesi nel 2023, con oltre 8 milioni di opere digitalizzate) e i formati: esperimenti di realtà aumentata (l'app *Pocket Gallery* del 2018 trasforma il pavimento di casa in galleria virtuale), visualizzazioni basate su *machine learning* (*Art Selfie* del 2018, che usa il riconoscimento facciale per trovare i quadri stilisticamente simili ai propri *selfie*), strumenti didattici interattivi (*Google Earth Voyager* per il patrimonio paesaggistico), funzionalità di ricerca per colore e stile (*Art Palette*, 2017), ricostruzioni storiche animate (*Versailles VR*, *Pyramids of Giza*, *Frida Kahlo: Faces of Frida*).

Bibliografia e Sitografia

Google Arts & Culture. (s.d.). *Google Arts & Culture*. https://artsandculture.google.com/

MOJANG, MINECRAFT, SVEZIA, 2009

92



Figura 158.
Screenshot modalità survival di Minecraft, © Mojang Studios / Wikimedia Commons, URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Minecraft#/media/File:Minecraft_-_survival.png

Minecraft viene sviluppato da Markus "*Notch*" Persson (Stoccolma, 1979) — programmatore svedese autodidatta, allora dipendente della società di sviluppo *King.com* (la futura *King Digital Entertainment* nota per *Candy Crush Saga*) — e pubblicato in versione *alpha* il 17 maggio 2009 (denominata "*Cave Game*" nei primi prototipi, rinominata *Minecraft* il giorno del lancio pubblico). Distribuito inizialmente attraverso il sito personale di Persson minecraft.net, a un prezzo simbolico di 13 euro che sale progressivamente con lo sviluppo del gioco fino al lancio della versione completa il 18 novembre 2011 alla Minecon 1 di Las Vegas. Persson fonda Mojang AB (acronimo svedese di "*Mojäng*", "*gadget*") nello stesso 2009 a Stoccolma con il *programmer* Jakob Porsér e il *manager* *Carl Manneh, e *Jens Bergensten* (Jeb_) prende la guida tecnica del gioco nel 2011 dopo la partenza progressiva di Persson dal team.
Il meccanismo fondamentale è di una semplicità radicale: il mondo di gioco è composto interamente da blocchi cubici di un metro di lato (voxel) in materiali diversi (terra, pietra, legno, sabbia, minerali, lana, vetro, oro, diamante: oltre 700 *block types* nella versione 1.21 del 2024) che il giocatore può estrarre e riposizionare liberamente, costruendo strutture di complessità arbitraria senza strumenti di modellazione diversi dal posizionamento e dalla rimozione di cubi. Questa semplicità è deliberata e generativa: l'elementarità del sistema costruttivo non limita le possibilità creative ma le moltiplica, esattamente come il sistema della griglia libera l'architettura modernista dalla decorazione per concentrarsi sulla composizione. Il generatore procedurale (basato sull'algoritmo *Perlin noise* di Ken Perlin del 1983, esteso da *Simplex noise* nel 2001) produce mondi di dimensioni teoricamente infinite (limite tecnico: 60 milioni × 60 milioni di blocchi, una superficie pari a circa 8 volte la superficie terrestre) con biomi diversi (foreste, deserti, oceani, savane, taigas, jungle, mesa: 67 biomi diversi nella versione attuale), rilievi, grotte, oceani, deserti, che ogni giocatore esplora in modo unico, senza mappa predefinita e senza obiettivi imposti. L'assenza di una condizione di vittoria o di sconfitta predeterminata non è una lacuna del *design* ma il suo principio fondante: *Minecraft* è uno spazio, non un gioco nel senso tradizionale.
La diffusione virale attraverso YouTube (dove i creatori di contenuti documentano le proprie costruzioni, condividono *tutorial*, mostrano realizzazioni monumentali) trasforma il gioco in un fenomeno culturale globale. Lo *YouTuber* svedese PewDiePie (Felix Kjellberg) costruisce parte della propria carriera attorno a video *Minecraft Let's Play* (oltre 200 video tra 2019 e 2020, miliardi di visualizzazioni cumulative). Microsoft riconosce questa traiettoria acquisendo Mojang nel settembre 2014 per 2,5 miliardi di dollari, rendendola la più grande acquisizione di un *game studio* indipendente di quel momento. Con oltre 350 milioni di copie vendute al 2024, *Minecraft* è il videogioco più venduto della storia, superando *Tetris* (1984, oltre 250 milioni cumulativi) e *Grand Theft Auto* V (2013, oltre 200 milioni), con una *user base* di 140 milioni di utenti attivi mensili e una longevità commerciale e culturale senza equivalenti nel *medium*.

Bibliografia e Sitografia

Persson, M., & Bergensten, J. (2009). *Minecraft* [Videogioco]. Mojang Studios.
Mojang Studios. (s.d.). *Minecraft*. https://www.minecraft.net/

93 FULLBRIGHT COMPANY, GONE HOME, USA, 2013



Figura 159.
Screenshot di Gone Home, © The Fullbright Company / Wikimedia Commons, URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Gone_Home#/media/File:Gone_Home.png

Gone Home viene pubblicato da The Fullbright Company il 15 agosto 2013 per Windows, macOS e Linux (con porting successivo su PlayStation 4, Xbox One, Nintendo Switch tra il 2016 e il 2018), con un budget di sviluppo di circa 250.000 dollari raccolti tra fondi propri dei fondatori e una piccola campagna *Indiegogo* di 30.000 dollari nel 2013. Lo studio *indie* è stato fondato a Portland, Oregon, nel marzo 2012 da quattro ex sviluppatori di Irrational Games reduci da *BioShock Infinite* (2K Games, 2013): Steve Gaynor (*lead designer*), Johnnemann Nordhagen (*lead programmer*), Karla Zimonja (*art director*) e Kate Craig (*environment artist*), con il *composer* Chris Remo della *Idle Thumbs* per la colonna sonora.
Il gioco appartiene al genere emergente dei *walking simulator*: esperienze in cui il giocatore naviga uno spazio tridimensionale in prima persona senza combattimenti, *puzzle* complessi o meccaniche d'azione tradizionali, con l'unico obiettivo di esplorare l'ambiente e raccogliere i frammenti narrativi che vi sono distribuiti. La categoria, formalizzata tra il 2008 (*Dear Esther* di The Chinese Room) e il 2013, troverà nei successivi *Firewatch* (Campo Santo 2016), *What Remains of Edith Finch* (Giant Sparrow 2017), *Tacoma* (Fullbright 2017) e *The Witness* (Thekla 2016) i propri esponenti più riconosciuti.
Il gioco è ambientato il 7 giugno 1995 in una grande casa vittoriana del Pacific Northwest americano (la fittizia "*Greenbriar House*" in Oregon): il giocatore (nella pelle di Katie Greenbriar, studentessa di vent'anni appena rientrata da un anno in Europa) trova la casa vuota e deve ricostruire cosa sia accaduto alla propria famiglia nel corso dell'anno di assenza esplorando ogni stanza, ogni cassetto, ogni scaffale, ogni angolo. La narrazione emerge interamente dall'ambiente: lettere manoscritte, diari audio registrati dalla sorella minore Sam (interpretata dalla doppiatrice Sarah Robertson in 24 voice memos cumulativi), ricevute, fotografie polaroid, riviste *Riot Grrrl* e *Sassy*, audiocassette delle band post-punk degli anni '90 (*Bratmobile*, *Heavens to Betsy*, *Bikini Kill*), oggetti personali stratificati su ogni superficie restituiscono gradualmente una storia di adolescenza, identità, prime relazioni, conflitti familiari. Non c'è un narratore esterno, non ci sono *cutscene*, non ci sono dialoghi: la storia esiste solo nelle tracce materiali che i personaggi hanno lasciato nello spazio domestico.
Questa scelta — la narrazione come *sedimentazione materiale dello spazio* piuttosto che come sequenza di eventi — è al tempo stesso una posizione estetica e una proposta teorica sul rapporto tra architettura e memoria: la casa non è uno sfondo neutro della storia ma il suo *medium*, il luogo in cui le vite si inscrivono e da cui possono essere rilette.
Gone Home riceve il Best Debut Award alla *Game Developers Conference* 2014 e il *Game Developers Choice Awards Innovation Award* nel 2014; viene nominato "*Game of the Year*" da *Polygon*, *Salon*, *The New Yorker*, *USA Today*; viene esposto al *Museum of Modern Art* di New York nella mostra "*Applied Design*" (2014). Sul piano disciplinare, il gioco apre la strada a un decennio di sperimentazioni sui *walking simulator* come genere estetico autonomo, e diventa uno dei riferimenti più citati negli studi accademici sulla narrazione spaziale.

Bibliografia e Sitografia

Gaynor, S. (2013). *Gone Home* [Videogioco]. The Fullbright Company.
Gaynor, S. (2014). *Narrative mechanics in Gone Home* [Conferenza]. Game Developers Conference 2014, San Francisco.

ANAND AGARAWALA & JINHA LEE, SPATIAL, USA, 2016

94



Figura 160.
Ambiente virtuale in Spatial, © Spatial Systems Inc. / Spatial.io, URL: https://cdn.prod.website-files.com/5ff63016e1c8fa9d64a74764/621ff478870b47248a8d1ba1_3.jpg

Spatial viene fondata nel marzo 2016 a New York da Anand Agarawala (Toronto, 1982) — informatico canadese con M.Sc. in Computer Science dall'Università di British Columbia (2008), noto per aver sviluppato BumpTop (2006), il sistema di gestione del *desktop* tridimensionale acquisito da Google nell'aprile 2010 per cifra non resa pubblica — e Jinha Lee (Seoul, 1984), *designer* e ingegnere coreano con dottorato al MIT Media Lab (sotto la supervisione di Hiroshi Ishii nel *Tangible Media Group*, 2014), dove aveva sviluppato ZeroN (2012, sistema di levitazione magnetica controllata per interfacce tangibili presentato al CHI 2013) e SpaceTop (2013, interfaccia 3D trasparente che permette di manipolare oggetti digitali con le mani all'interno dello schermo, premiata con il *TED Fellow Award* 2013).
I co-fondatori si conoscono al MIT Media Lab nel 2013 e fondano la società con un *seed funding* di 8 milioni di dollari da Lerer Hippeau Ventures e iNovia Capital (2017), seguito da una *Series* A di 14 milioni nel 2019 guidata da Lemnos Labs e Samsung Next, e infine una *Series* B di 25 milioni nel 2022.
La piattaforma viene lanciata pubblicamente nell'ottobre 2018 (versione *closed beta*) e con apertura *general availability* nel gennaio 2019 come ambiente di collaborazione immersiva che permette a *team* geograficamente distribuiti di incontrarsi come *avatar* fotorealistici (generati automaticamente da una singola fotografia del volto dell'utente attraverso algoritmi di ricostruzione 3D *photogrammetry-based* sviluppati internamente da Spatial) in spazi di lavoro tridimensionali condivisi accessibili simultaneamente attraverso visori VR (Microsoft HoloLens, Meta Quest, Oculus Quest 2/3), visori AR (Magic Leap) e *browser* web tradizionali.
L'ambiente di lavoro virtuale integra tutti gli strumenti della collaborazione professionale contemporanea (lavagne bianche condivise, presentazioni, modelli 3D manipolabili, documenti, video, integrazioni con Google Drive, Dropbox, Slack) in uno spazio tridimensionale in cui la prossimità spaziale degli avatar replica le dinamiche della collaborazione fisica: ci si avvicina a un collega per una conversazione privata, ci si raduna attorno a un oggetto per esaminarlo insieme, si occupa fisicamente lo spazio di fronte a una presentazione.
I fondatori descrivono la visione come il superamento della "*finestra quadrata*" di Zoom e Microsoft Teams — la videoconferenza bidimensionale che comprime la collaborazione in una griglia di rettangoli — verso un'esperienza di presenza condivisa che sfrutta la profondità, il movimento e il linguaggio corporeo degli *avatar* per ricreare le qualità della *co-presenza* fisica che la videoconferenza non riesce a replicare.
La traiettoria iniziale di Spatial come strumento di *enterprise collaboration* (con clienti aziendali come BNP Paribas, Mattel, Pfizer, Ford, Nestlé, Comcast) si trasforma progressivamente nel 2021-2022 in un *pivot* verso il mercato consumer del metaverso e dell'arte digitale: la piattaforma diventa una delle principali destinazioni per le mostre NFT (con oltre 1 milione di gallerie create dagli utenti entro il 2023), per gli eventi musicali e artistici virtuali, e per le esperienze sociali in VR.

Bibliografia e Sitografia

Agarawala, A., & Lee, J. (2019). *Spatial: A whitepaper on immersive collaboration*. Spatial Systems Inc.
Spatial. (s.d.). *Spatial*. https://spatial.io/

95 FUMIO MATSUMOTO, MEMORIES OF ARCHITECTURE, GIAPPONE, 2017

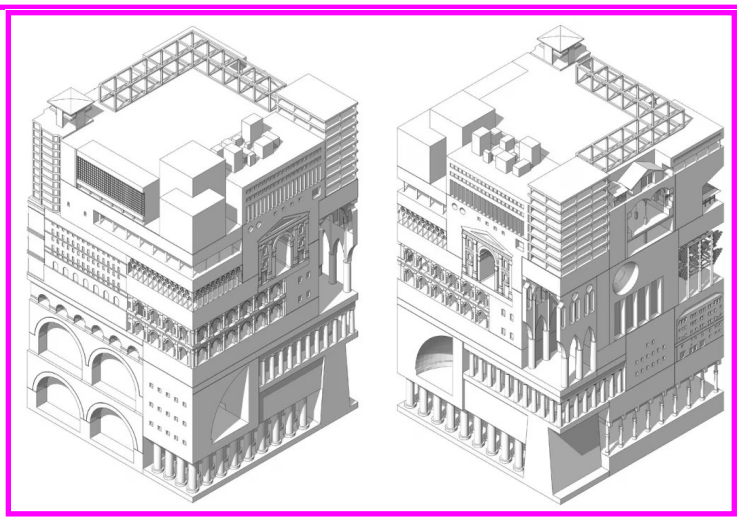


Figura 161.
Memories of Architecture di Fumio Matsumoto, © Fumio Matsumoto / Domus, URL: https://www.domusweb.it/content/dam/domusweb20/en/architecture/2018/01/03/memories-of-architecture-puts-together-30-buildings-in-one-model/gallery/domus-memories-of-architecture-10.jpg.foto.rmedium.png

Memories of Architecture viene realizzato da Fumio Matsumoto (Tokyo, 1963) — architetto e ricercatore giapponese, professore associato al Museo dell'Università di Tokyo dal 2010, già autore delle sperimentazioni *Infotube* e *Ginga* (Scheda 83) sull'applicazione dei principi spaziali dell'architettura al *design* di interfacce digitali — come diciassettesima installazione della mostra permanente ARCHITECTONICA presso l'Annesso Koishikawa del Museo dell'Università di Tokyo, inaugurata nel luglio 2017. Il progetto si inserisce in un programma di ricerca pluriennale che il Museo dell'Università di Tokyo conduce sulla storia dell'architettura come oggetto di sperimentazione espositiva, con installazioni biennali curate dal *Department of Architecture* dell'Università di Tokyo (precedenti installazioni della serie ARCHITECTONICA: *Cities of Tomorrow* di Kengo Kuma 2009, *Urban Forest* di Sou Fujimoto 2011, *Architecture and Cosmos* di Toyo Ito 2013, *Pavilion of Dreams* di Kazuyo Sejima 2015).
Il progetto consiste in un modello fisico stampato in 3D di dimensioni contenute (dimensioni base: 100 × 60 × 40 cm) che integra in un'unica struttura rettangolare oltre 35 edifici iconici della storia dell'architettura mondiale, disposti cronologicamente dal basso verso l'alto: dal Tempio di Karnak (XVIII-XII secolo a.C.) alla Villa Savoye di Le Corbusier (1929), dal Pantheon romano alla Bibliothèque Sainte-Geneviève di Henri Labrouste (1850), dal Palazzo Ducale di Venezia alla Katsura Imperial Villa giapponese (XVII secolo), fino alla Moriyama House di Ryue Nishizawa (Tokyo, 2005). Tra gli altri edifici inclusi: il Partenone di Atene, Hagia Sophia di Costantinopoli, la Cattedrale di Chartres, il Tempietto di San Pietro in Montorio di Bramante, Saint Paul's Cathedral di Wren, il Crystal Palace di Paxton, la Sagrada Familia di Gaudí, il Palais Stoclet di Hoffmann, Fallingwater di Wright, Notre Dame du Haut di Le Corbusier, il Seagram Building di Mies van der Rohe, la Sydney Opera House di Utzon. La scala 1:300 permette di comprimere quattro millenni di produzione architettonica globale in un oggetto fisicamente manipolabile, rivelando attraverso la giustapposizione ravvicinata tendenze strutturali che la distanza temporale e geografica normalmente nasconde: il progressivo alleggerimento delle masse costruttive, il passaggio da spazi chiusi e monolitici a spazi aperti e permeabili, l'evoluzione dei sistemi strutturali dal massiccio al reticolare, la convergenza di tradizioni costruttive diverse verso soluzioni formalmente analoghe. Ogni edificio è rappresentato attraverso i propri elementi caratteristici (facciate, strutture, sezioni, spazi interni selezionati) estratti dal contesto originale e reintegrati nel *collage* cronologico con un livello di astrazione che rivela la logica costruttiva senza pretendere la fedeltà documentaria della ricostruzione scientifica. La tecnologia di stampa 3D — utilizzata in collaborazione con il *Digital Fabrication Lab* dell'Università di Tokyo coordinato da Hironori Yoshida, con stampante a polveri 3D Systems ProJet 660Pro in resina policromatica — è la condizione necessaria per la realizzazione fisica del progetto.

Bibliografia e Sitografia

Matsumoto, F. (2017). *Memories of Architecture*. ARCHITECTONICA n. XVII, Museo dell'Università di Tokyo, Annesso Koishikawa.
The University Museum, The University of Tokyo. (s.d.). *Faculty Profile: Fumio Matsumoto*. https://www.um.u-tokyo.ac.jp/people/faculty_matsumoto_en.html

DECENTRALAND, METAVERSO DECENTRALIZZATO, ARGENTINA, 2018

96



Figura 162.
Screenshot di Decentraland - Metaverso decentralizzato, © Decentraland Foundation / Decentraland, URL: https://images.ctfassets.net/ea2ybdmmn1kv/7tYISdowuJYIbSIDqij87H/f3524d454d8e29702792a6b674f5550d/GI_Landscape.Small.png

Decentraland viene sviluppato a Buenos Aires da Ari Meilich (Buenos Aires, 1990) ed Esteban Ordano (Buenos Aires, 1989) — due ingegneri argentini con precedente esperienza nello sviluppo di sistemi *peer-to-peer* per *file sharing* e protocolli *blockchain* — a partire dal 2015, quando pubblicano il Decentraland Whitepaper (settembre 2015) descrivendo un mondo virtuale distribuito su blockchain. Il progetto attraversa tre fasi tecniche distinte: la prima implementazione *Stone Age* (giugno 2015, *grid* 2D di pixel ispirata a *Reddit Place*), la seconda *Bronze Age* (gennaio 2017, mondo 3D voxel su *blockchain* Ethereum), e la terza *Iron Age* (febbraio 2020, lancio pubblico con motore grafico WebGL definitivo). Il lancio della *Initial Coin Offering* (ICO) del token MANA (la valuta interna della piattaforma) avviene nell'agosto 2017, raccogliendo 26 milioni di dollari in 24 ore, una delle ICO più rapide e di successo dell'epoca. La fondazione Decentraland Foundation, organizzazione no-profit basata a Panama, viene istituita nel 2017 per gestire lo sviluppo del protocollo, mentre il software è interamente *open source* sotto licenza Apache 2.0 disponibile su *GitHub*.
La piattaforma è costruita sulla blockchain Ethereum e organizzata attorno a un principio radicalmente diverso da tutti i mondi virtuali precedenti: la *vera proprietà digitale*. In *Second Life* (Scheda 86), le terre virtuali esistono su *server* di proprietà di Linden Lab, che può modificare le regole, aumentare i prezzi, chiudere la piattaforma unilateralmente. In Decentraland, ogni parcella di terreno virtuale (LAND, un'area di 16 × 16 metri nel sistema di coordinate della piattaforma) è un NFT (*Non-Fungible Token*) registrato sulla blockchain Ethereum (standard ERC-721), posseduto dall'utente con gli stessi diritti legali con cui si possiede qualsiasi altro *asset* digitale: il proprietario può venderlo, affittarlo, costruirci sopra o lasciarlo vuoto indipendentemente dalle decisioni di qualsiasi azienda. Il territorio totale è limitato a 90.601 parcelle organizzate in un piano cartesiano (range coordinate da -150 a +150 su entrambi gli assi) con distretti tematici dedicati a giochi, arte, moda, servizi finanziari, *adult content* (Red Light District), e zone *Plaza* di proprietà comune.
La governance è affidata a una DAO (*Decentralized Autonomous Organization*, attiva da settembre 2020): i possessori del token MANA votano democraticamente su decisioni strategiche (modifiche alle regole della piattaforma, allocazione del *budget*, approvazione di nuove funzionalità) attraverso un sistema di *governance on-chain* che rende le decisioni trasparenti e immutabili. Il *Security Council* della DAO (composto da 5-7 membri eletti) esercita poteri di emergenza in caso di vulnerabilità tecniche. Questo modello — proprietà reale, scarsità artificiale, governance decentralizzata — intercetta nel 2020-2021 il pieno entusiasmo per blockchain, criptovalute e NFT, producendo valutazioni speculative che portano alcune parcelle di LAND a essere vendute per cifre milionarie: nel novembre 2021, durante il picco dell'*hype* metaverso, una parcella nella "*Fashion Street*" viene venduta a Tokens.com / Metaverse Group per 2,4 milioni di dollari (618.000 MANA al cambio di allora), ed entro fine 2021 la capitalizzazione di mercato di MANA supera i 7 miliardi di dollari.

Bibliografia e Sitografia

Decentraland Foundation. https://decentraland.org/whitepaper.pdf
Decentraland Foundation. (s.d.). *Decentraland*. https://decentraland.org/
Decentraland DAO. (s.d.). *Governance Portal*. https://governance.decentraland.org/

97

EPIC GAMES, FORTNITE, USA, 2020



Figura 163.
Screenshot del concerto virtuale di Travis Scott in Fortnite, © Epic Games / Rolling Stone, URL: https://www.rollingstone.com/wp-content/uploads/2020/04/travis-scott-fortnite.jpg

Fortnite viene lanciato da Epic Games (società di Cary, North Carolina, fondata da Tim Sweeney nel 1991, già autrice di *Unreal Engine* — Scheda 19) il 25 luglio 2017 come *battle royale* gratuito (modalità *Fortnite Battle Royale* derivata dall'originale *Fortnite: Save the World* del 2017 a pagamento): cento giocatori si eliminano reciprocamente su un'isola che si restringe progressivamente fino alla sopravvivenza di un solo vincitore. Il successo è immediato e trasformativo: in pochi mesi raggiunge una *base di utenti* di centinaia di milioni di account registrati, diventando il videogioco più giocato al mondo per periodi prolungati tra il 2018 e il 2020 (al picco di marzo 2019, oltre 250 milioni di account registrati e 78 milioni di utenti attivi mensili). Il modello di business è basato sui *cosmetic items* venduti per V-Bucks (la valuta interna), generando ricavi complessivi superiori a 9 miliardi di dollari nei primi due anni — record assoluto nella storia del *gaming free-to-play*.
La svolta culturale che trasforma *Fortnite* da videogioco competitivo a piattaforma mediatica avviene il 23 aprile 2020, quando Epic Games ospita *Astronomical* — il concerto virtuale del rapper Travis Scott (al secolo Jacques Berman Webster II) — come evento *live* all'interno del gioco, sviluppato in collaborazione con il direttore creativo Cactus Jack dello stesso Scott e con il VFX *studio* Method Studios. 12,3 milioni di giocatori simultanei abbandonano le meccaniche competitive per partecipare a uno spettacolo di 9 minuti e 49 secondi in cui un *avatar* gigantesco di Travis Scott — alto decine di metri rispetto all'*avatar* del giocatore — si esibisce in cinque atti consecutivi che trasformano radicalmente lo spazio ogni 30-60 secondi: dal pianeta natale di Cactus Jack (omaggio al brano *Cactus Jack* dell'album *Astroworld* 2018), a un oceano fluorescente sotto la superficie marina, a un paesaggio spaziale con anelli di Saturno, a una scena psichedelica con effetti di luce stroboscopica, a una gravitazione invertita che capovolge il piano di gioco. L'evento viene ripetuto cinque volte nell'arco di cinque giorni (dal 23 al 25 aprile 2020) per gestire il traffico globale e per coprire diversi fusi orari, raggiungendo un totale di 27,7 milioni di partecipanti unici — un pubblico che nessun concerto fisico nella storia della musica aveva mai raggiunto (per confronto: il *Live Aid* del 1985 a Wembley con 1,9 miliardi di spettatori televisivi cumulativi nel mondo, ma con audience massima singola di circa 100.000 spettatori fisici a Wembley + Philadelphia).
Il rilascio di Fortnite Creative 2.0 (denominato *Unreal Editor for Fortnite*, marzo 2023) trasforma la piattaforma in un sistema di creazione *user-generated* basato su Unreal Engine 5, accessibile gratuitamente, con cui chiunque può progettare e pubblicare propri mondi giocabili.
Il contesto del lancio di *Astronomical* — aprile 2020, il primo mese della pandemia COVID-19 con *lockdown* globali che avevano chiuso simultaneamente tutti i luoghi di aggregazione fisica — conferisce all'evento una risonanza che trascende il suo significato specifico: milioni di persone isolate nei propri appartamenti vivono simultaneamente un'esperienza collettiva condivisa in uno spazio virtuale, dimostrando empiricamente che la co-presenza digitale può produrre coinvolgimento emotivo e senso di comunità comparabili a quelli di un evento fisico.

Bibliografia e Sitografia

Epic Games. (2020). *Fortnite cultural events and virtual concerts*. Epic Games Inc.
Epic Games. (s.d.). *Fortnite*. https://www.fortnite.com/

ZAHA HADID ARCHITECTS, LIBERLAND METAVERSE, UK/LIBERLAND, 2021

98



Figura 164.
Render del masterplan di Liberland Metaverse, © Mytaverse / ArchDaily, URL: https://images.adsttc.com/media/images/6230/4696/3e4b/316a/8700/0005/large_jpg/Liberland_Metaverse_MasterPlan_Render_by_Mytaverse_(3).jpg?1647330953

Il Liberland Metaverse viene commissionato a Zaha Hadid Architects nel marzo 2021 da Liberland, micronazione autoproclamata fondata il 13 aprile 2015 dal politico libertario ceco Vít Jedlička (Plzeň, Repubblica Ceca, 1983) su un territorio di 7 km² nella zona di *terra nullius* tra Croazia e Serbia, lungo la riva occidentale del Danubio (denominata *Gornja Siga*), non rivendicato da nessuno dei due stati secondo le rispettive costituzioni. Liberland — riconosciuta de facto da nessuno stato sovrano e fortemente contestata dalla Croazia che ne impedisce l'accesso fisico — conta circa 1.000 *cittadini* virtuali registrati attraverso un DAO basato su *blockchain* e adotta come principi fondativi il *minarchismo* libertario, la tassazione volontaria e l'uso di criptovalute come valuta nazionale. La commissione del *masterplan* virtuale a uno degli studi di architettura più prestigiosi al mondo è essa stessa un atto politico: l'inesistenza fisica della nazione viene compensata dall'esistenza progettuale dettagliata di una sua versione metaversale.
Lo studio Zaha Hadid Architects (fondato a Londra nel 1979 da Zaha Hadid, 1950-2016, prima donna a vincere il Pritzker Prize nel 2004; oggi guidato dal *principal* Patrik Schumacher, 1961, autore di *The Autopoiesis of Architecture*, 2 voll., Wiley 2011-2012, e teorico del parametricismo come stile architettonico globale) progetta l'intero piano urbanistico di Liberland nel dominio virtuale: edifici governativi, aree residenziali, spazi commerciali, piazze pubbliche, infrastrutture di mobilità — tutto il repertorio funzionale di una città fisica tradotto in geometrie parametriche tridimensionali che il linguaggio di ZHA porta alle proprie conseguenze più estreme quando liberato dai vincoli costruttivi. Il progetto è realizzato attraverso un *workflow* digitale integrato che usa *Rhinoceros* + *Grasshopper* per la modellazione parametrica, *3ds Max* + *V-Ray* per il rendering, e la piattaforma *Mytaverse* (società di tecnologia metaverso fondata a Miami nel 2020) per la pubblicazione finale dell'ambiente immersivo accessibile via *web browser* e visori VR.
Le forme fluide, le superfici continue, le transizioni topologiche tra elementi che caratterizzano opere fisiche dello studio come il MAXXI di Roma (2010), il London Aquatics Centre (2012), l'Heydar Aliyev Center di Baku (2012) e il Beijing Daxing International Airport (2019) nel metaverso di Liberland non hanno alcuna limitazione: edifici governativi che fluttuano senza supporti, strutture che si deformano secondo campi di forze virtuali, spazi interni che violano sistematicamente le leggi della fisica producendo configurazioni che la gravità renderebbe impossibili. La piattaforma usa tecnologia *blockchain* (specifically *Ethereum* e successivamente *Polygon* per ridurre i costi di *gas*) per rappresentare la proprietà di terreni virtuali, edifici e *asset* digitali come NFT, replicando nel dominio virtuale il sistema di proprietà fondiaria che *Decentraland* (Scheda 96) aveva introdotto come modello per i metaversi *crypto-nativi*, e incorpora meccanismi di *governance digitale* coerenti con l'ideologia libertaria di Jedlička: proprietà privata inviolabile, tassazione minima, mercato libero come principio organizzativo.

Bibliografia e Sitografia

Zaha Hadid Architects. (2021). *Liberland Metaverse Masterplan* [Documentazione di progetto]. ZHA.
Schumacher, P. (2011-2012). *The autopoiesis of architecture* (Voll. I-II). Wiley.
Liberland. (s.d.). *Free Republic of Liberland*. https://liberland.org/

99

MARK ZUCKERBERG, META, USA, 2021



Figura 165.
Logo Meta Inc., © Meta Platforms / Wikimedia Commons, URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e4/Meta_Inc._logo.jpg

Il 28 ottobre 2021, durante la conferenza sviluppatori Connect 2021 trasmessa in *streaming* dalla sede di Menlo Park, Mark Zuckerberg annuncia il *rebranding* di Facebook Inc. in Meta Platforms Inc.: una delle decisioni strategiche più discusse nella storia dell'industria tecnologica, che destina decine di miliardi di dollari annui allo sviluppo di tecnologie VR/AR e di ambienti sociali virtuali. Il momento è particolarmente significativo perché l'annuncio avviene in un contesto di crisi reputazionale acuta: Facebook affronta simultaneamente le rivelazioni dei *Facebook Papers*, decine di migliaia di documenti interni pubblicati dal Wall Street Journal (settembre-ottobre 2021) sulla base dei materiali forniti dalla *whistleblower* Frances Haugen (data scientist ex-Facebook, audita dal Senato degli Stati Uniti il 5 ottobre 2021), che documentano la consapevolezza interna dei danni che la piattaforma produce sulla salute mentale degli adolescenti (in particolare le ragazze adolescenti su Instagram), sulla qualità del dibattito democratico, sulla diffusione di disinformazione politica. Il *tempismo* del *rebranding* produce un'accoglienza critica che contamina inevitabilmente la ricezione del progetto metaverso: l'annuncio di una visione grandiosa del futuro della connessione umana viene letto da larga parte della stampa come strategia di distrazione dai problemi strutturali del presente.
Zuckerberg presenta il metaverso come "*la prossima evoluzione della connessione sociale*", un futuro in cui miliardi di persone lavorano, giocano, socializzano e fanno acquisti in ambienti virtuali immersivi attraverso *avatar* personalizzati, con tecnologie che spaziano dai visori Meta Quest (evoluzione della linea Oculus acquisita per 2 miliardi di dollari nel 2014, Scheda 24) agli occhiali *smart* Ray-Ban Stories (in collaborazione con EssilorLuxottica, lanciati il 9 settembre 2021) e successivamente Ray-Ban Meta (ottobre 2023, oltre 2 milioni di unità vendute al 2024 con integrazione AI Meta), fino al progetto Aria di occhiali AR avanzati e al prototipo Orion (settembre 2024, presentato come prototipo di occhiali AR olografici di nuova generazione, ancora non commercializzato). Il portafoglio di prodotti metaverso include Horizon Worlds (lanciato dicembre 2021, ambiente sociale virtuale in cui gli utenti si incontrano come *avatar* in spazi costruiti dalla comunità), Horizon Workrooms (agosto 2021, ambiente di lavoro virtuale per *team* distribuiti) e Horizon Home (2022, ambiente personale dell'utente nel visore), entrambi costruiti sulle tecnologie sviluppate dai circa 18.000 ricercatori del laboratorio Reality Labs (al 2024, dato in crescita rispetto ai 10.000 del 2021).
Le perdite operative di Reality Labs sono il dato che caratterizza più drammaticamente la traiettoria del *rebranding*: 10,2 miliardi di dollari nel 2021, 13,7 miliardi nel 2022, 16,1 miliardi nel 2023, 17,7 miliardi nel 2024 (dati ufficiali presentati da Meta nei Q4 *earnings*), per perdite cumulative di Reality Labs superiori a 60 miliardi di dollari dal 2019 al 2024 — una delle più grandi perdite continuative nella storia dell'industria tecnologica, sostenute dai profitti del *core business* Facebook/Instagram/WhatsApp ma criticate sistematicamente dai *short seller* e dagli analisti finanziari come Brad Gerstner (Altimeter Capital), che ha pubblicamente chiesto a Zuckerberg di ridurre l'investimento in metaverso.

Bibliografia e Sitografia

Zuckerberg, M. (2021, 28 ottobre). *Founder's letter: The metaverse and how we'll build it together* [Blog post]. Meta. https://about.meta.com/it/blog/2021/10/founders-letter
Meta Platforms. (s.d.). *Meta company info*. https://about.meta.com/

COOP HIMMELB(L)AU, DEEP HIMMELBLAU, AUSTRIA, 2021

100



Figura 166.
Progetto Deep Himmelblau di Coop Himmelb(l)au, © Coop Himmelb(l)au / Coop Himmelb(l)au, URL: https://coop-himmelblau.at/site/assets/files/3170/

Deep Himmelblau viene sviluppato da Coop Himmelb(l)au — studio fondato a Vienna nel maggio 1968 da Wolf D. Prix (Vienna, 1942), Helmut Swiczinsky (Poznań, 1944) e Michael Holzer (Vienna, 1944, lasciò lo studio nel 1971), tra i pionieri del decostruttivismo architettonico (parte della storica mostra *Deconstructivist Architecture* curata da Philip Johnson e Mark Wigley al MoMA di New York nel 1988 insieme a Eisenman, Gehry, Hadid, Koolhaas, Libeskind, Tschumi) e dell'uso delle tecnologie digitali avanzate nella progettazione — come progetto di ricerca sull'applicazione dell'intelligenza artificiale al processo progettuale architettonico. Il progetto viene presentato pubblicamente nel giugno 2021 alla *Vienna University of Technology* nell'ambito del *Wolf Prix Studio* (cattedra di architettura sperimentale che Prix ha mantenuto fino al 2018), in un momento di straordinaria accelerazione del dibattito disciplinare sull'IA generativa, immediatamente precedente all'esplosione di massa di ChatGPT (novembre 2022) e Midjourney (luglio 2022).
Il nome è un omaggio dichiarato a Deep Blue — il sistema di intelligenza artificiale sviluppato da IBM che nel maggio 1997 aveva sconfitto il campione mondiale di scacchi Garry Kasparov in una partita storica al Equitable Center di New York, inaugurando il dibattito pubblico sulla capacità delle macchine di competere con l'intelligenza umana in domini considerati esclusivamente cognitivi — applicato al "*blu del cielo*" (Himmelblau) che caratterizza il nome dello studio. La scelta del nome è programmatica: posizionare il progetto in una genealogia di sistemi IA che hanno trasformato campi del sapere considerati esclusivamente umani.
Il sistema, sviluppato in collaborazione con il *Department of Architecture and Computer Science* dell'Università di Innsbruck (sotto la supervisione di Philippe Morel) e con il *AI Lab* dell'Università Tecnica di Vienna, utilizza reti neurali profonde (specificamente architetture *StyleGAN2* per la generazione di immagini e *VAE — Variational Autoencoders* — per la rappresentazione di geometrie tridimensionali) addestrate su un *corpus* esteso di progetti dello studio accumulati in cinquant'anni di pratica (oltre 1.500 progetti documentati: schizzi, planimetrie, sezioni, prospetti, modelli tridimensionali, dettagli costruttivi) per apprendere le caratteristiche formali, compositive e spaziali che definiscono il "*linguaggio Himmelb(l)au*": le geometrie angolari e decostruttive, le tensioni tra elementi in apparente equilibrio instabile, le interpenetrazioni di volumi, le superfici che si piegano e si squarciano.
La domanda che il progetto pone esplicitamente — "*può l'IA fungere da partner creativo autentico per gli architetti?*" — è formulata non come provocazione retorica ma come questione di ricerca operativa: *Deep Himmelblau* non è un manifesto teorico ma un sistema funzionante la cui valutazione richiede l'analisi dei risultati prodotti. La domanda implicita — se uno "*stile*" è qualcosa che può essere codificato algoritmicamente, e se il risultato di tale codificazione conserva *agency* autoriale — è uno dei dibattiti più rilevanti del progetto dell'IA in architettura contemporanea.

Bibliografia e Sitografia

Coop Himmelb(l)au. (2021). *Deep Himmelblau: AI-assisted design research* [Documentazione di ricerca interna]. Coop Himmelb(l)au.
Coop Himmelb(l)au. (s.d.). *Deep Himmelblau*. https://coop-himmelblau.at/

101 RADIOHEAD, KID A MNESIA EXHIBITION, UK, 2021



Figura 167.
Screenshot di Kid A Mnesia Exhibition dei Radiohead, © Radiohead/Namethemachine/Epic Games / Epic Games Store, URL: https://cdn1.epicgames.com/salesEvent/salesEvent/EGS_KIDAMNESIAEXHIBITION_

Kid A Mnesia Exhibition viene sviluppata e pubblicata il 18 novembre 2021, in coincidenza con il ventesimo anniversario della pubblicazione di *Kid A* (ottobre 2000) e *Amnesiac* (giugno 2001) — i due album con cui i Radiohead avevano radicalmente ridefinito il proprio linguaggio musicale abbandonando il rock alternativo di *OK Computer* (1997) per un territorio di elettronica sperimentale, *ambient*, *glitch* e *jazz d'avanguardia*. La produzione è il risultato di una collaborazione tra la band (Thom Yorke, Jonny Greenwood, Colin Greenwood, Ed O'Brien, Philip Selway), gli artisti visivi Stanley Donwood (artista britannico, collaboratore di Radiohead per tutte le copertine degli album dal 1994 a oggi) e Dr. Tchock (pseudonimo di Thom Yorke stesso come artista visivo), il regista creativo Sebastian Kim dello studio londinese *Namethemachine*, e Epic Games, che distribuisce l'opera gratuitamente sull'Epic Games Store con supporto opzionale per visori VR (Oculus Quest 2, Valve Index, HTC Vive, PlayStation VR). Il sistema operativo richiede PlayStation 4/5, macOS 10.15+ o Windows 10/11, ed è disponibile in 14 lingue.
L'esperienza è costruita su Unreal Engine 5 (Scheda 19), nella sua versione *Early Access* del 2021: la scelta del motore grafico non è casuale ma programmatica. Epic Games partecipa attivamente al progetto come *partner* creativo e tecnologico, interessata a dimostrare che il proprio *engine* è diventato strumento *mainstream* per l'espressione artistica oltre il *gaming* competitivo, e che le tecnologie *Nanite* (geometria virtualizzata) e *Lumen* (illuminazione globale dinamica) introdotte con UE5 abilitano una qualità visiva precedentemente inaccessibile a produzioni non-AAA. La direzione tecnica è di Sean Evans (Lead Programmer ex-Epic Games) e Anand Banker (Technical Artist Director, ex-Microsoft Game Studios). Il progetto richiede 18 mesi di sviluppo (giugno 2020 - novembre 2021) con un *team* di 25 persone tra programmatori, *artist* digitali, *sound engineer* e *design director*.
I visitatori esplorano una sequenza di ambienti surreali e onirici che non seguono una logica spaziale euclidea: paesaggi astratti in cui la gravità è assente o invertita, architetture impossibili che si deformano in risposta al movimento del visitatore, installazioni sonore interattive in cui la posizione nello spazio modifica il *mixaggio* in tempo reale (con tecnologia FMOD per *audio spazializzato*), stanze che si trasformano dinamicamente mentre vengono attraversate. Ogni ambiente è costruito attorno a materiali specifici degli album: brani nella loro versione finale (le 21 tracce di *Kid A* + *Amnesiac*), demo strumentali inedite (*Untitled v1*, *Untitled v2*, *Worrywort*, *Cuttooth*), *sketch* visivi originali di Stanley Donwood, note manoscritte di Yorke (oltre 80 documenti digitalizzati).
La narrazione non è lineare e non ha inizio né fine predefiniti, ma si costruisce attraverso il percorso individuale di ciascun visitatore. Gli *artwork* di Donwood (caratterizzati da foreste innevate, città in fiamme, figure umane dissolte in *pattern* geometrici, gli iconici *minotauri* e *bambini infiniti*) vengono tradotti in ambienti tridimensionali abitabili che mantengono la qualità pittorica e psicologica dell'originale bidimensionale amplificandola attraverso la profondità spaziale e l'interattività.

Bibliografia e Sitografia

Radiohead. (2021). *Kid A Mnesia Exhibition* [Esperienza interattiva]. XL Recordings / Epic Games / Namethemachine.
Epic Games Store. (s.d.). *Kid A Mnesia Exhibition*. https://store.epicgames.com/

KRISTA KIM, MARS HOUSE, CANADA, 2021

102



Figura 168.
Render di Mars House di Krista Kim, © Krista Kim / World Architecture, URL: https://worldarchitecture.org/cdnimgfiles/extuploadc/nbasz7271kristakimmarshouse4.jpg

Mars House viene progettata dall'artista digitale canadese Krista Kim (Toronto, 1976) — fondatrice nel 2014 del movimento *Techism*, manifesto pubblicato nel marzo 2014 che promuove l'arte digitale come pratica meditativa e spirituale in risposta all'accelerazione tecnologica — e venduta il 18 marzo 2021 sulla piattaforma SuperRare per 288 ETH, equivalenti a circa 512.000 dollari al momento della transazione (corrispondenti a circa 685.000 dollari al picco delle valutazioni di Ether nell'aprile 2021): la prima "*casa virtuale* NFT" a raggiungere visibilità mediatica globale, in un momento in cui il mercato degli NFT era in piena espansione (il volume di trading di NFT su Ethereum supera i 2 miliardi di dollari nel solo primo trimestre 2021). Il progetto è realizzato in collaborazione con Jeff Schroeder (chitarrista degli *Smashing Pumpkins* e *digital artist*) per la modellazione 3D e con il *sound designer* Anyma (alias di Matteo Milleri, co-fondatore del duo elettronico Tale of Us) per la colonna sonora.
L'abitazione è un rendering tridimensionale ambientato in un paesaggio marziano surreale: architettura di vetro trasparente apparentemente fluttuante senza fondazioni visibili, arredi luminescenti con materiali che emanano luce propria (resa attraverso *emission shader* in Unreal Engine 4), *palette* cromatica pastello (rosa, azzurro, lavanda) che Kim associa esplicitamente alla pratica meditativa e al concetto di "*luce guaritrice*" (riferimento alla cromoterapia e alle ricerche di Niels Finsen, Nobel per la Medicina 1903, citate da Kim nelle interviste). L'interno è progettato secondo principi di minimalismo zen: spazi ampi, privi di superfici opache, con arredi ridotti all'essenziale e illuminazione diffusa che dissolve i confini tra pavimento, pareti e soffitto. Le dimensioni dell'opera digitale sono di circa 800 m² in scala virtuale, con sei ambienti principali (*living*, *dining*, *bedroom*, *bathroom*, *meditation room*, *terrace*).
Kim descrive l'opera come "*casa di luce pura*", un rifugio meditativo nel dominio digitale, concepito come antidoto all'ambiente urbano fisico denso di stimoli visivi e sonori che la vita contemporanea produce. La musica che accompagna il video dell'opera (composta da Anyma con la collaborazione di CamelPhat per l'arrangiamento ambient) è parte integrante del progetto: non una colonna sonora ma un elemento costitutivo dell'ambiente, coerente con l'approccio sensoriale totalizzante che caratterizza la poetica dell'artista. L'acquirente dell'NFT (rimasto anonimo, ma successivamente identificato come il *crypto investor* Pranksy) possiede un *token blockchain* (standard ERC-721 su Ethereum) che certifica la proprietà del file digitale (esponibile in metaversi, gallerie virtuali, o proiettato in spazi fisici attraverso installazioni *site-specific*) con diritti che includono la possibilità di commissionare a Kim varianti personalizzate della casa per specifici ambienti di metaverso.
La vendita di Mars House contribuisce a definire una categoria specifica all'interno dell'ecosistema NFT: l'architettura virtuale come *asset* collezionabile, che nei mesi successivi produce decine di progetti analoghi: case virtuali progettate da studi di architettura (*Genesis* di Andrés Reisinger venduta come collezione NFT nel 2021 per oltre 450.000 dollari), gallerie digitali vendute come NFT, interi quartieri virtuali tokenizzati su *blockchain*.

Bibliografia e Sitografia

Kim, K. (2021). *Mars House* [NFT]. SuperRare. https://superrare.com/artwork-v2/mars-house-28912
Krista Kim. (s.d.). *Krista Kim*. https://kristakim.com/

103 BEEPLE, EVERYDAYS: THE FIRST 5000 DAYS. USA, 2021

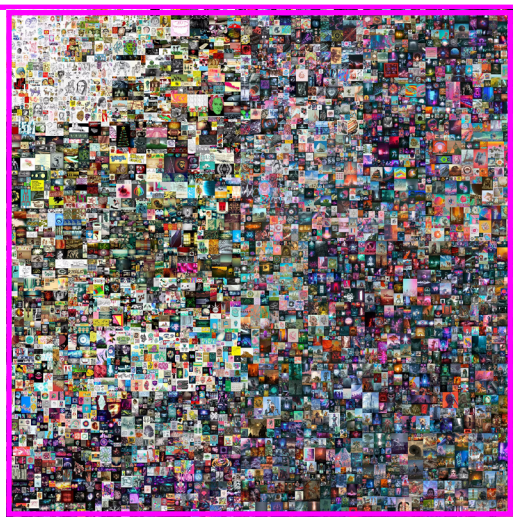


Figura 169.
Opera "Everydays: The First 5000 Days", © Beeple (Mike Winkelmann) / Wixstatic, URL: https://static.wixstatic.com/media/a64726_8b0e3cb2371c4d58ab569c6a5d521719~mv2.jpg/v1/fill/w_2210,h_2210,al_c,q_90,usm_0.66_1.00_0.01,enc_avif,quality_auto/

Everydays: *The First 5000 Days* viene venduta da Christie's l'11 marzo 2021 per 69,3 milioni di dollari (42.329,453 ETH al cambio di allora), pagati in *Ether* dalla società di investimento Metapurse del collezionista Vignesh Sundaresan, noto come MetaKovan (imprenditore *crypto* indiano residente a Singapore), diventando la terza opera di un artista vivente più costosa mai venduta all'asta — superata solo da *Rabbit* di Jeff Koons (91,1 milioni nel 2019) e *Portrait of an Artist* (*Pool with Two Figures*) di David Hockney (90,3 milioni nel 2018) — e la prima opera venduta da una casa d'asta tradizionale esclusivamente come NFT, senza equivalente fisico. La vendita avviene in *online auction* con offerta iniziale di 100 dollari l'25 febbraio 2021: il prezzo cresce di 30 dollari ogni secondo durante gli ultimi minuti della *bid*, in una dinamica speculativa che cattura l'attenzione di tutto il mondo finanziario e culturale.

L'opera è un *collage* monumentale (tecnicamente un file JPEG di 21.069 × 21.069 pixel, dimensione 319 MB) di 5.000 immagini digitali create quotidianamente da Mike Winkelmann (Charleston, South Carolina, 1981), *graphic designer* di Green Bay, Wisconsin, noto online come Beeple, a partire dal 1° maggio 2007, in un progetto di disciplina creativa autoimposta che si estende per tredici anni e 222 giorni senza interruzione: ogni giorno, indipendentemente da impegni, malattie o circostanze (Winkelmann documenta di aver mantenuto la disciplina anche durante il proprio matrimonio, durante la nascita dei figli, durante un viaggio in ospedale per appendicectomia), pubblica un'immagine digitale nuova. Al momento della vendita, il progetto continuerà come *Everydays Vol. 2* dal giorno 5001 (5 gennaio 2021) e prosegue ancora oggi: al settembre 2025, Winkelmann ha completato oltre 6.700 *everydays* consecutive.

Il *corpus* documentato da *Everydays* attraversa tredici anni di evoluzione artistica, tecnologica e culturale: le prime immagini del 2007 sono schizzi digitali elementari prodotti con Photoshop CS3 su tableta Wacom; le ultime del 2021 sono *render* tridimensionali fotorealistici prodotti con Cinema 4D (di Maxon Computer), Octane Renderer (di OTOY), e Adobe After Effects, con una complessità tecnica e una qualità visiva che riflettono lo sviluppo parallelo degli strumenti e della competenza dell'autore. I soggetti spaziano da *fantasy* e fantascienza a commenti politici acuti (figure di Trump, Obama, Zuckerberg, Hillary Clinton, Putin, Bezos, Musk in contesti surreali e distopici), da sperimentazioni formali astratte a riferimenti alla *meme culture* (Pikachu, Squidward, Trump come Pokémon), costruendo un diario visivo della cultura digitale del primo ventennio del XXI secolo che è simultaneamente documento storico, esercizio tecnico e posizione artistica. La risoluzione individuale di ogni immagine cresce progressivamente: dai 1280 × 720 pixel del 2007 ai 7680 × 4320 (8K) delle immagini del 2020-2021. Christie's accetta per la prima volta criptovaluta come mezzo di pagamento (decisione presa dal CEO Guillaume Cerutti) e autentica un'opera priva di supporto fisico attraverso il meccanismo NFT.

Bibliografia e Sitografia

Beeple. (2021). *Everydays: The First 5000 Days* [NFT, ERC-721]. Christie's Auction House. https://onlineonly.christies.com/s/beeple-first-5000-days/beeple-b-1981-1/112924

Beeple. (s.d.). *Beeple*. https://beeple-crap.com/

ZAHA HADID ARCHITECTS, NFTISM, UK, 2021

104



Figura 170.
Progetto NFTism di Zaha Hadid Architects, © Zaha Hadid Architects, URL: https://www.zaha-hadid.com/wp-content/uploads/2021/12/5_Nftism_Image_by_ZHA_low.jpg

NFTism viene lanciato da Zaha Hadid Architects nel dicembre 2021 come progetto *blockchain* che raccoglie diverse collezioni di opere digitali distribuite attraverso piattaforme NFT di primo piano come SuperRare, Foundation e MakersPlace. Il progetto è sviluppato internamente a ZHA attraverso la creazione di ZH.ART — unità dedicata esclusivamente all'arte digitale, al *design* per metaversi e alla produzione NFT, fondata nel novembre 2021 — guidata da Patrik Schumacher (1961, *principal* di ZHA dalla morte di Zaha Hadid nel 2016) con la collaborazione di un *team* di *designer* e visualizzatori (specifically Tyson Hosmer, *director of digital design*, e Shajay Bhooshan, CODE *associate*) che costituisce, di fatto, la prima struttura istituzionale permanente di uno studio di architettura internazionale specificamente dedicata alla pratica digitale come fine piuttosto che come strumento. ZH.ART è registrata come *legal entity* a Londra con statuto autonomo, e opera come *spin-off creativo* dello studio principale.
Le opere della serie *NFTism* sfruttano il *corpus* di geometrie parametriche che ZHA ha accumulato in decenni di pratica professionale, liberandole dai vincoli costruttivi che nell'architettura fisica determinano l'inevitabile compromesso tra forma desiderata e fattibilità realizzativa. Un edificio fisico di ZHA deve negoziare con la gravità, con i materiali, con i costi, con le normative.
Come per il Liberland Metaverse (Scheda 98) sviluppato nello stesso anno, Schumacher descrive il dominio virtuale come "*il luogo in cui il parametricismo trova finalmente la propria forma più pura, libera dai compromessi che il mondo fisico impone sistematicamente*" (intervista a *Dezeen*, dicembre 2021).
Il contesto del lancio di *NFTism* è quello dell'esplosione del mercato NFT del 2021, catalizzata dalla vendita di *Everydays* di Beeple (Scheda 103) da Christie's per 69,3 milioni di dollari e dalla proliferazione di piattaforme di conio e distribuzione di *token* non fungibili, che per la prima volta offre agli studi di architettura un meccanismo di monetizzazione diretta della creatività digitale senza la mediazione di un committente fisico. *NFTism* trova la propria realizzazione più documentata nella mostra virtuale presentata ad *Art Basel Miami Beach* dal 2 al 4 dicembre 2021, galleria virtuale che esplora architettura e interazione sociale nel metaverso, con curatela di Kenny Schachter (curatore e critico britannico, *contributing editor* di *Artnet News*), ospitata da Galerie Nagel Draxler (Berlino/Colonia/Monaco) e costruita sulla piattaforma JOURNEE (società francese specializzata in *immersive web experiences* fondata nel 2019).
La galleria espone opere specifiche che materializzano la convergenza tra ZHA e Zaha Hadid Design (la divisione *product design* dello studio fondata nel 2007): la Z-boat (yacht progettata in collaborazione con Bénéteau, 2014), la Z-Car One (concept car parametrica, 2008), il banco-tavolo scultoreo Belu (Established & Sons, 2007) e lo sgabello Orchis (Sawaya & Moroni, 2008), tutti progetti precedentemente commissionati da Schachter stesso, che nella veste di curatore porta nel metaverso opere nate dalla collaborazione tra i due bracci dello studio.

Bibliografia e Sitografia

Zaha Hadid Architects. (2021). *NFTism: Digital architecture and Web3*. ZHA.
ZH.ART. (s.d.). *Digital creations and NFT collections*. https://zh.art/

105 SPACE POPULAR, GALLERIA VIRTUALE FUNDACIÓN ARQUIA, SPAGNA , 2022



Figura 171.
Galleria virtuale Fundación Arquia di Space Popular, © Space Popular / Dezeen, URL: https://static.dezeen.com/uploads/2020/11/space-popular-punto-de-inflexio%C-C%81n-virtual-festival_dezeen_2364_col_6.jpg

La Galleria Virtuale Fundación Arquia viene progettata dallo studio Space Popular nel novembre 2020, in occasione del "*Punto de Inflexión: Virtual Festival*" organizzato dalla Fundación Arquia — fondazione spagnola dedicata alla promozione e alla ricerca sull'architettura, fondata dalla Caja de Arquitectos nel 1990 con sede a Barcellona — come ambiente tridimensionale navigabile esclusivamente via *browser* web, senza necessità di installare *software* dedicato né di possedere visori VR: una scelta tecnica che è simultaneamente una posizione politica sull'accessibilità dell'architettura virtuale. La galleria viene successivamente espansa con nuove sezioni nel 2021 e 2022, mantenendo la propria struttura tecnica e concettuale originaria.
Space Popular è fondato a Londra nel 2013 da Lara Lesmes (Madrid, 1985) — architetta spagnola con formazione alla *Escuela Técnica Superior de Arquitectura* (ETSA) di Madrid (M.Arch 2010) e all'Architectural Association di Londra (M.Arch.II *Design Research Lab*, 2013) — e Fredrik Hellberg (Stoccolma, 1985) — architetto svedese con formazione alla *KTH Royal Institute of Technology* di Stoccolma (M.Arch 2010) e all'AA (M.Arch.II 2013, dove i due si incontrano nel programma DRL diretto allora da Patrik Schumacher). Lo studio ha sedi a Londra, Stoccolma e Bangkok, ed è oggi *visiting professor* al *Royal Institute of Technology Stockholm* (Lesmes) e *unit master* all'AA (Hellberg). Lo studio ha costruito la propria identità disciplinare attorno a una ricerca sistematica sulla "*metaverse architecture*" come pratica progettuale autonoma con proprie regole, propria estetica e proprie possibilità radicalmente distinte dall'architettura fisica.
La galleria per Arquia materializza questa ricerca in forma istituzionale commissionata: uno spazio che non ha equivalente fisico, non intende averne, e usa la libertà del dominio virtuale non come pretesto per la spettacolarizzazione formale ma come condizione per esplorare principi compositivi che la fisica rende impossibili. Lo spazio è organizzato come una sequenza di stanze interconnesse attraverso *gateways* (soglie portali) che permettono al visitatore di muoversi tra ambienti con leggi geometriche e cromatiche radicalmente diverse: una stanza con superfici chiare e proporzioni classiche, una con geometrie iperboliche e materiali iridescenti, una con scale escheriane impossibili. L'estetica è caratterizzata dalla *palette* cromatica saturatissima tipica di Space Popular (rosa shocking, ciano, giallo, magenta), dalle *texture* a motivi geometrici ripetitivi che richiamano il *flat design* delle interfacce digitali contemporanee, dalla deliberata bidimensionalità grafica delle superfici che riconosce la natura *screen-mediated* dell'esperienza. La galleria ospita mostre di architettura digitale, *rendering* di progetti, contenuti multimediali interattivi — funzioni per cui la Fundación Arquia aveva precedentemente usato spazi fisici e piattaforme *online* bidimensionali — dimostrando che uno spazio tridimensionale virtuale può svolgere le funzioni istituzionali di una galleria senza sacrificare la propria specificità formale alle convenzioni della scatola bianca museale.

Bibliografia e Sitografia

Lesmes, L., & Hellberg, F. (Eds.). (2020). Virtual aesthetics in architecture [Numero monografico]. *Architectural Design*, 90(6).
Space Popular. (2020). *Fundación Arquia Virtual Gallery: Design documentation*. Space Popular Studio.
Space Popular. (s.d.). *Space Popular*. http://www.spacepopular.com/

BIG + VICE MEDIA, VICEVERSE, DANIMARCA/USA, 2022

106



Figura 172.
Progetto Viceverse, © BIG - Bjarke Ingels Group / Domus, URL: https://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/it/news/2022/03/08/viceverse-luffi-cio-nel-metaverso-progettato-da-big-per-vice-media-group/domus-viceversebig-1.jpg.foto.rmedium.jpg

Viceverse viene sviluppato e annunciato il 8 marzo 2022 dalla collaborazione tra BIG — Bjarke Ingels Group (studio fondato a Copenaghen nel 2005 dall'architetto danese Bjarke Ingels, Kobenhavn 1974, con uffici a New York, Londra, Barcellona, Shenzhen e Oslo, oltre 700 collaboratori al 2024, noto per un approccio che definisce "*Yes is More*" sintetizzando pragmatismo nordico e ambizione formale, autore di opere come *VM Houses* di Copenaghen 2005, *8 House* di Copenaghen 2010, *Lego House* di Billund 2017, *Mercedes-Benz Stadium* di Atlanta 2017, *Heatherwick Studio Vessel* di NY 2019, *Two World Trade Center* in costruzione, *Telosa City* in pianificazione) e VICE Media Group — il conglomerato mediatico fondato a Montréal nel 1994 da Suroosh Alvi, Gavin McInnes e Shane Smith come "*Voice of Montreal*", specializzato in contenuti giornalistici e culturali orientati verso *audience* giovani (*Millennials* e *Generazione Z*), che al picco del 2018 valeva 5,7 miliardi di dollari ma è entrato in *bankruptcy protection* nel maggio 2023 ed è stato successivamente acquisito da Fortress Investment Group per 350 milioni di dollari nel giugno 2023.
Il progetto nasce da un'analisi strategica condivisa: VICE stava cercando nuovi formati di distribuzione dei propri contenuti (documentari investigativi, musica emergente, fotografia di reportage) capaci di coinvolgere un'*audience* che le piattaforme tradizionali non riuscivano più a raggiungere con la stessa intensità (i giovani sotto i 25 anni che avevano abbandonato Facebook e progressivamente Instagram, e che erano migrati verso TikTok, Discord, YouTube e ambienti VR); BIG stava esplorando sistematicamente le possibilità dell'architettura virtuale come estensione della propria pratica fisica, dopo le sperimentazioni con ambienti digitali per eventi e presentazioni (la collaborazione con *Squarespace* per il *World Expo* 2020 Dubai, le installazioni virtuali per *Adidas* 2021, il *Marselisborg Castle digital reconstruction* 2020). La direzione del progetto è di Daniel Sundlin (*partner* BIG, NY) e Tarra Pelias (*chief production officer* VICE Media), con un *team* di 30 persone tra architetti, *VFX artist* e *creative director*.
Viceverse è la sintesi di questi due interessi: una piattaforma metaverso dedicata a ospitare concerti di artisti emergenti (in collaborazione con *Noisey*, l'etichetta musicale di VICE), proiezioni di documentari VICE (*Vice News Tonight*, *VICE on HBO*), *talk* con giornalisti investigativi e mostre fotografiche interattive, con architetture virtuali progettate da BIG come commissione reale — non come sperimentazione accademica o prodotto *marketing* — con gli stessi principi progettuali applicati ai progetti fisici dello studio. La piattaforma è costruita su Unreal Engine 5 con tecnologia *Webgl*, accessibile via *browser* web (Chrome, Safari, Firefox) e visori VR (Meta Quest 2/3, Valve Index), con avatar personalizzabili attraverso il sistema *Ready Player Me*. I padiglioni eventi, le gallerie e gli spazi di aggregazione che BIG progetta per Viceverse presentano l'estetica caratteristica dello studio ma sfruttano la libertà del dominio virtuale per eliminare i compromessi costruttivi che nell'architettura fisica costringono a semplificare le forme.

Bibliografia e Sitografia

BIG — Bjarke Ingels Group. (2022). *Viceverse: Metaverse architecture project* [Documentazione di progetto]. BIG.
BIG — Bjarke Ingels Group. (s.d.). *BIG*. https://big.dk/

107 JOSHUA CHAPLIN, THECORE WORLD, USA, 2022

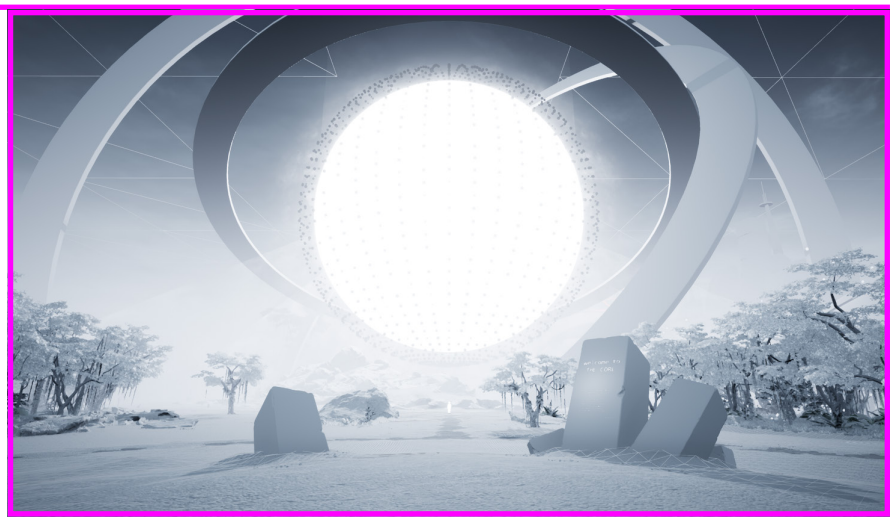


Figura 173.
Screenshot di TheCore World di Joshua Chaplin, © Joshua Chaplin / Squarespace, URL: https://images.squarespace-cdn.com/content/5ec551f3ab06cc0aa5a303c9/

TheCore World viene sviluppato da Joshua Chaplin — *entrepreneur* statunitense con *background* in *gaming* e realtà virtuale, fondatore di TheCore Inc. (Los Angeles, 2020) — e presentato pubblicamente nel maggio 2022 come piattaforma metaverso proprietaria. La società viene fondata con un *seed funding* di 5 milioni di dollari raccolti da investitori specializzati in *Web3* (Animoca Brands, Polygon Studios, Dapper Labs), e successivamente con una *Series A* di 12 milioni di dollari nel novembre 2022. Chaplin, già fondatore di precedenti *startup* nel settore *gaming* (*Vapor Communications* 2014-2018, *RealityCraft* 2018-2020), articola la propria proposta in opposizione esplicita ai due estremi del mercato metaverso del 2022: da un lato le piattaforme *crypto-nativi* speculative (Decentraland, The Sandbox) caratterizzate da scarsa qualità *gameplay* e da economie speculative; dall'altro le piattaforme *gaming-first* (Roblox, Fortnite Creative) caratterizzate da curve di apprendimento ripide per i creatori non programmatori.
TheCore World occupa deliberatamente lo spazio intermedio: strumenti di costruzione sufficientemente avanzati per i creatori professionisti ma sufficientemente accessibili da non richiedere competenze di programmazione specialistica, integrazione Web3 attraverso NFT e *token economy* senza fare della speculazione *blockchain* il proprio modello di *business* primario. La piattaforma è organizzata in "*isole*" e "*distretti*" tematici (zone commerciali per *shopping* virtuale, spazi eventi per concerti e conferenze, aree residenziali personalizzabili, gallerie d'arte digitale) che i creatori possono costruire attraverso un editor visuale intuitivo (ispirato al *Minecraft Creative Mode* ma con un sistema di *primitive shapes* più ricco) integrato da strumenti di *scripting* avanzato (TypeScript e Lua) per comportamenti interattivi complessi. Il sistema di monetizzazione permette ai creatori di vendere *asset* digitali, esperienze e accessi esclusivi ad altri utenti, con una struttura di *revenue sharing* (70% al creatore, 30% alla piattaforma, percentuale più favorevole rispetto al 30/70 di App Store e Google Play) che incentiva economicamente la produzione di contenuti di qualità.
La governance della piattaforma è affidata a una DAO (*Decentralized Autonomous Organization*) che consente ai possessori del *token* nativo CORE di votare su decisioni strategiche, replicando il modello di Decentraland ma applicandolo a una piattaforma con una struttura di contenuti più eterogenea e un'orientazione culturale più esplicitamente diversificata. Il *token* CORE è scambiato sulle principali *exchange* di criptovalute (Coinbase, Binance, Crypto.com) e ha raggiunto una capitalizzazione di mercato di circa 280 milioni di dollari al picco del giugno 2022, scesa successivamente a circa 45 milioni di dollari nel 2024 con il *bear market* generalizzato del settore. Chaplin descrive TheCore come "*sistema operativo per il metaverso*": non una singola esperienza ma un'infrastruttura aperta su cui sviluppatori indipendenti costruiscono esperienze interconnesse e interoperabili, con la stessa logica con cui iOS e Android sono infrastrutture su cui si sviluppano applicazioni autonome.

Bibliografia e Sitografia

Chaplin, J. (2022). *TheCore World: Platform whitepaper and vision*. TheCore Inc.
Ball, M. (2022). *The metaverse: And how it will revolutionize everything*. Liveright.
TheCore Inc. (s.d.). *TheCore World*. https://www.thecoreworld.com/

OMA, THE UNDERWATER SCULPTURE, NFT, 2022

108



Figura 174.
Render di The Underwater Sculpture di OMA, © OMA - Office for Metropolitan Architecture / ArchDaily, URL: https://images.adsttc.com/media/images/5fb6/e179/63c0/17dd/6300/00c2/large_jpg/007_Reefline_Sculpture_Zoom-in_OMA.jpg?1605820763

The Underwater Sculpture viene sviluppato dallo studio OMA — Office for Metropolitan Architecture — fondato a Rotterdam nel gennaio 1975 dall'architetto olandese Rem Koolhaas (Rotterdam, 1944, Pritzker Prize 2000), dall'architetto greco Elia Zenghelis, dalla designer Madelon Vriesendorp e dalla pittrice Zoe Zenghelis, che ha costruito la propria identità disciplinare attorno a una pratica teorica e progettuale che privilegia l'analisi critica delle condizioni culturali e urbane rispetto alla produzione di forme iconiche (nel solco della metodologia codificata da Koolhaas in *Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan*, Oxford University Press 1978, e in S, M, L, XL, Monacelli Press 1995). Il progetto è guidato all'interno di OMA dal *partner* Shohei Shigematsu (direttore della sede di New York dello studio dal 2008) ed è rilasciato come NFT nell'ottobre 2022 sulla piattaforma SuperRare, in un momento in cui il picco speculativo del mercato *blockchain* (gennaio-marzo 2022) stava lasciando spazio a una valutazione più calibrata delle possibilità culturali del formato, dopo il crollo del 70% del volume di trading NFT tra marzo e settembre 2022.
Il progetto nasce come parte della collaborazione di OMA con il programma *ReefLine*, un parco artistico subacqueo di 11 chilometri al largo di Miami Beach commissionato dalla *BlueLab Preservation Society* e curato da Ximena Caminos, di cui OMA aveva sviluppato il *master plan* fisico (presentato nel 2020): la versione virtuale dell'opera funziona come anticipazione e contestualizzazione concettuale del progetto fisico, esplorando attraverso il *medium* digitale possibilità che il contesto subacqueo reale permette ma non garantisce. Il *minting* dell'opera in *limited edition* di 10 NFT è stato venduto a un prezzo medio di 4,2 ETH per *token* (circa 6.500 dollari al cambio di ottobre 2022), con il ricavato destinato in parte al *funding* del programma ReefLine fisico.
Il progetto presenta una struttura architettonica monumentale sommersa in un contesto oceanico, accessibile esclusivamente nel dominio virtuale, senza possibilità di equivalente fisico per ragioni che non sono costruttive ma concettuali: non un edificio che non si potrebbe costruire per ragioni tecniche ma un'architettura che esiste specificamente nell'impossibilità fisica come condizione poetica. OMA applica al contesto digitale il proprio rigore metodologico caratteristico: l'analisi tipologica che decostruisce le convenzioni formali di una categoria architettonica per ricomporle in configurazioni inattese, la logica strutturale che rende visibile il sistema che regge la forma, la materialità concettuale che usa i materiali non per le proprie proprietà fisiche ma per i propri significati culturali. La scultura gioca con la luce filtrata dall'acqua — che nell'architettura fisica è uno dei fattori ambientali più difficilmente controllabili e qui diventa invece *parametro progettuale totalmente controllato* — con la profondità oceanica come dimensione spaziale che dissolve i confini tra interno ed esterno, con materiali traslucenti e riflettenti che producono effetti ottici impossibili in qualsiasi altra condizione di illuminazione.

Bibliografia e Sitografia

OMA. (2022). *The Underwater Sculpture: Digital architecture project* [Documentazione di progetto]. OMA.
Koolhaas, R. (1995). *S, M, L, XL: Office for Metropolitan Architecture*. Monacelli Press.
OMA. (s.d.). *Digital projects and research*. https://oma.eu/

109 THE UNBUILT GALLERY, THE ARCHITECTURE OF VIRTUAL SPACE, USA, 2023



Figura 175.
Immagine da The Architecture of Virtual Space di The Unbuilt Gallery, © The Unbuilt Gallery / ArchDaily, URL: https://images.adsttc.com/media/images/6499/7d8d/3ec2/e100/01e6/4429/large_jpg/Ricardo_Solar.jpg?1687879493

The Architecture of Virtual Space viene inaugurata da The Unbuilt Gallery of Architecture con un *opening party* nel febbraio 2023 e un lancio pubblico il 20 giugno 2023 attraverso spazi espositivi virtuali immersivi *browser-based*, come prima mostra collettiva curata della galleria. The Unbuilt Gallery è una piattaforma curatoriale digitale fondata nel 2022 da Sarah Aziz (architetta libanese-americana, formatasi alla *Cooper Union* di New York e curatrice presso lo *Storefront for Art and Architecture*) e Marko Brajović (architetto croato-brasiliano, fondatore di *Atelier Marko Brajović* a São Paulo), come progetto sperimentale dedicato alla curatela e all'esposizione di *unbuilt architecture* esclusivamente digitale.
The Unbuilt Gallery nasce dalla consapevolezza che la tradizione dell'architettura non costruita ha sempre prodotto il proprio *corpus* più ricco e teoricamente avanzato nei formati che liberano il progetto dall'obbligo della realizzazione: dai Progetti Russi degli anni Venti dell'Inkhuk e dell'OSA (Tatlin, El Lissitzky, Iakov Chernikhov) ai Paper Architects sovietici degli anni Ottanta (Aleksandr Brodsky, Ilya Utkin, Yuri Avvakumov), dai concorsi utopici di Archigram (*Plug-In City* 1964, *Walking City* 1964) alle visioni radicali di Superstudio (*Continuous Monument* 1969, *Twelve Ideal Cities* 1971), dai disegni di Lebbeus Woods (*Berlin Free-Zone* 1990, *War and Architecture* 1993) ai progetti utopici di Yona Friedman (*Spatial City* 1958-1968). Il disegno, il *collage*, il manifesto: questa tradizione produce le opere più radicali in formati che liberano il progetto dall'obbligo della realizzazione fisica.
I cinque progetti della mostra, ciascuno dei quali occupa un ambiente separato navigabile in prima persona attraverso *browser* senza installazione di *software* dedicato, interpretano il tema della meditazione spaziale con approcci formali radicalmente diversi, rivelando la ricchezza del *brief* come dispositivo curatoriale.
NO ARCHITECTURE esplora la *riduzione come strumento meditativo*: spazi quasi privi di elementi, con proporzioni calibrate sulla base di studi antropometrici e acustici, in cui l'assenza di stimoli visivi produce una condizione di attenzione amplificata sulle poche qualità spaziali presenti. Ricardo Solar porta la propria ricerca sui *paesaggi ibridi organico-digitali* in un ambiente che dissolve il confine tra architettura e natura, con superfici che si trasformano lentamente nel corso della visita seguendo algoritmi di crescita biologica. Saul Kim usa la geometria sacra, le proporzioni della sezione aurea, le simmetrie radiali delle architetture templari coreane (riferimenti alle pagode del periodo Goryeo, X-XIV secolo), come base generativa per un ambiente che produce familiarità culturale in un contesto formalmente inedito. Forma Rosa Studio sviluppa uno spazio in cui la luce è l'unico materiale costruttivo: pareti, pavimenti e soffitti esistono solo come effetti di illuminazione programmata, senza superfici fisiche che li supportino. W.A.K. Studio propone un'architettura della soglia: una sequenza di spazi che si trasformano gradualmente dal caotico al quieto, usando la progressione come strumento meditativo piuttosto che lo stato finale.

Bibliografia e Sitografia

The Unbuilt Gallery. (2023). *The Architecture of Virtual Space: Exhibition brief and documentation* [febbraio–giugno 2023]. https://www.unbuilt.xyz/gallery

METAVERSE ARCHITECTURE BIENNALE, "PRESENCE OF THE FUTURE", DECENTRALAND & W3RLDS, 2023

110



Figura 176.
Immagine della Prima Biennale Virtuale - Metaverse Architecture Biennale, © Metaverse Architecture Biennale / Edilportale, URL: https://img.edilportale.com/News/86771-full-7182-1-86771-sc-v2com-95304_1.jpg

La Metaverse Architecture Biennale (MAB) inaugura il 21 settembre 2023 con chiusura il 6 ottobre 2023 come la prima biennale architettonica completamente virtuale della storia, organizzata collaborativamente da tre entità: Dearch Space, guidata da Sergey Nadtochiy (architetto e *digital design strategist* russo, fondatore dello studio nel 2019, con esperienza precedente come *Director of Innovation* presso *Foster + Partners*) in qualità di CEO e *co-curator*; W3rlds, guidata da Alex Smaga (imprenditore tecnologico ucraino-statunitense, già fondatore di *Open Sea Software*); e Metancy, con Rick Metaverse (alias di Richard Mervyn, British *crypto entrepreneur*) e Irina Dubovik (*digital curator* russo-tedesca, *Strelka Institute alumna*).
La struttura organizzativa a tre poli riflette la complessità istituzionale del progetto: non una singola istituzione con una sede fisica ma una rete di soggetti digitalmente distribuiti che convergono attorno a un tema curatoriale condiviso (*Presence of the Future*) declinato su due piattaforme ospitanti simultanee con tecnologie radicalmente diverse. Decentraland (Scheda 96) offre il *substrato blockchain-based* con proprietà NFT del territorio (parcelle assegnate gratuitamente ai partecipanti per la durata della Biennale) e *governance* DAO; W3rlds offre un ambiente *game engine-based* (costruito su *Unreal Engine* 5 + tecnologia *Pixel Streaming*) con qualità visiva superiore e accessibilità via *browser* senza requisiti tecnici specifici.
Questa doppia piattaforma non è un compromesso logistico ma una scelta curatoriale: la coesistenza di due infrastrutture tecnologiche con filosofie diverse (la decentralizzazione e la proprietà distribuita di Decentraland *versus* la qualità esperienziale e l'accessibilità di W3rlds) rispecchia la tensione strutturale del campo dell'architettura virtuale nel 2023, in cui nessuna piattaforma singola offre simultaneamente tutte le qualità desiderabili.
Il tema *Presence of the Future* esplora come l'architettura possa reinventarsi nel dominio digitale liberandosi sistematicamente dai vincoli che la definiscono nel mondo fisico: gravità, materialità, statica strutturale, regolamentazioni urbane, vincoli NIMBY che nell'architettura fisica limitano l'innovazione formale e programmatica ben oltre quanto i vincoli tecnici da soli richiederebbero.
Il *corpus* espositivo aggrega oltre sessanta padiglioni da studi internazionali di diversa scala e provenienza geografica: HWKN di New York, Killa Design di Dubai, LAVA (*Laboratory for Visionary Architecture*) di Berlino, PLP Architecture di Londra, ATRIUM (Mosca), SoomeenHahm Design (Londra/Seul), Spaces DAO, DA! Studio, IL PRISMA (Milano), SA lab, iheartblob, OBMI, Mariana Cabugueira Studios e ILLUSORR (Berlino), che compongono un panorama internazionale che testimonia la diffusione geografica della pratica.

Bibliografia e Sitografia

Metaverse Architecture Biennale. (2023). *Presence of the future* [Catalogo della mostra]. https://metaversearchbiennale.com/
ArchDaily. (2023). *The first Metaverse Architecture Biennale*. https://www.archdaily.com/1006995/the-first-metaverse-architecture-biennale

110.1

IHEARTBLOB, PROSCENIUM, MAB 2023

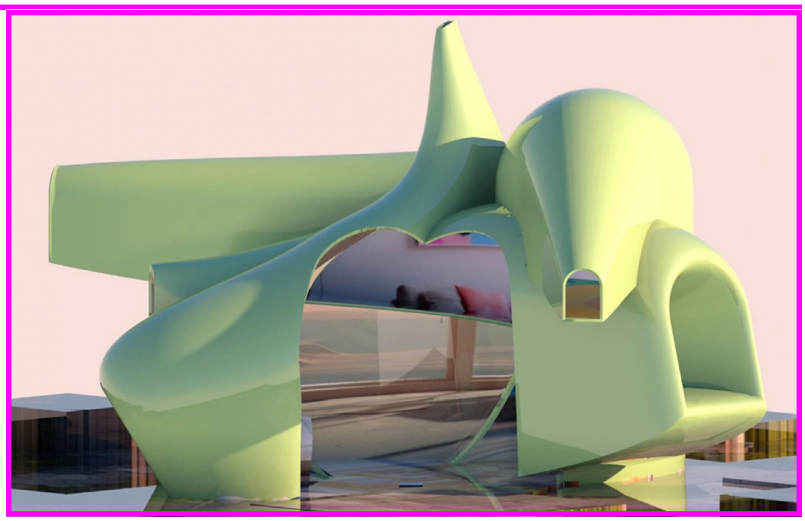


Figura 177.
Progetto Proscenium di iheartblob, MAB 2023, © iheartblob / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

iheartblob — collettivo di *computational design* fondato nel 2017 da Aleksandra Belitskaja, Ben James e Shaun McCallum, attivo fra ricerca accademica e sperimentazione sui social media e autore del volume *iheartblob – Augmented Architectural Objects: A New Visual Language* (Birkhäuser, 2020) — opera all'intersezione tra architettura, generative art e tecnologie blockchain, ed è stato fra i pionieri degli NFT architettonici. Per la Metaverse Architecture Biennale 2023 il collettivo presenta *Proscenium*, ambiente virtuale che reinterpreta la tipologia teatrale nel dominio digitale.
Il padiglione adotta la metafora del proscenio — la soglia che nel teatro all'italiana separa lo spazio dello spettacolo da quello degli spettatori — come dispositivo per interrogare la relazione tra visitatore e ambiente virtuale: chi è attore e chi è pubblico in uno spazio in cui ogni presenza è simultaneamente *performer* e osservatore? Le geometrie organiche e ramificate caratteristiche della pratica di iheartblob — generate con *workflow* misti che combinano algoritmi di L-systems, reaction-diffusion (basate sulle equazioni di Alan Turing del 1952) e GAN addestrate su un *dataset* curato di immagini architettoniche — producono una struttura circolare e radiale che non ha retro né fronte, eliminando la separazione convenzionale tra scena e platea. Il visitatore-*avatar* si muove in uno spazio in cui ogni posizione è simultaneamente palcoscenico e galleria, ridefinendo le dinamiche scopiche tipiche dell'architettura teatrale tradizionale e aprendo una riflessione sulla performatività dell'abitare digitale: nel metaverso, ogni atto di presenza è già rappresentazione.

Bibliografia e Sitografia

iheartblob. (2023). *Proscenium* [Padiglione MAB 2023]. Metaverse Architecture Biennale.
Belitskaja, A., James, B., & McCallum, S. (2020). *iheartblob – Augmented architectural objects: A new visual language* (IoA Institute of Architecture, Ed.). Birkhäuser.
Metaverse Architecture Biennale. (s.d.). https://metaversearchbiennale.com/

IL PRISMA, MIRROR WORLDS, MAB 2023

110.2

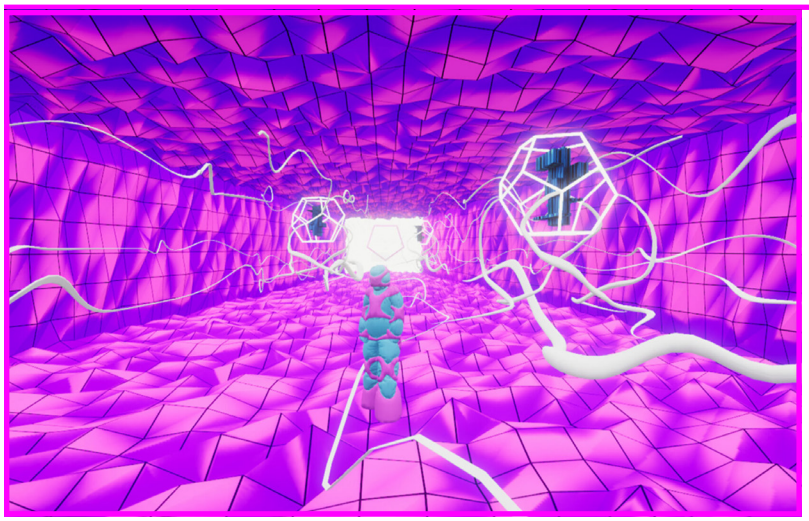


Figura 178.
Progetto Mirror Worlds di IL PRISMA, MAB 2023, © IL PRISMA / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

IL PRISMA — studio italiano di architettura, *interior design* e *strategic design* fondato a Milano nel 2002 da Manuela Bonino, Davide Servettaz e Paolo Lazzaroni, con sedi successive a Roma, New York, Hong Kong e Belo Horizonte (oltre 250 collaboratori al 2024) — ha sviluppato negli ultimi anni una specifica linea di ricerca sull'experience design e sugli ambienti ibridi *phygital*, con clienti tra cui *Microsoft Italia*, *Lavazza*, *Pirelli* e *Generali*. Per la MAB 2023 lo studio presenta *Mirror Worlds* come padiglione che esplora la relazione tra spazio fisico e spazio virtuale attraverso la metafora dello specchio come dispositivo di duplicazione, inversione e moltiplicazione semantica.
L'ambiente virtuale costruisce una sequenza di stanze speculari che riflettono e distorcono frammenti di architettura reale — facciate storiche milanesi (Palazzo Litta, Galleria Vittorio Emanuele II), interni domestici tipologici, spazi urbani contemporanei — trasformandoli in configurazioni impossibili che mantengono la riconoscibilità del riferimento originale pur producendo qualità spaziali che il fisico non potrebbe generare: pavimenti che si specchiano in soffitti, pareti che si moltiplicano in cascate prospettiche infinite, riflessi che precedono i corpi che li generano. Il titolo richiama esplicitamente il concetto di *mirror world* elaborato dall'informatico statunitense David Gelernter (Yale) nel volume *Mirror Worlds, or the Day Software Puts the Universe in a Shoebox* (Oxford University Press, 1991), reinterpretandolo non come copia digitale fedele del mondo fisico — la lettura strumentale che il concetto ha ricevuto nel discorso *digital twin* dell'ultimo decennio — ma come deformazione produttiva: lo specchio non restituisce la realtà ma la trasforma in qualcosa di simbolicamente più ricco della realtà stessa, in coerenza con la tradizione filosofica da Lacan al pensiero del *simulacro* di Baudrillard.

Bibliografia e Sitografia

IL PRISMA. (2023). *Mirror Worlds* [Padiglione MAB 2023]. Metaverse Architecture Biennale.
Gelernter, D. (1991). *Mirror worlds, or the day software puts the universe in a shoebox*. Oxford University Press.
IL PRISMA. (s.d.). https://www.ilprisma.com/

110.3 LAVA, LAVA WORLD, MAB 2023

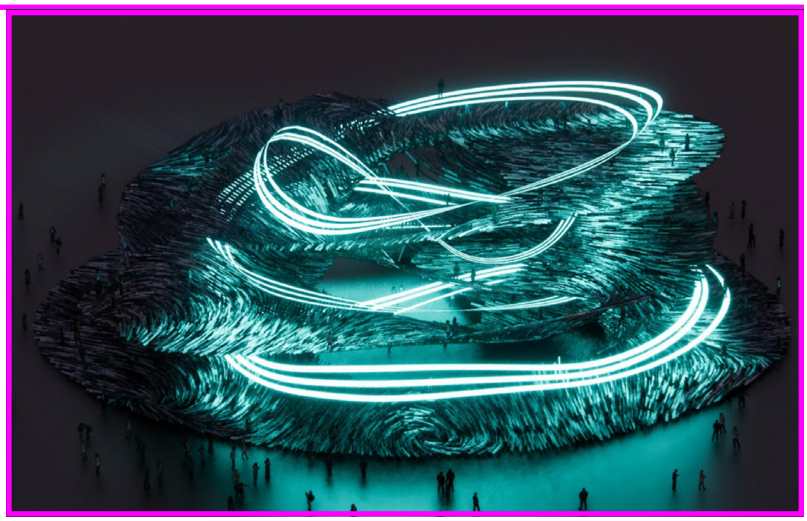


Figura 179.
Progetto Lava World di LAVA, MAB 2023, © LAVA / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

LAVA — Laboratory for Visionary Architecture è uno studio internazionale fondato nel 2007 da Chris Bosse (architetto australiano-tedesco, ex-PTW Architects e *project architect* del *Beijing Watercube* 2008), Alexander Rieck (architetto tedesco, ricercatore al *Fraunhofer Institute for Industrial Engineering* di Stoccarda) e Tobias Wallisser (architetto tedesco, ex-*associate principal* di UNStudio sotto Ben van Berkel), con sedi a Berlino, Sydney, Stoccarda e Shanghai, autore di opere come il *Masdar City Centre* di Abu Dhabi (2010), il *Honeycomb Building* di Shanghai (2012) e la *Green Spine* di Melbourne (in costruzione). La pratica dello studio ha costruito la propria identità sulla biomimetica strutturale e sul *future-tropic design*.
Per la MAB 2023 LAVA presenta *Lava World*, ambiente virtuale che applica i principi biomimetici caratteristici della propria pratica — strutture ispirate agli organismi naturali, logiche di crescita algoritmica, superfici minime che replicano la logica delle bolle di sapone secondo le ricerche di Frei Otto e Jürgen Hennicke all'IL Stuttgart (1975) — a un contesto digitale che li libera dai vincoli materiali dell'architettura fisica. Il padiglione genera un paesaggio virtuale in cui le geometrie crescono secondo algoritmi ispirati alla morfogenesi naturale: ramificazioni dendritiche, aggregazioni cellulari di tipo *Voronoi*, superfici minime di *Schwarz* e *Schoen* che replicano la logica delle pellicole saponose in configurazioni tridimensionali navigabili. L'ambiente non distingue tra struttura e involucro, tra interno ed esterno, tra suolo e copertura: ogni elemento è generato dallo stesso processo algoritmico che produce il sistema nella sua totalità, in coerenza con la logica della *biological design* teorizzata da Neri Oxman (MIT Media Lab, *Material Ecology*, 2020).

Bibliografia e Sitografia

LAVA. (2023). *Lava World* [Padiglione MAB 2023]. Metaverse Architecture Biennale.
Otto, F., & Rasch, B. (1995). *Finding form: Towards an architecture of the minimal*. Edition Axel Menges.
LAVA. (s.d.). https://www.l-a-v-a.net/

LEONARDO MARCHESI, UPLIFTING SPIRAL, MAB 2023

110.4



Figura 180.
Progetto Uplifting Spiral di Leonardo Marchesi, MAB 2023, © Leonardo Marchesi / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

Uplifting Spiral è il padiglione presentato da Leonardo Marchesi (architetto italiano, formatosi al Politecnico di Milano con tesi sui sistemi parametrici, *Master in Advanced Architecture* presso lo IAAC — Institute for Advanced Architecture of Catalonia di Barcellona nel 2019, fondatore del proprio studio a Milano nel 2020 con specializzazione in *parametric design* per ambienti virtuali) alla *Metaverse Architecture Biennale* 2023 come struttura verticale a spirale che usa il movimento ascensionale come principio organizzativo dell'esperienza spaziale.
La spirale è una delle forme generative più ricorrenti nella storia dell'architettura: dal Minareto a spirale di Samarra (Iraq, IX secolo, l'unica struttura sopravvissuta della *Grande Moschea di al-Mutawakkil*) al Monumento alla Terza Internazionale di Vladimir Tatlin (1919-1920, mai costruito), dalla rampa elicoidale del Solomon R. Guggenheim Museum di New York di Frank Lloyd Wright (1959, Scheda 36) alle strutture elicoidali della *parametric architecture* contemporanea (la *Absolute Towers* di MAD a Mississauga, 2012; la *Ren Building* di BIG a Shanghai, 2010). Marchesi declina questa tradizione formale nel dominio virtuale come percorso che non ha vincoli gravitazionali né limiti strutturali: la salita può continuare indefinitamente, la spirale può restringersi o allargarsi secondo logiche che il costruito fisico non potrebbe rispettare, le viste che si aprono dal percorso ascendente possono mostrare paesaggi impossibili nella realtà — orizzonti curvi, città fluttuanti, geografie non-euclidee. Il titolo *Uplifting* in inglese significa simultaneamente "*che solleva fisicamente*" e "*che eleva spiritualmente*", gioca consapevolmente su questa doppia dimensione: il percorso verticale come metafora dell'elevazione intellettuale ed emotiva che l'esperienza architettonica può produrre quando libera la propria logica formale dai compromessi materiali del costruito fisico.

Bibliografia e Sitografia

Marchesi, L. (2023). *Uplifting Spiral* [Padiglione MAB 2023]. Metaverse Architecture Biennale.
Doczi, G. (1981). *The power of limits: Proportional harmonies in nature, art and architecture*. Shambhala.
Metaverse Architecture Biennale. (s.d.). https://metaversearchbiennale.com/

110.5 MARIANA CABUGUEIRA, YOUR DIGITAL-FOOTPRINT, MAB 2023



Figura 181.
Progetto Your Digital-Footprint di Mariana Cabugueira, MAB 2023, © Mariana Cabugueira / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

Mariana Cabugueira Studios — studio fondato a Londra nel 2017 dall'architetta portoghese Mariana Cabugueira (Lisbona, 1989), formatasi all'*Architectural Association* di Londra (M.Arch DRL nel 2016 sotto Patrik Schumacher) con esperienza precedente come *senior associate* presso Zaha Hadid Architects (2014-2018), oggi *visiting professor* all'AA School of Architecture e alla *RMIT* di Melbourne — ha costruito la propria pratica attorno al *parametric design* responsivo e alle *data-driven architectures*. Per la MAB 2023 lo studio presenta *Your Digital-Footprint* come padiglione che trasforma i dati comportamentali del visitatore in forma architettonica.
Ogni movimento dell'*avatar* nell'ambiente virtuale lascia tracce che si sedimentano nello spazio, modificandone progressivamente la configurazione attraverso un sistema di *real-time generative scripting* costruito in Unreal Engine 5 con plugin custom basati su Houdini Engine per la generazione procedurale. Il padiglione cresce e si trasforma in risposta all'aggregazione delle visite: ogni utente lascia una traccia che persiste dopo la propria disconnessione, contribuendo a un ambiente in continua evoluzione che è simultaneamente architettura e archivio comportamentale collettivo. Le configurazioni emergenti riflettono i percorsi dei visitatori precedenti, generando densità in zone frequentate e rarefazioni nelle aree meno percorse, in un processo che ricorda la *desire path analysis* dell'urbanistica comportamentale.
Il concetto di *footprint* è declinato programmaticamente su due piani complementari: l'impronta digitale come traccia individuale lasciata da ciascun visitatore (in coerenza con il dibattito contemporaneo su *data privacy* e *behavioral surveillance*), e l'impronta ecologica come riflessione sull'impatto energetico delle infrastrutture digitali — tema che la 18. *Biennale di Architettura* di Lesley Lokko (Scheda 71) aveva posto al centro del dibattito disciplinare nello stesso 2023 sotto la formula della doppia *D* (decolonizzazione e decarbonizzazione).

Bibliografia e Sitografia

Cabugueira, M. (2023). *Your Digital-Footprint* [Padiglione MAB 2023]. Metaverse Architecture Biennale.
Cabugueira, M. (2020). *Parametric responsiveness: Architecture for behavioral data*. Architectural Association Publications.
Mariana Cabugueira Studios. (s.d.). https://marianacabugueira.com/

OBMI, ABSENCE AND PRESENCE, LUMINAL CONFLUX, MAB 2023

110.6



Figura 182.
Progetto Absence and Presence, Luminal Conflux di OBMI, MAB 2023, © OBMI / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

OBMI — Onions Bouchard McCulloch International è uno studio internazionale di architettura fondato nel 1937 da Henry Onions, John Bouchard e Andrew McCulloch alle Bermuda come una delle più antiche pratiche architettoniche operanti in maniera continuativa nei Caraibi, oggi con sedi a Miami, Londra, Bermuda, Grand Cayman e Doha, e con un *portfolio* specializzato in *resort design* di alta gamma e *ultra-luxury hospitality* (Four Seasons Resort Bahamas, Mandarin Oriental Riviera Maya, Aman Resorts, Belmond Maroma). Per la MAB 2023, sotto la guida del *partner-in-charge* Jorge Loyzaga, OBMI presenta *Absence and Presence / Luminal Conflux* come padiglione che esplora la luce come materiale costruttivo primario dello spazio virtuale.
L'installazione utilizza fasci luminosi volumetrici (resi con tecniche di *volumetric lighting* di Unreal Engine 5 e *path tracing* GPU-accelerated), gradienti cromatici programmabili e effetti di traslucenza ottenuti tramite *shader* custom per costruire ambienti in cui la distinzione tra presenza e assenza, tra ciò che è definito e ciò che sfuma nell'indistinto, diventa il principio compositivo dominante. La poetica del progetto richiama esplicitamente la tradizione della luce come materia architettonica — dalle ricerche di James Turrell (i *Skyspace* dal 1974, le *Roden Crater Project* in Arizona dal 1979) alle installazioni di Olafur Eliasson (*The Weather Project*, Tate Modern 2003) — reinterpretandola in un contesto in cui la luce non deve essere prodotta da fonti fisiche ma è essa stessa la materia generativa.
Il titolo duplice segnala la doppia natura del progetto: *Absence and Presence* come riflessione filosofica sulla natura dell'architettura virtuale (presente come esperienza fenomenologica, assente come materia) e *Luminal Conflux* come descrizione tecnica degli effetti luminosi che generano lo spazio.

Bibliografia e Sitografia

OBMI. (2023). *Absence and Presence / Luminal Conflux* [Padiglione MAB 2023]. Metaverse Architecture Biennale.
Plummer, H. (2009). *The architecture of natural light*. Thames & Hudson.
OBMI. (s.d.). https://obmi.com/

110.7 PROM7 BY LABVAPRO, SVET, MAB 2023

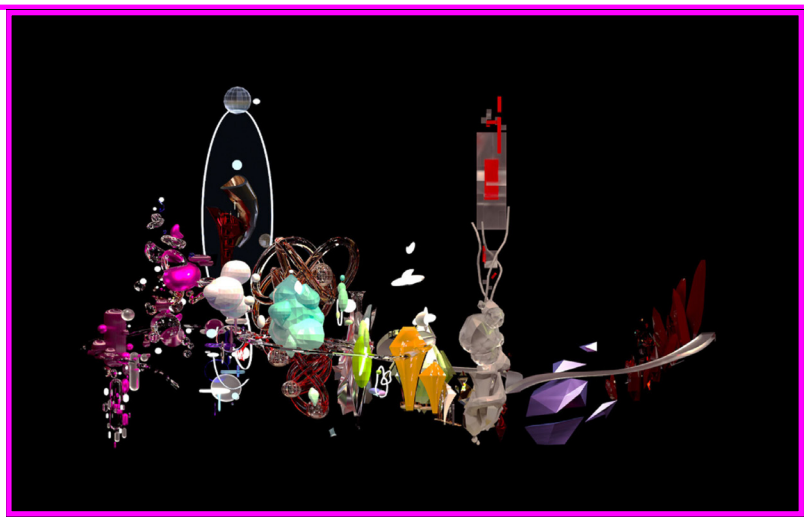


Figura 183.
Progetto SVET di PROm7 by LABVAPRO, MAB 2023, © PROm7/LABVAPRO / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

PROm7 by LABVAPRO è un collettivo russo di ricerca e progettazione digitale fondato a Mosca nel 2020 dall'architetta Anastasia Pronchatova (formazione presso la *Moscow Architectural Institute* MARCHI, M.Arch 2017, con esperienza precedente presso ATRIUM Studio) in collaborazione con il *think-tank* LABVAPRO dedicato alla ricerca su *materialità non-newtoniana* e ambienti immersivi sperimentali. Per la MAB 2023 il collettivo presenta SVET (свет, "*luce*" in russo e nelle lingue slave) come padiglione che usa la luce come unico materiale costruttivo di uno spazio virtuale privo di superfici solide.
Pareti, pavimenti e soffitti esistono esclusivamente come effetti luminosi programmati, senza geometrie poligonali che li supportino fisicamente: il padiglione è un sistema di *raymarched volumetric clouds*, *signed distance fields* e *participating media* che generano dis-architettura percettivamente coerente ma materialmente inesistente. L'ambiente si trasforma in risposta al movimento del visitatore-*avatar*: la luce si riorganizza dinamicamente attorno alla presenza, producendo configurazioni spaziali sempre diverse che non hanno uno stato fisso ma solo stati transitori determinati dalla navigazione, in coerenza con la teoria del *responsive environment* di Cedric Price e Gordon Pask (*Fun Palace*, 1964) e del *cybernetic architecture*.
Il riferimento alla tradizione russa e sovietica dell'arte della luce è esplicito nel titolo e nella poetica del progetto: dai *Proun* di El Lissitzky (1919-1925) al *Light-Space Modulator* di László Moholy-Nagy (1922-1930, esposto al Bauhaus), dalle sperimentazioni del costruttivismo di Aleksandr Rodchenko e Naum Gabo agli ambienti luminosi cinetici di Lev Nussberg e del *Movimento Dvizhenie* (anni Sessanta). PROm7 reinterpreta questa tradizione attraverso gli strumenti del *game engine* contemporaneo (Unreal Engine 5 con plugin Niagara per VFX particellari e Lumen per illuminazione globale), portandola in uno spazio in cui le sue intuizioni teoriche trovano finalmente una piena attuazione operativa.

Bibliografia e Sitografia

PROm7 by LABVAPRO. (2023). SVET [Padiglione MAB 2023]. Metaverse Architecture Biennale.
Lodder, C. (1983). *Russian constructivism*. Yale University Press.
Metaverse Architecture Biennale. (s.d.). https://metaversearchbiennale.com/

MARIA TOULOUPOU, UNTITLED, CYBER SANCTUM, MAB 2023

110.8



Figura 184.
Progetto Cyber Sanctum di Untitled. by Maria Touloupou, MAB 2023, © Maria Touloupou / Metaverse Architecture Biennale, URL: https://metaversearchbiennale.com/projects

Cyber Sanctum viene presentato da Maria Touloupou (architetta greca, formazione alla *Aristotle University of Thessaloniki* con M.Arch nel 2014 e successivo *Master in Architectural Design* presso l'Architectural Association di Londra nel 2017 sotto la direzione di Pier Vittorio Aureli, fondatrice dello studio Untitled. ad Atene nel 2020) alla *Metaverse Architecture Biennale* 2023 come padiglione che esplora la dimensione sacra e contemplativa dello spazio virtuale.
Lo studio ha costruito la propria identità attorno alla ricerca sull'archetipo spaziale e sulla relazione tra forma architettonica e stati percettivi alterati. Il padiglione costruisce un ambiente che usa le proporzioni, la luce e la sequenza spaziale delle architetture religiose — cattedrali gotiche (Chartres, Notre-Dame), templi greci dorici, santuari giapponesi *shinto*, moschee selgiuchidi e ottomane, basiliche bizantine come Hagia Sophia — come riferimento generativo per la progettazione di uno spazio digitale meditativo. Il padiglione non replica alcun edificio sacro specifico ma distilla le qualità percettive trasversali che accomunano le grandi architetture religiose di tradizioni diverse: la verticalità che orienta lo sguardo verso l'alto producendo quello che lo storico dell'architettura Hans Sedlmayr definiva "*il senso del sublime spaziale*" (*Die Entstehung der Kathedrale*, 1950), la luce filtrata attraverso *clerestoria* e *finestre alabastrine* che trasforma lo spazio quotidiano in spazio straordinario, la progressione dal profano al sacro attraverso sequenze di soglie (nartece, navata, transetto, abside; o *iwan*, cortile, sala di preghiera, *mihrab*).
Trasportate nel dominio virtuale, queste qualità si intensificano sistematicamente: la verticalità non ha limiti strutturali (la cupola del *Cyber Sanctum* si estende potenzialmente all'infinito), la luce può essere progettata con precisione assoluta (con *spectral rendering* che simula tonalità impossibili nella realtà fisica), le soglie possono marcare transizioni tra stati percettivi radicalmente diversi.

Bibliografia e Sitografia

Touloupou, M. (2023). *Cyber Sanctum* [Padiglione MAB 2023]. Untitled. Studio.
Untitled. Studio. (s.d.). https://www.untitled-studio.com/

111 MSTYLELAB, MSTYLELAB METAVERSE, CINA, 2023



Figura 185.
Screenshot di Mstylelab Metaverse, © Macy's/ Mstylelab / Journee. ai, URL: https://www.journee.ai/site/assets/files/6167/macys-heade2.1920x0.jpg?uaqxy

Mstylelab viene fondato in Cina nel 2023 a Shanghai da una collaborazione tra Mstylelab Inc. e la piattaforma tecnologica tedesca Journee.ai (società berlinese specializzata in *immersive web experiences*, fondata nel 2019 da Stefan Hueck e Theresa Brenner) come piattaforma virtuale specializzata nell'intersezione strategica tra moda digitale, architettura virtuale e *design experience*. Mstylelab si posiziona in un segmento di mercato che il Metaverse Fashion Week di Decentraland del marzo 2022 (con la partecipazione di Dolce & Gabbana, Etro, Tommy Hilfiger e oltre 60 *brand*) aveva identificato come area di crescita strutturale: la convergenza tra industria della moda (tradizionalmente basata sulla fisicità del materiale, della sartoria e dell'esperienza del negozio) e dominio virtuale, in cui il corpo è *avatar*, il tessuto è *texture* e il negozio è ambiente tridimensionale navigabile.
La piattaforma ospita sfilate di moda completamente digitali, *showroom* per *brand* luxury internazionali e cinesi, gallerie dedicate al design contemporaneo, spazi architettonici sperimentali impossibili fisicamente: non un ambiente generalista che accoglie contenuti eterogenei ma un ecosistema tematicamente coerente in cui ogni funzione (commerciale, espositiva, performativa) è progettata attorno alla centralità dell'abito digitale come oggetto culturale primario. Gli utenti creano *avatar* altamente personalizzabili con abbigliamento digitale rappresentato come NFT, navigano *boutique* virtuali immersive che ridefiniscono la *retail experience* rispetto ai modelli dell'*e-commerce* bidimensionale, acquistano prodotti disponibili simultaneamente in versione digitale (da indossare sull'*avatar*) e fisica (da ricevere a domicilio), replicando nel dominio virtuale il modello *phygital* che il settore della moda *luxury* aveva iniziato a sperimentare già prima dell'esplosione del mercato metaverso. L'architettura degli spazi commerciali ed espositivi è concepita come estensione del *brand* degli studi e dei *designer* che la abitano: non un contenitore neutro ma un ambiente che amplifica l'identità estetica di ogni collezione attraverso le proprie qualità spaziali specifiche.
La Cina nel 2023 è il mercato di consumo di lusso in più rapida crescita al mondo (con un volume stimato di 56 miliardi di euro nel 2023 secondo McKinsey *China Luxury Report*) con una base di consumatori giovani (oltre il 50% dei consumatori *luxury* cinesi ha meno di 30 anni), tecnologicamente sofisticati e intimamente familiari con ecosistemi digitali integrati come WeChat, Alipay, Douyin (TikTok cinese), Xiaohongshu (RED). Simultaneamente, la Cina è il paese che ha prodotto le sperimentazioni più avanzate di integrazione tra commercio fisico e digitale: i *New Retail store* di Alibaba (lanciati da Jack Ma nel 2016), i negozi senza cassa di JD.com (*JD.ID X-Mart* dal 2018), i *pop-up augmented* di *brand* sportivi cinesi come Li-Ning e Anta, i *live shopping* su Taobao Live (oltre 1.000 miliardi di yuan di *gross merchandise value* nel 2023). Tutte queste sperimentazioni precedono e anticipano la logica *phygital* che Mstylelab applica al dominio metaverso.

Bibliografia e Sitografia

Mstylelab Inc. (2023). *Platform whitepaper: Fashion meets metaverse*. Mstylelab Inc.
Journee.ai. (s.d.). *Mstylelab project*. https://www.journee.ai/

SAUL KIM, FLAPPY BOX, STEAM, 2024

112

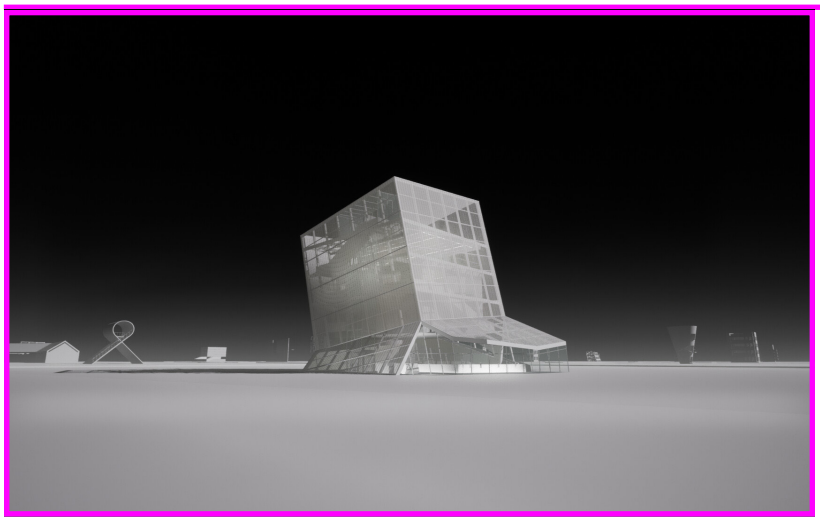


Figura 186.
Screenshot di Flappy Box, © Atelier 58L0 & Saul Kim / Steam, URL: https://shared.fastly.steamstatic.com/store_item_assets/steam/apps/2697710/ss_63c147ef9a5c2f98c07500ee7333fea4836102e6.1920x1080.jpg?t=1709184947

Flappy Box viene sviluppato da Atelier 58l0 (studio di *digital design* fondato a Seoul nel 2019 dal *creative director* Joon-Ho Park, specializzato in *narrative-driven virtual environments*) in collaborazione con il *designer* coreano Saul Kim (Seoul, 1991, fondatore di *Saul Kim Studio* a Seoul, già presente nella mostra *The Architecture of Virtual Space* di The Unbuilt Gallery del 2023 con il proprio padiglione meditativo, Scheda 109) e distribuito su Steam (la piattaforma di Valve Corporation, Bellevue, Washington) il 28 febbraio 2024 come galleria virtuale che presenta la mostra *Architecture Anomaly*, dedicata a teoria e pratica architettonica contemporanea ispirata dal realismo speculativo (corrente filosofica che attraverso autori come Graham Harman, Quentin Meillassoux, Levi Bryant ha riportato al centro del dibattito filosofico la domanda sull'esistenza autonoma degli oggetti).
La scelta della piattaforma Steam — il principale *marketplace* di distribuzione di videogiochi per PC con oltre 132 milioni di utenti attivi mensili (dato Valve 2024) e oltre 50.000 titoli disponibili — è una dichiarazione programmatica sulla natura del progetto: non un ambiente metaverso accessibile via *browser*, non una galleria NFT su piattaforma *blockchain*, non un'installazione istituzionale in uno spazio espositivo fisico, ma un'applicazione scaricabile attraverso il canale di distribuzione che milioni di persone usano quotidianamente per i videogiochi, con la stessa interfaccia, la stessa struttura di acquisto (prezzo: 4,99 dollari) e la stessa accessibilità tecnica di qualsiasi titolo *gaming*.
Questa collocazione (il museo virtuale come prodotto Steam) abbatte una barriera culturale che le piattaforme metaverso specializzate non riescono a superare: la soglia di familiarità tecnologica che separa il pubblico dei videogiochi dal pubblico dell'architettura digitale.
Flappy Box è un'esperienza *single-player* in prima persona senza obiettivi ludici tradizionali (nessun punteggio, nessun nemico, nessuna condizione di vittoria o sconfitta) — *walking simulator* nel senso codificato da *Gone Home* (Scheda 93) — organizzata in livelli tematici multipli, ciascuno dedicato a un concetto architettonico specifico derivante dal realismo speculativo: *Singolarità*, *Anti-Conformità*, *Momentum*.
Gli ambienti che il visitatore esplora liberamente sono costruiti con Unreal Engine 5 (sfruttando le tecnologie *Nanite* e *Lumen* per geometria virtualizzata e illuminazione globale dinamica) che producono qualità visiva comparabile ai videogiochi commerciali, senza la compressione tecnica che i formati *browser-based* impongono per ragioni di compatibilità e velocità di caricamento.
Flappy Box è uno dei primi casi in cui un *thought experiment* filosofico-architettonico viene distribuito globalmente attraverso un canale *gaming mainstream*, prefigurando un possibile futuro in cui l'architettura digitale si emancipa sia dal museo istituzionale sia dal *marketplace* NFT per occupare lo spazio del *consumer software* indipendente.

Bibliografia e Sitografia

Atelier 58l0, & Kim, S. (2024). *Flappy Box* [Software]. Steam, Valve Corporation.
Harman, G. (2011). *The quadruple object*. Zero Books.
Saul Kim Studio. (s.d.). *Architecture anomaly and digital projects*. https://www.saulkim.com/

APPENDICE A2
Iterazioni e codice Python per la Mappa Concettuale esplorabile sull'Abitare Virtuale

INTRODUZIONE

L'apparato documenta il processo iterativo di costruzione della mappa concettuale tridimensionale presentata nel Cap. 2, attraverso la trascrizione delle fasi principali del dialogo uomo-IA e la pubblicazione del codice Python finale, completo e annotato. La struttura segue la logica delle Appendici B e C — che raccolgono rispettivamente i dialoghi conversazionali con ChatGPT per le strategie parametriche GHPython e i codici Grasshopper risultanti — declinandola però in un contesto di visualizzazione scientifica anziché di generazione geometrica. Il valore metodologico dell'apparato non è strettamente tecnico ma epistemologico: dimostrare che la co-progettazione uomo-IA attraverso dialogo conversazionale è un metodo replicabile anche in ambiti diversi dalla generazione di forme architettoniche, e che il processo iterativo di raffinamento è parte integrante del risultato finale, non una fase preparatoria da occultare nel prodotto definitivo.

Il *workflow* documentato si articola in tre ambienti interconnessi: Google AI Studio (aistudio.google.com) come interfaccia di dialogo con Gemini 3.1 Pro, il modello di IA generativa utilizzato per la co-generazione del codice Python; Google Colab (colab.research.google.com) come ambiente di esecuzione del codice su infrastruttura *cloud* Google, privo di requisiti di installazione locale e accessibile via *browser*; Plotly (plotly.com/python) come libreria Python per la generazione di visualizzazioni interattive 3D esportabili in formato HTML autonomo.

Il processo ha attraversato dodici versioni principali in cinque fasi metodologicamente distinte, ciascuna corrispondente a una trasformazione significativa della struttura visiva o del contenuto informativo della mappa. Nelle pagine seguenti sono documentate le cinque fasi con le richieste chiave al sistema generativo e gli estratti di codice significativi; il codice finale completo è riportato in chiusura dell'apparato.

FASE 1 — PROTOTIPO BASE CON PLOTLY EXPRESS (VERSIONE 1.0)

Richiesta al sistema generativo

Il processo ha avuto inizio con una descrizione del problema progettuale: visualizzare 112 oggetti distribuiti tra il 1950 e il 2025, organizzati in tre categorie cromatiche, con una dimensione temporale chiaramente leggibile. La prima richiesta a Gemini 3.1 Pro descriveva l'obiettivo nei seguenti termini:

«Ho un *dataset* di eventi storici sull'abitare virtuale, con anno, categoria (IA e Software / Riferimenti / Abitare Virtuale) e titolo. Vorrei realizzare una *timeline* 3D interattiva navigabile: asse X il tempo, asse Y le tre corsie di categoria, asse Z una dispersione verticale per separare i punti sovrapposti. Tema scuro, colori neon.»

Risposta e primo codice generato

Gemini ha proposto una prima implementazione in Plotly Express con scatter_3d, funzione che produce *scatter plot* tridimensionali con parametri minimi. Il codice assegnava le categorie a valori numerici (1, 2, 3) sull'asse Y e aggiungeva una componente casuale sull'asse Z. Il risultato era funzionante ma esteticamente generico: sfondo scuro ma con pareti del *box* visibili, assi con etichette automatiche, nessuna struttura che orientasse la lettura temporale.

```
python
# Versione 1.0 — Plotly Express (estratto significativo)
import plotly.express as px
import numpy as np

cat_map = {'IA e Software': 1, 'Riferimenti': 2, 'Abitare Virtuale': 3}
df['Corsia_3D'] = df['Categoria'].map(cat_map)
df['Livello_Visuale'] = np.random.uniform(0, 10, size=len(df))

fig = px.scatter_3d(
  df, x='Anno', y='Corsia_3D', z='Livello_Visuale',
  color='Categoria', hover_name='Titolo',
  template='plotly_dark',
  color_discrete_map={
    'Riferimenti': '#B0BEC5',
    'IA e Software': '#00E5FF',
    'Abitare Virtuale': '#E040FB'
  }
)
fig.show()
```

Limiti identificati

Quattro criticità sono emerse da questa prima versione: il *box* del grafico con le sei pareti grigie rendeva l'estetica troppo convenzionale; i nodi erano troppo piccoli e difficilmente interagibili; le etichette degli assi erano automatiche e non controllate; il sistema di categorie aveva i colori corretti ma mancava di una struttura visiva capace di distinguere chiaramente le tre "*corsie*" di categoria.

FASE 2 — PASSAGGIO A GRAPH OBJECTS E STRUTTURA A BINARI (VERSIONE 2.0)

Richiesta al sistema generativo

«Inseriamo tre segmenti colorati a terra che corrono parallele alla *timeline* (una per categoria). Aggiungi degli steli che collegano ogni elemento sferico alla linea. Rimuovi le pareti del *box*. Aggiungi un pulviscolo di particelle bianche che riempie lo spazio intorno ai dati per dare atmosfera.»

Trasformazione metodologica

Il passaggio da Plotly Express a Plotly Graph Objects ha consentito il controllo granulare di ogni elemento della scena. Gemini ha proposto un'architettura a "*tracce sovrapposte*" che caratterizzerà tutte le versioni successive: ciascun elemento visivo è un *trace* separato aggiunto alla figura attraverso fig.add_trace(). Questo modello ha permesso di gestire separatamente i *binari* (linee longitudinali colorate), gli *steli* (linee verticali semitrasparenti), il *pulviscolo* (*scatter* di particelle casuali) e i *nodi* (*marker* interattivi con *popup*). La separazione in *trace* distinti è metodologicamente significativa: rispecchia la logica dei *layer* in un ambiente CAD, dove ciascun elemento può essere attivato, disattivato e modificato indipendentemente dagli altri, mantenendo una coerenza progettuale che il *workflow* monolitico di Plotly Express non poteva garantire.

```
python
# Versione 2.0 — Graph Objects (estratti significativi)
import plotly.graph_objects as go

fig = go.Figure()

# A. Binari colorati longitudinali
for cat, y_val in lane_map.items():
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[1948, 2028], y=[y_val, y_val], z=[0, 0],
        mode='lines', line=dict(color=color_map[cat], width=4),
        name=cat, hoverinfo='none'
    ))

# B. Steli (collegamento nodo-pavimento)
for i, row in df.iterrows():
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[row['Data'], row['Data']],
        y=[row['Y_Jitter'], row['Y_Jitter']],
        z=[0, row['Z_Random']],
```

```
    mode='lines',
    line=dict(color=row['Color'], width=1),
    opacity=0.5, hoverinfo='none', showlegend=False
  ))

# C. Pulviscolo (200 particelle casuali)
fig.add_trace(go.Scatter3d(
  x=dust_x, y=dust_y, z=dust_z,
  mode='markers',
  marker=dict(size=2, color='white', opacity=0.3),
  hoverinfo='none', showlegend=False
))
```

FASE 3 — ESTETICA SPAZIALE E PULVISCOLO INTELLIGENTE (VERSIONE ETHEREAL)

Richiesta al sistema generativo

«Voglio un effetto completamente spaziale: niente pareti, niente box, niente griglia. Solo i tre binari a terra, le sfere grandi (size 12) con i loro steli, e un pulviscolo fitto di particelle bianche che avvolge la scena come nebbia. Ma il pulviscolo non deve entrare nel corridoio dove ci sono i dati: crea una *no-fly zone* intorno ai binari.»

L'algoritmo del pulviscolo intelligente

Questa fase ha introdotto la soluzione più originale dell'intero processo: l'algoritmo di generazione del pulviscolo con esclusione delle zone di dati. Gemini ha proposto un ciclo di generazione con filtro: le particelle vengono generate casualmente in un *bounding box* significativamente più ampio della scena dati, e ogni particella che cade all'interno del "*corridoio dei dati*" viene scartata in fase di filtraggio. Il risultato è un pulviscolo che appare distribuito ovunque tranne nelle zone di massima densità informativa, creando l'effetto di un tunnel luminoso nel buio — esattamente l'estetica *cyberspace* cercata, in continuità visiva con le iconografie di Gibson, *Tron* e *The Matrix* (Schede 44, 45, 46, 56).

```
python
# Versione Ethereal — Pulviscolo intelligente con no-fly zone
dust_points = []
for _ in range(1200):  # 1200 particelle generate
  x = np.random.uniform(1940, 2035)
  y = np.random.uniform(-3, 7)
  z = np.random.uniform(-2, 25)

  # No-Fly Zone: corridoio dei dati
```

```
  # X: 1945-2030 | Y: 0-4 (le tre corsie) | Z: 0-18
  if (1945 < x < 2030) and (-1 < y < 5) and (-1 < z < 18):
    continue  # particella scartata

  dust_points.append({'x': x, 'y': y, 'z': z})
```

FASE 4 — GRIGLIA DEGLI ANNI E ANNOTAZIONI TEMPORALI (VERSIONE 4.0)

Richiesta al sistema generativo

«Aggiungi una griglia trasversale ogni cinque anni (linee bianche semitrasparenti perpendicolari alla timeline) e mostra il numero dell'anno sopra ogni linea, in *Courier New*. Nascondi i *tick* automatici dell'asse X.»

Trasformazione metodologica

L'inserimento della griglia degli anni a passo quinquennale e delle annotazioni testuali in formato Courier New (carattere monospaziato che richiama l'estetica delle prime interfacce informatiche) ha conferito alla scena una leggibilità temporale strutturata, sostituendo i *tick* automatici di Plotly con un sistema di riferimento controllato. Le linee della griglia hanno opacità ridotta (0.3) per non interferire con la leggibilità dei nodi, mentre le etichette numeriche sono posizionate uniformemente sopra il piano dei binari.

```
python
# Versione 4.0 — Griglia anni quinquennale
for year in range(1950, 2031, 5):
  fig.add_trace(go.Scatter3d(
    x=[year, year], y=[0.6, 3.4], z=[0, 0],
    mode='lines', line=dict(color='white', width=1),
    opacity=0.3, hoverinfo='none', showlegend=False
  ))
  fig.add_trace(go.Scatter3d(
    x=[year], y=[3.6], z=[0], mode='text',
    text=[str(year)],
    textfont=dict(color='white', size=11, family='Courier New'),
    hoverinfo='none', showlegend=False
  ))

# Nascondere i tick automatici dell'asse X
fig.update_layout(scene=dict(
  xaxis=dict(showticklabels=False)

))
```

FASE 5 — DATI DEL CATALOGO COMPLETO E LAYOUT DEFINITIVO (VERSIONE FINALE)

Richiesta al sistema generativo

«Rinomina le categorie: *IA e Software* diventa *Tecnoculture: Hardware, Software e IA*. Aggiungi le sei fasce temporali storiche come etichette a terra. Inverti le corsie: *Abitare Virtuale* in primo piano (Y=1), *Tecnoculture* in fondo (Y=3). Rimuovi i *link* alle immagini dai *popup*. Sostituisci i dati con i 112 oggetti del catalogo completo.»

Trasformazione metodologica

L'ultima fase ha integrato il *dataset* completo dei 112 oggetti del catalogo (sez. 1.7 della tesi) — suddivisi nelle tre macro-categorie con separatore | per evitare conflitti con le virgole presenti in titoli e luoghi — e ha stabilizzato il *layout* definitivo con le sei fasce temporali storiche, calcolate al punto medio di ciascun periodo per centrare visivamente l'etichetta sotto la sequenza di nodi del periodo corrispondente. Il *popup* di ciascun nodo, gestito attraverso il parametro hover di Plotly, riporta in formato HTML semplice Titolo, Autore, Luogo e Anno, senza *link* esterni che avrebbero appesantito l'esperienza interattiva e ridotto la portabilità del file finale.

```
python
# Versione Finale — Sei fasce temporali con punto medio di periodo
fasce_temporali = [
  (1960,   '1950-1970\nLE ORIGINI'),
  (1980,   '1971-1990\nPERSONAL COMPUTING E CYBERSPACE'),
  (1995.5, '1991-2000\nL\'ARCHITETTURA DIGITALE'),
  (2005.5, '2001-2010\nMONDI PERSISTENTI E SOCIAL GAMING'),
  (2015.5, '2011-2020\nVR CONSUMER E BLOCKCHAIN'),
  (2023.5, '2021-2025\nMETAVERSO E IA GENERATIVA')
]

for x_pos, text in fasce_temporali:
  fig.add_trace(go.Scatter3d(
    x=[x_pos], y=[0.3], z=[0],
    mode='text', text=[text],
    textposition='bottom center',
    textfont=dict(color='#A5A5A5', size=9),
    hoverinfo='none', showlegend=False
  ))

# Ordine corsie (Abitare Virtuale in primo piano)
lane_map = {
  'Abitare Virtuale': 1,
  'Riferimenti Concettuali e Visivi': 2,
```

```
    'Tecnoculture: Hardware, Software e IA': 3
}

# Popup senza link (solo informazione)
custom_hover_text = subset.apply(
    lambda x: f'<b>{x["Titolo"]}</b><br>{x["Autore"]}'
              f'<br>Luogo: {x["Luogo"]}<br>Anno: {x["Data"]}',
    axis=1
)
```

Codice Python finale completo e annotato

Il codice seguente è la versione definitiva della mappa concettuale 3D, eseguibile su Google Colab senza installazioni aggiuntive. Il file HTML generato — Mappa_Concettuale_Abitare_Virtuale_Finale.html — è disponibile nell'archivio digitale della ricerca. Il codice è ampiamente annotato per consentirne la lettura, la modifica e il riuso indipendente.

```
python
# ============================================================
# MAPPA CONCETTUALE 3D SULL'ABITARE VIRTUALE
# F. Zollo, 2025 — Tesi di Dottorato
# Workflow: Google AI Studio (Gemini 3.1 Pro) Google Colab
# Libreria: Plotly Graph Objects
# Output: HTML interattivo navigabile via browser
# ============================================================

import plotly.graph_objects as go
import pandas as pd
import numpy as np
import io

# --- 1. DATASET: 112 oggetti del catalogo (separatore |) ---
# Formato: Autore | Titolo | Luogo | Data | Categoria
# Le tre categorie:
#   Tecnoculture: Hardware, Software e IA  (schede 1-34)
#   Riferimenti Concettuali e Visivi      (schede 35-72)
#   Abitare Virtuale                      (schede 73-112)

csv_data = """Autore|Titolo|Luogo|Data|Categoria
Alan Turing|Computing Machinery and Intelligence|UK|1950|Tecnoculture: Hardware,
Software e IA
Marvin Minsky|SNARC|Princeton University, USA|1951|Tecnoculture: Hardware,
Software e IA
Frank Rosenblatt|Perceptron|Cornell Aeronautical Laboratory,
USA|1957|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Yuri Gagarin|Primo Uomo nello Spazio|URSS|1961|Tecnoculture: Hardware, Software e
IA
```

IBM|IBM System/360|USA|1964|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Luigi Broglio|San Marco 1: Primo Satellite Italiano|Kenya/Italia|1964|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Joseph Weizenbaum|ELIZA|MIT, USA|1966|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Ivan Sutherland & Bob Sproull|The Sword of Damocles|USA|1968|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
NASA|Apollo 11|USA|1969|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
ARPANET|Advanced Research Projects Agency Network|DARPA, USA|1969|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Intel|Intel 4004|USA|1971|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Robert Metcalfe|Ethernet|Xerox PARC, USA|1973|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
NASA|Space Shuttle Columbia|USA|1981|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
IBM|IBM Personal Computer|USA|1981|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Autodesk|AutoCAD|USA|1982|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Apple|Macintosh|USA|1984|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
CNUCE|Primo Collegamento a Internet in Italia|Pisa|1986|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Tim Berners-Lee|World Wide Web|CERN, Svizzera|1989|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Epic Games|Unreal Engine|USA|1998|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Robert McNeel & Associates|Rhino 1.0|USA|1998|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Autodesk|Revit|USA|2000|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Unity Technologies|Unity|Danimarca/USA|2005|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Robert McNeel & Associates|Grasshopper 3D|USA|2007|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Oculus VR|Oculus Rift|USA|2012|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Ian Goodfellow|GANs|USA|2014|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Google|BERT|USA|2018|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Epic Games|Twinmotion|USA/Francia|2019|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
OpenAI|DALL-E e CLIP|USA|2021|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Luma Lab|Luma AI|USA|2021|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Midjourney|Midjourney|USA|2022|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
OpenAI|ChatGPT|USA|2022|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Stability AI|Stable Diffusion|Germania/UK/USA|2022|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Ethan Hu & Team|Meshy AI|USA|2023|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Google DeepMind|Gemini 1.5|UK/USA|2024|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Anthropic|Claude 3.5|USA|2024|Tecnoculture: Hardware, Software e IA
Le Corbusier & Iannis Xenakis|Padiglione Philips|Bruxelles|1958|Riferimenti Concettuali e Visivi
Frank Lloyd Wright|Solomon R. Guggenheim Museum|New York|1959|Riferimenti Concettuali e Visivi
Biennale di Venezia|La Rivoluzione della Pop Art|Venezia|1964|Riferimenti Concettuali e Visivi
Stanley Kubrick|2001: Odissea nello Spazio|USA/UK|1968|Riferimenti Concettuali e

Visivi
Biennale di Venezia|Fondazione sezione Architettura|Venezia|1975|Riferimenti Concettuali e Visivi
Charles Jencks|The Language of Post-Modern Architecture|UK|1977|Riferimenti Concettuali e Visivi
Renzo Piano & Richard Rogers|Centre Pompidou|Parigi|1977|Riferimenti Concettuali e Visivi
Paolo Portoghesi|Biennale La Presenza del Passato|Venezia|1980|Riferimenti Concettuali e Visivi
Ridley Scott|Blade Runner|USA|1982|Riferimenti Concettuali e Visivi
William Gibson|Burning Chrome|USA/Canada|1982|Riferimenti Concettuali e Visivi
Steven Lisberger|Tron|USA|1982|Riferimenti Concettuali e Visivi
William Gibson|Neuromancer|USA/Canada|1984|Riferimenti Concettuali e Visivi
Toyo Ito|Torre dei venti|Yokohama, Giappone|1986|Riferimenti Concettuali e Visivi
Donna Haraway|A Cyborg Manifesto|USA|1985|Riferimenti Concettuali e Visivi
Neal Stephenson|Snow Crash|USA|1992|Riferimenti Concettuali e Visivi
William J. Mitchell|City of Bits|USA|1995|Riferimenti Concettuali e Visivi
Robert Longo|Johnny Mnemonic|USA/Canada|1995|Riferimenti Concettuali e Visivi
Nicholas Negroponte|Being Digital|MIT, USA|1995|Riferimenti Concettuali e Visivi
Hans Hollein|Biennale Sensori del Futuro|Venezia|1996|Riferimenti Concettuali e Visivi
Derrick de Kerckhove|Global Village Square|Canada|1996|Riferimenti Concettuali e Visivi
Frank Gehry|Guggenheim Museum Bilbao|Bilbao|1997|Riferimenti Concettuali e Visivi
Lana e Lilly Wachowski|The Matrix|USA|1999|Riferimenti Concettuali e Visivi
Massimiliano Fuksas|Biennale Less Aesthetics More Ethics|Venezia|2000|Riferimenti Concettuali e Visivi
Diller Scofidio + Renfro|Blur Building|Svizzera|2002|Riferimenti Concettuali e Visivi
Richard Burdett|Biennale Cities Architecture and Society|Venezia|2006|Riferimenti Concettuali e Visivi
James Cameron|Avatar|USA|2009|Riferimenti Concettuali e Visivi
Expo 2010 Shanghai|Better City Better Life|Shanghai|2010|Riferimenti Concettuali e Visivi
Ernest Cline|Ready Player One|USA|2011|Riferimenti Concettuali e Visivi
Refik Anadol Studio|WDCH Dreams|Los Angeles|2018|Riferimenti Concettuali e Visivi
Snøhetta|Under|Lindesnes, Norvegia|2019|Riferimenti Concettuali e Visivi
Refik Anadol Studio|Machine Hallucination / Unsupervised|USA|2019|Riferimenti Concettuali e Visivi
Ian Cheng|Life After BOB|USA|2020|Riferimenti Concettuali e Visivi
Kevin Roose|Futureproof|USA|2021|Riferimenti Concettuali e Visivi
Hashim Sarkis|Biennale How Will We Live Together?|Venezia|2021|Riferimenti Concettuali e Visivi
Matthew Ball|The Metaverse|USA|2022|Riferimenti Concettuali e Visivi
Populous|Sphere at The Venetian Resort|Nevada|2023|Riferimenti Concettuali e Visivi
Lesley Lokko|Biennale The Laboratory of the Future|Venezia|2023|Riferimenti Concettuali e Visivi
Carlo Ratti|Biennale Intelligens. Natural. Artificial. Collective|Venezia|2025|Riferimenti Concettuali e Visivi
Will Wright|SimCity|USA|1989|Abitare Virtuale

Marcos Novak|Liquid Architectures in Cyberspace|USA|1991|Abitare Virtuale
Greg Lynn|Blob Architecture|USA|1992|Abitare Virtuale
Mark Pesce & Tony Parisi|VRML / Labyrinth Browser|USA|1993|Abitare Virtuale
Paul Reilly|Dudley Castle Virtual Reconstruction|UK|1994|Abitare Virtuale
Nicholas Pioch|WebMuseum|Francia/USA|1994|Abitare Virtuale
Lin Hsin Hsin|Lin Hsin Hsin Art Museum|Singapore|1994|Abitare Virtuale
Active Worlds Inc.|Active Worlds|USA|1995|Abitare Virtuale
Eboy|Pixel Art Cities|Berlino|1997|Abitare Virtuale
Peter Eisenman et al.|The Virtual House Competition|USA|1997|Abitare Virtuale
Fumio Matsumoto|Infotube & Ginga|Tokyo|1999|Abitare Virtuale
Asymptote|Museo Guggenheim Virtuale|USA|1999|Abitare Virtuale
Maxis/EA|The Sims|USA|2000|Abitare Virtuale
Linden Lab|Second Life|USA|2003|Abitare Virtuale
Mark Zuckerberg|Facebook|USA|2004|Abitare Virtuale
Google|Google Street View|USA|2007|Abitare Virtuale
Ubisoft|Assassin's Creed|Francia/Canada|2007|Abitare Virtuale
Cao Fei|RMB City|Cina|2007|Abitare Virtuale
Google|Google Art Project|USA|2009|Abitare Virtuale
Mojang|Minecraft|Svezia|2009|Abitare Virtuale
Fullbright Company|Gone Home|USA|2013|Abitare Virtuale
Anand Agarawala & Jinha Lee|Spatial|USA|2016|Abitare Virtuale
Fumio Matsumoto|Memories of Architecture|Giappone|2017|Abitare Virtuale
Decentraland|Metaverso Decentralizzato|Argentina|2018|Abitare Virtuale
Epic Games|Fortnite|USA|2020|Abitare Virtuale
Zaha Hadid Architects|Liberland Metaverse|UK/Liberland|2021|Abitare Virtuale
Mark Zuckerberg|Meta|USA|2021|Abitare Virtuale
Coop Himmelb(l)au|Deep Himmelblau|Austria|2021|Abitare Virtuale
Radiohead|Kid A Mnesia Exhibition|UK|2021|Abitare Virtuale
Krista Kim|Mars House|Canada|2021|Abitare Virtuale
Beeple|Everydays: The First 5000 Days|USA|2021|Abitare Virtuale
Zaha Hadid Architects|NFTism|UK|2021|Abitare Virtuale
Space Popular|Galleria Virtuale Fundación Arquia|UK/Spagna|2020|Abitare Virtuale
BIG + Vice Media|Viceverse|Danimarca/USA|2022|Abitare Virtuale
Joshua Chaplin|TheCore World|USA|2022|Abitare Virtuale
OMA|The Underwater Sculpture NFT|NFT|2022|Abitare Virtuale
The Unbuilt Gallery|The Architecture of Virtual Space|USA|2023|Abitare Virtuale
Metaverse Architecture Biennale|Presence of the Future|Decentraland & W3rlds|2023|Abitare Virtuale
iheartblob|Proscenium|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
IL PRISMA|Mirror Worlds|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
LAVA|Lava World|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
Leonardo Marchesi|Uplifting Spiral|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
Mariana Cabugueira|Your Digital-Footprint|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
OBMI|Absence and Presence / Luminal Conflux|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
PROm7 by LABVAPRO|SVET|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
Maria Touloupou|Cyber Sanctum|MAB 2023|2023|Abitare Virtuale
Mstylelab|Mstylelab Metaverse|Cina|2023|Abitare Virtuale
Saul Kim|Flappy Box|Steam|2024|Abitare Virtuale

```
"""

# --- 2. PREPARAZIONE DATI ---
df = pd.read_csv(io.StringIO(csv_data), sep='|')

# Mappatura corsie (Abitare Virtuale in primo piano)
lane_map = {
    'Abitare Virtuale': 1,
    'Riferimenti Concettuali e Visivi': 2,
    'Tecnoculture: Hardware, Software e IA': 3
}

# Codice cromatico triadico
color_map = {
    'Abitare Virtuale': '#FF00FF',              # Magenta
    'Riferimenti Concettuali e Visivi': '#DDDDDD',   # Grigio chiaro
    'Tecnoculture: Hardware, Software e IA': '#00FFFF' # Ciano
}

df['Y_Pos'] = df['Categoria'].map(lane_map)
df['Color'] = df['Categoria'].map(color_map)

# Jitter: dispersione Y e altezza Z casuali, riproducibili
np.random.seed(42)  # seed fisso per riproducibilità
df['Y_Jitter'] = df['Y_Pos'] + np.random.uniform(-0.35, 0.35, len(df))
df['Z_Random'] = np.random.uniform(3, 16, len(df))  # senza significato semantico

# --- 3. PULVISCOLO INTELLIGENTE ---
# 1200 particelle con esclusione del corridoio dati
dust_points = []
for _ in range(1200):
    x = np.random.uniform(1940, 2035)
    y = np.random.uniform(-3, 7)
    z = np.random.uniform(-2, 25)
    if (1945 < x < 2030) and (-1 < y < 5) and (-1 < z < 18):
        continue  # no-fly zone
    dust_points.append({'x': x, 'y': y, 'z': z})

dust_df = pd.DataFrame(dust_points)

# --- 4. COSTRUZIONE FIGURA ---
fig = go.Figure()

# A. Binari colorati longitudinali
for cat, y_val in lane_map.items():
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[1948, 2028], y=[y_val, y_val], z=[0, 0],
        mode='lines', line=dict(color=color_map[cat], width=4),
```

```
        name=cat, hoverinfo='none'
    ))
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[1945], y=[y_val], z=[0], mode='text',
        text=[cat.upper()],
        textposition='middle left',
        textfont=dict(color=color_map[cat], size=9),
        hoverinfo='none', showlegend=False
    ))

# B. Griglia anni trasversale (ogni 5 anni)
for year in range(1950, 2031, 5):
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[year, year], y=[0.6, 3.4], z=[0, 0],
        mode='lines', line=dict(color='white', width=1),
        opacity=0.3, hoverinfo='none', showlegend=False
    ))
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[year], y=[3.6], z=[0], mode='text',
        text=[str(year)], textposition='middle center',
        textfont=dict(color='white', size=11, family='Courier New'),
        hoverinfo='none', showlegend=False
    ))

# C. Pulviscolo atmosferico
fig.add_trace(go.Scatter3d(
    x=dust_df['x'], y=dust_df['y'], z=dust_df['z'],
    mode='markers',
    marker=dict(size=1.5, color='white', opacity=0.15),
    hoverinfo='none', showlegend=False
))

# D. Steli (collegamento nodo-pavimento)
for i, row in df.iterrows():
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[row['Data'], row['Data']],
        y=[row['Y_Jitter'], row['Y_Jitter']],
        z=[0, row['Z_Random']],
        mode='lines', line=dict(color=row['Color'], width=1),
        opacity=0.5, hoverinfo='none', showlegend=False
    ))

# E. Nodi interattivi (marker con popup)
for cat in lane_map.keys():
    subset = df[df['Categoria'] == cat]
    hover = subset.apply(
        lambda x: f'<b>{x["Titolo"]}</b><br>{x["Autore"]}'
                  f'<br>Luogo: {x["Luogo"]}<br>Anno: {x["Data"]}',
```

```
        axis=1
    )
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=subset['Data'], y=subset['Y_Jitter'], z=subset['Z_Random'],
        mode='markers', name=cat,
        marker=dict(size=12, color=color_map[cat],
                    opacity=1, line=dict(width=2, color='black')),
        text=hover, hoverinfo='text', showlegend=False
    ))

# F. Sei fasce temporali (sotto i binari)
fasce = [
    (1960,   '1950-1970\nLE ORIGINI'),
    (1980,   '1971-1990\nPERSONAL COMPUTING E CYBERSPACE'),
    (1995.5, '1991-2000\nL\'ARCHITETTURA DIGITALE'),
    (2005.5, '2001-2010\nMONDI PERSISTENTI E SOCIAL GAMING'),
    (2015.5, '2011-2020\nVR CONSUMER E BLOCKCHAIN'),
    (2023.5, '2021-2025\nMETAVERSO E IA GENERATIVA')
]

for x_pos, text in fasce:
    fig.add_trace(go.Scatter3d(
        x=[x_pos], y=[0.3], z=[0], mode='text', text=[text],
        textposition='bottom center',
        textfont=dict(color='#A5A5A5', size=9),
        hoverinfo='none', showlegend=False
    ))

# --- 5. LAYOUT FINALE ---
fig.update_layout(
    title=dict(
        text='<b>MAPPA CONCETTUALE SULL\'ABITARE VIRTUALE</b>',
        font=dict(size=26, color='white'),
        y=0.95, x=0.5, xanchor='center'
    ),
    scene=dict(
        # Tutti gli assi: nessuna parete, nessuna griglia automatica
        xaxis=dict(title='', showbackground=False, showgrid=False,
                   showline=False, zeroline=False, showticklabels=False),
        yaxis=dict(title='', showbackground=False, showgrid=False,
                   showline=False, zeroline=False, showticklabels=False),
        zaxis=dict(title='', showbackground=False, showgrid=False,
                   showline=False, zeroline=False, showticklabels=False),
        # Proporzioni: X allungato (timeline), Y moderato, Z contenuto
        aspectmode='manual',
        aspectratio=dict(x=5, y=2, z=1.2)
    ),
    paper_bgcolor='black',
```

```
  margin=dict(l=0, r=0, b=0, t=80),
  legend=dict(
    orientation='h', y=0.05, x=0.5, xanchor='center',
    font=dict(color='white')
  )
)
```

Note tecniche e parametri di configurazione

I parametri principali configurabili nel codice, e le loro implicazioni per la lettura della visualizzazione, sono i seguenti:

np.random.seed(42) — il *seed* che garantisce la riproducibilità della distribuzione casuale dei nodi e del pulviscolo. Modificando questo valore si ottiene una distribuzione differente ma altrettanto valida; la scelta di un valore fisso è metodologicamente significativa, in quanto rende il *workflow* replicabile da terzi che desiderino verificare o riusare la mappa.

Z_Random = np.random.uniform(3, 16) — il *range* dell'altezza dei nodi sull'asse Z. Valori più ampi producono una nuvola più alta, valori più stretti una nuvola più compressa. Il *range* attuale è calibrato sulla densità di 112 nodi.

aspectratio=dict(x=5, y=2, z=1.2) — le proporzioni della scena. Un valore x=5 produce una *timeline* molto allungata in orizzontale, adatta alla proiezione *widescreen* su schermi 16:9 o ultrawide; per schermi standard 4:3 è preferibile ridurre a x=3 per evitare compressioni eccessive.

marker=dict(size=12) — la dimensione dei nodi. Per *dataset* con più di 150 oggetti è consigliabile ridurre a 8 per evitare sovrapposizioni visive che compromettono la leggibilità.

Il file HTML prodotto è autonomo e portabile: non richiede connessione *internet* per la visualizzazione, non dipende da *server* esterni, e può essere aperto con doppio *click* in Chrome, Firefox, Safari ed Edge. La dimensione tipica del file è di circa 2-4 MB. La compatibilità con i visori VR (Apple Vision Pro, Meta Quest 3) attraverso *browser* WebXR non è garantita dalla configurazione attuale, ma è implementabile attraverso l'aggiunta del *tag* webgl nel *layout* di Plotly e l'integrazione delle API specifiche per la realtà immersiva sviluppate da Three.js (libreria JavaScript per la grafica 3D *web-based*).

Fine Appendice A2





APPENDICE B

APPENDICE B
Prompt per la costruzione del corpus di addestramento e per i test generativi del modello LoRA

B.1 — Nota metodologica sull'Appendice

L'apparato raccoglie la trascrizione integrale dei *prompt* utilizzati nelle tre fasi principali del *workflow* documentato nel Cap. 3.1.2: la costruzione del corpus di addestramento attraverso la piattaforma Midjourney V7; i test generativi condotti sul modello LoRA (*Low-Rank Adaptation*) addestrato attraverso Stable Diffusion WebUI; la selezione finale dei *prompt* utilizzati per la produzione delle immagini architettoniche destinate al metaprogetto. La documentazione dei *prompt* risponde a una precisa esigenza metodologica: garantire la trasparenza e la replicabilità del processo, consentendo a ricercatori e progettisti di riprodurre condizioni analoghe o di sviluppare variazioni criticamente fondate della metodologia proposta.

I *prompt* sono presentati nella loro sequenza cronologica di sviluppo, includendo le versioni intermedie che documentano il processo iterativo di raffinamento. Questa scelta — documentare non solo il *prompt* definitivo ma l'intera traiettoria evolutiva — riflette la convinzione che il processo di costruzione del *prompt* sia esso stesso un atto progettuale, e che la sua documentazione costituisca parte integrante del contributo metodologico della ricerca.

Per ogni *prompt* vengono indicati: il numero progressivo, la fase di appartenenza, il parametro o la problematica che ha motivato la revisione rispetto alla versione precedente, e le eventuali note critiche sull'*output* prodotto.

B.2 — Parametri fissi di generazione su Midjourney V7

I seguenti parametri sono stati mantenuti **costanti** attraverso l'intero processo di generazione del corpus, salvo diversa indicazione esplicita:

Parametro	Valore	Motivazione
Versione	`--v 7`	Versione più recente al momento della ricerca, superiore nella gestione di forme organiche complesse
Modalità	`--style raw`	Riduce la stilizzazione automatica di Midjourney, garantendo maggiore fedeltà al *prompt*
Proporzioni	`--ar 1:1`	Formato quadrato, ottimale per il *training* LoRA su SD v1.5 (512×512 px)
Upscale	Subtle	Preserva l'integrità morfologica dell'*output* originale senza alterazioni creative
Qualità	Default	Qualità standard bilanciata

B.3 — Fase esplorativa: prime iterazioni e identificazione dei problemi

I *prompt* seguenti rappresentano le prime iterazioni del processo generativo, caratterizzate dalla presenza di problemi morfologici e compositivi che hanno motivato le revisioni successive.

PROMPT B.3.1 — Prima iterazione, *prompt* di riferimento iniziale

parametric architectural model, organic biomorphic form,

embryological house style, mixed materials bronze metal
glass translucent elements, physical scale model maquette,
isometric view, black background, computational design,
greg lynn architecture, smooth flowing surfaces,
internal structural elements visible
--style raw --ar 1:1 --v 6.1
Problemi rilevati: presenza di elementi strutturali visibili (pilastri, supporti), materiali fisici eccessivamente realistici che rimandano al modellino fisico piuttosto che alla forma digitale pura, sfondo non uniformemente nero. La modalità --v 6.1 è stata successivamente sostituita con --v 7.
PROMPT B.3.2 — Variante vista dall'alto, prima iterazione
top view parametric architectural model, organic blob-like form,
bronze and translucent glass materials, black background,
embryological architecture
--ar 1:1 --v 6.1
Problemi rilevati: stessa famiglia di problemi del *prompt* B.3.1, sfondo grigio in diverse generazioni, forme troppo vicine al modellino fisico con base di appoggio evidente.
PROMPT B.3.3 — Variante vista laterale, prima iterazione
side view parametric architectural model, flowing biomorphic structure,
metallic and glass materials, professional product photography,
black background
--ar 1:1 --v 6.1
Problemi rilevati: la presenza di professional product photography ha introdotto elementi contestuali indesiderati (superficie riflettente sotto il modello, ombra portata, sfondo sfumato). Token rimosso nelle iterazioni successive.
PROMPT B.3.4 — Variante vista 3/4, prima iterazione
3/4 view parametric architectural maquette, organic embryological form,
mixed materials, computational design, black studio background
--ar 1:1 --v 6.1
Problemi rilevati: il termine maquette ha sistematicamente prodotto forme associate al modellino fisico con base di appoggio. Token rimosso nelle iterazioni successive.

B.4 — Fase di raffinamento: eliminazione degli elementi indesiderati

Le iterazioni successive hanno affrontato sistematicamente i problemi identificati nella fase esplorativa, introducendo elementi di negazione esplicita e specificazioni morfologiche più precise.
PROMPT B.4.1 — Prima revisione: eliminazione di supporti e basi
organic blob-like architectural form, smooth biomorphic embryological
structure, flowing continuous surface, digital parametric design,
translucent material, no supports no structure, pure form study,
black background, greg lynn architecture style
--style raw --ar 1:1 --v 7
Intervento: introduzione di no supports no structure, pure form study, rimozione di riferimenti al modellino fisico. Risultato: miglioramento significativo, ma ancora presenza di basi di appoggio in alcune generazioni.
PROMPT B.4.2 — Seconda revisione: introduzione della condizione di levitazione
abstract organic architectural volume, embryological blob form,
seamless flowing surface, iridescent translucent material,

pure sculptural form without base, computational design,
studio lighting black background
--style raw --ar 1:1 --v 7
Intervento: aggiunta di without base, seamless flowing surface. Risultato: progressivo miglioramento, ma lo sfondo non è ancora uniformemente nero.
PROMPT B.4.3 — Terza revisione: forzatura dello sfondo nero e levitazione
floating organic blob architecture, embryological biomorphic form,
smooth flowing surface, no base no pedestal no support,
suspended in void, translucent iridescent material,
pure sculptural volume, black background, greg lynn style
--style raw --ar 1:1 --v 7
Intervento: introduzione di floating, no base no pedestal no support, suspended in void. Risultato: prima versione soddisfacente. Forme correttamente sospese nel vuoto, sfondo nero in circa il 70% delle generazioni.
PROMPT B.4.4 — Quarta revisione: consolidamento della levitazione
levitating parametric blob form, organic embryological architecture,
seamless continuous surface, floating in black void,
no ground plane no base, translucent pearlescent material,
digital architectural study
--style raw --ar 1:1 --v 7
Intervento: levitating, floating in black void, no ground plane, rimozione di greg lynn style. Risultato: forme di alta qualità morfologica, sfondo nero più consistente.
PROMPT B.4.5 — Raffinamento della complessità morfologica
floating organic blob architecture, complex folded surface,
undulating curves twisted form, embryological biomorphic,
continuous surface minimal openings, matte material,
pure black void
--style raw --ar 1:1 --v 7
Intervento: introduzione di complex folded surface, undulating curves, twisted form. Risultato: ottima complessità morfologica; *prompt* divenuto la base per le versioni definitive del corpus.
PROMPT B.4.6 — Test dei parametri *Stylization* e *Weirdness*
floating organic blob architecture, complex folded surface,
embryological biomorphic form, continuous twisted volume,
matte material, pure black void
--style raw --s 300 --weird 750 --ar 1:1 --v 7
Intervento: aggiunta dei parametri --s 300 (*Stylization*) e --weird 750 (*Weirdness*). Risultato: le forme acquisiscono maggiore articolazione e imprevedibilità organica. Adottato come configurazione standard per una parte significativa del corpus.
PROMPT B.4.7 — Massima complessità organica
floating biomorphic blob, undulating complex form,
embryological architecture, continuous surface,
pure black void
--style raw --s 400 --weird 1500 --ar 1:1 --v 7
Intervento: incremento dei parametri --s e --weird ai valori massimi testati. Risultato: forme di grande complessità, con minor controllo sull'*output*. Utilizzato per circa 15 immagini del corpus.
PROMPT B.4.8 — Forzatura aggressiva dello sfondo nero

isolated on pitch black background, floating organic blob
architecture, complex folded surface, embryological biomorphic form,
continuous twisted volume, matte material, studio lighting
against pure black void
--no grey background, white background, ground, floor, shadows
--style raw --ar 1:1 --v 7

Intervento: isolated on pitch black background spostato all'inizio del *prompt*, aggiunta del parametro --no per esclusione esplicita di colori e elementi indesiderati. Risultato: sfondo nero in oltre il 90% delle generazioni. Adottato come *template* standard per le versioni finali del corpus.

B.5 — Corpus definitivo: prompt per angolazione e variante materica

I *prompt* seguenti costituiscono il corpus definitivo di 128 immagini suddivise per angolazione e variante materica.

B.5.1 — Vista dall'alto (*Top View*) — circa 30 immagini

PROMPT B.5.1.a — Vista dall'alto, materiale opaco

isolated on pitch black background, top view floating organic
blob architecture, complex folded surface, embryological
biomorphic form, smooth matte opaque surface, continuous
twisted volume, pure black void
--no grey, white, ground, floor, shadows, base
--style raw --s 300 --weird 750 --ar 1:1 --v 7

PROMPT B.5.1.b — Vista dall'alto, materiale traslucido

isolated on pitch black background, top view levitating
parametric blob, organic embryological form, frosted translucent
material, complex continuous surface, floating pure black void
--no grey background, white, ground plane, base, support
--style raw --s 250 --weird 500 --ar 1:1 --v 7

PROMPT B.5.1.c — Vista dall'alto, materiale metallico

isolated on pitch black background, aerial view organic blob
architecture, embryological biomorphic structure, brushed metal
matte surface, complex folded volume, suspended black void
--no white, grey, ground, floor, pedestal
--style raw --s 300 --ar 1:1 --v 7

B.5.2 — Vista laterale (*Side View*) — circa 30 immagini

PROMPT B.5.2.a — Vista laterale, materiale opaco

isolated on pitch black background, side view floating organic
blob architecture, embryological biomorphic form, smooth matte
opaque material, complex undulating surface, no base suspended
in pure black void
--no grey, white, ground, floor, shadow, support
--style raw --s 300 --weird 750 --ar 1:1 --v 7

PROMPT B.5.2.b — Vista laterale, materiale traslucido

isolated on pitch black background, side view levitating
embryological blob, organic parametric form, semi-translucent
frosted material, continuous flowing surface, floating black void
--no grey background, white, pedestal, base, ground
--style raw --s 250 --weird 600 --ar 1:1 --v 7

PROMPT B.5.2.c — Vista laterale, alta complessità morfologica
isolated on pitch black background, side view floating biomorphic blob, complex folded undulating surface, embryological organic form, matte material, articulated twisted volume, suspended void
--no grey, white, base, floor, ground plane, shadows
--style raw --s 400 --weird 1000 --ar 1:1 --v 7
B.5.3 — Vista tre quarti (*3/4 Perspective View*) — circa 30 immagini
PROMPT B.5.3.a — Vista tre quarti, materiale opaco
isolated on pitch black background, 3/4 perspective view floating organic blob architecture, complex folded surface, embryological biomorphic form, smooth matte opaque material, continuous twisted volume, pure black void
--no grey, white, ground, floor, shadows, base, support
--style raw --s 300 --weird 750 --ar 1:1 --v 7
PROMPT B.5.3.b — Vista tre quarti, materiale traslucido
isolated on pitch black background, 3/4 view levitating embryological blob architecture, organic parametric form, frosted translucent material with soft light diffusion, complex continuous surface, floating black void
--no grey background, white, pedestal, base, ground, shadow
--style raw --s 250 --weird 500 --ar 1:1 --v 7
PROMPT B.5.3.c — Vista tre quarti, alta complessità
isolated on pitch black background, 3/4 perspective floating biomorphic blob, complex undulating folded surface, embryological architecture, matte material, articulated organic volume, suspended in pure black void
--no grey, white, base, floor, ground plane
--style raw --s 400 --weird 1200 --ar 1:1 --v 7
B.5.4 — Vista isometrica (*Isometric View*) — circa 38 immagini
PROMPT B.5.4.a — Vista isometrica, materiale opaco
isolated on pitch black background, isometric view floating organic blob architecture, embryological biomorphic form, smooth matte opaque surface, complex continuous volume, suspended pure black void, no perspective distortion
--no grey, white, ground, floor, shadows, base
--style raw --s 300 --weird 750 --ar 1:1 --v 7
PROMPT B.5.4.b — Vista isometrica, materiale traslucido
isolated on pitch black background, isometric view levitating embryological blob, organic parametric architecture, frosted translucent material, complex continuous surface, floating black void, technical orthographic view
--no grey background, white, pedestal, ground, base
--style raw --s 250 --weird 500 --ar 1:1 --v 7
PROMPT B.5.4.c — Vista isometrica, materiale metallico
isolated on pitch black background, isometric floating biomorphic blob, embryological organic form, brushed metal matte surface, complex folded volume, suspended black void
--no grey, white, base, floor, ground plane, shadow

--style raw --s 300 --ar 1:1 --v 7
PROMPT B.5.4.d — Vista isometrica, alta complessità, variante resina
isolated on pitch black background, isometric view floating
organic blob architecture, highly complex folded undulating
surface, embryological parametric form, opaque resin material,
articulated continuous volume, suspended pure black void
--no grey, white, base, support, floor, ground
--style raw --s 400 --weird 1500 --ar 1:1 --v 7

B.6 — Caption standardizzata per il dataset di training

Il file *caption* associato a ciascuna delle 128 immagini del corpus è il seguente, identico per tutte le immagini:
organic blob architecture, embryological form, parametric design,
floating biomorphic structure, smooth surface
Motivazione della scelta. La scelta di una *caption* uniforme per l'intero corpus risponde alla necessità di addestrare un LoRA di stile morfologico piuttosto che di contenuto descrittivo. Si vuole che il modello apprenda la *grammatica formale lynniana* come proprietà semanticamente associata al *cluster* di *token* organic blob architecture, embryological form, parametric design, indipendentemente dall'angolazione o dal materiale specificati nei singoli *prompt* di generazione del corpus.

B.7 — Prompt per i test generativi sul modello LoRA addestrato

I *prompt* seguenti sono stati utilizzati per i test generativi condotti su Stable Diffusion WebUI dopo il completamento del *training*. La sintassi <lora:last:X> richiama il modello LoRA con peso X.
PROMPT B.7.1 — Test base, peso LoRA 0.8
organic blob architecture, embryological form, floating,
black background <lora:last:0.8>
Obiettivo: verifica della capacità del modello di generare forme coerenti con il corpus in risposta al *prompt* minimo.
PROMPT B.7.2 — Test con angolazione specificata
top view organic blob architecture, embryological form,
floating black void, matte material <lora:last:0.8>
Obiettivo: verifica della capacità del modello di rispondere a specifiche angolazioni mantenendo la coerenza morfologica appresa.
PROMPT B.7.3 — Test senza *token* di *training*
floating parametric architecture, organic form,
black background <lora:last:0.8>
Obiettivo: verifica della generalizzazione del linguaggio appreso in assenza del *token* specifico.
PROMPT B.7.4 — Test variazione peso 0.6
organic blob architecture, embryological form, floating,
black background <lora:last:0.6>
Obiettivo: confronto qualitativo per valutare la sensibilità degli *output* rispetto al peso del LoRA.
PROMPT B.7.5 — Test variazione peso 1.0
organic blob architecture, embryological form, floating,
black background <lora:last:1.0>

Obiettivo: verifica del comportamento del modello al peso massimo, con eventuale presenza di artefatti visivi.
PROMPT B.7.6 — Test con specificazione materica alternativa
organic blob architecture, embryological form, floating,
black background, brushed metal surface <lora:last:0.8>
Obiettivo: verifica della capacità del modello di separare grammatica morfologica e specificazione materica.
PROMPT B.7.7 — Test con contesto spaziale
organic blob architecture, embryological form, floating
in architectural space, dramatic lighting, black void,
abstract interior <lora:last:0.8>
Obiettivo: verifica della capacità del modello di integrare le forme acquisite in un contesto spaziale articolato.
PROMPT B.7.8 — Test con *negative prompt*
Prompt positivo:
organic blob architecture, embryological form, floating,
black background, high detail, complex surface <lora:last:0.8>
Negative prompt:
base, pedestal, support, floor, ground, grey background,
white background, realistic, photographic
Obiettivo: verifica del miglioramento qualitativo ottenibile attraverso l'uso del *negative prompt*.
PROMPT B.7.9 — Test orientato al metaprogetto
organic blob architecture embryological form, floating pavilion,
virtual museum space, dramatic void, immersive environment,
black background <lora:last:0.8>
Obiettivo: verifica dell'applicabilità del modello alle esigenze generative del metaprogetto del museo virtuale.

B.8 — Sperimentazione morfologica avanzata: cavità, vuoti e perforazioni

Completato il ciclo di test generativi fondamentali, la ricerca ha proseguito con una fase di sperimentazione morfologica orientata all'esplorazione del rapporto pieno-vuoto, con particolare attenzione alle morfologie cavernose, perforate ed erose. Questa fase risponde a una specifica esigenza progettuale del museo virtuale: la necessità di forme architettoniche che contengano spazio interno accessibile, cavità percorribili, aperture che definiscano soglie e passaggi tra interno ed esterno.
I *prompt* di questa fase sono organizzati per famiglia morfologica, ciascuna esplorata attraverso due o più varianti.
B.8.1 — Cavità e grotte
PROMPT B.8.1.a — Cavità profonde, prima variante
organic blob architecture, embryological form, deep cavities,
hollow interior visible, cave-like openings, floating,
black background <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.1.b — Interno cavernoso
organic blob architecture, embryological form, cavernous interior,
cave openings, eroded surface, negative spaces,
black background <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.1.c — Stalattiti e formazioni minerali

organic blob architecture, embryological form, stalactite interior,
grotto-like cavities, dripping formations, cavernous depth,
black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.1.d — Grotta con formazioni minerali
organic blob architecture, embryological form, cave architecture,
mineral formations inside, deep hollow spaces,
dark interior visible, black background <lora:last:0.8>
B.8.2 — Perforazioni e strutture porose
PROMPT B.8.2.a — Buchi passanti
organic blob architecture, embryological form, through-holes,
perforated surface, multiple apertures, tunnels, floating,
black background <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.2.b — Erosione organica
organic blob architecture, embryological form, eroded organic
surface, biomorphic cavities, porous structure,
deep recesses, black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.2.c — Morfologia *a cavità*
organic blob architecture, embryological form, complex void spaces,
interconnected cavities, swiss cheese morphology,
floating black background <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.2.d — Struttura corallina
organic blob architecture, embryological form, coral-like surface,
highly porous structure, interconnected voids,
biomorphic perforations, black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.2.e — Struttura spugnosa
organic blob architecture, embryological form, sponge-like texture,
organic pores, deep channels, cellular voids,
floating black background <lora:last:0.8>
B.8.3 — Tunnel e passaggi
PROMPT B.8.3.a — Tunnel interni
organic blob architecture, embryological form, tunnel passages,
winding internal corridors, through-holes at different scales,
floating black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.3.b — Passaggi labirintici
organic blob architecture, embryological form, labyrinthine openings,
nested cavities, passages at multiple scales,
black background <lora:last:0.8>
B.8.4 — Erosione e dissoluzione
PROMPT B.8.4.a — Massa erosa
organic blob architecture, embryological form, eroded mass,
dissolving edges, irregular perforations, worn surface,
matter dissolving into void, black background <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.4.b — Deterioramento organico
organic blob architecture, embryological form, weathered biomorphic
mass, erosion cavities, surface deterioration,
organic decay aesthetic, black void <lora:last:0.8>
B.8.5 — Dualità pieno-vuoto
PROMPT B.8.5.a — Equilibrio solido-vuoto

organic blob architecture, embryological form, solid and void interplay, equal positive negative space, hollowed mass, floating black background <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.5.b — Dominanza del vuoto
organic blob architecture, embryological form, negative space dominance, more void than solid, skeletal biomorphic structure, black void <lora:last:0.8>
B.8.6 — Bolle e strutture cellulari
PROMPT B.8.6.a — Cavità sferiche interne
organic blob architecture, embryological form, bubble-like interior voids, spherical cavities inside mass, foam structure, floating black background <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.6.b — Membrane sottili
organic blob architecture, embryological form, cellular interior, soap bubble geometry, thin membrane walls, translucent cavities, black void <lora:last:0.8>
B.8.7 — Osso e strutture scheletriche
PROMPT B.8.7.a — Struttura ossea
organic blob architecture, embryological form, bone-like structure, skeletal biomorphic mass, marrow cavities, osseous texture, hollow interior, floating black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.7.b — Struttura vertebrale
organic blob architecture, embryological form, vertebral structure, ribbed hollow interior, bone marrow aesthetic, deep organic cavities, black background <lora:last:0.8>
B.8.8 — Vulcanico e geologico
PROMPT B.8.8.a — Roccia vulcanica
organic blob architecture, embryological form, volcanic rock texture, lava tube cavities, geological erosion, basalt-like surface, deep fissures, floating black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.8.b — Strati geologici
organic blob architecture, embryological form, geological strata, layered rock erosion, canyon-like interior cavities, mineral texture, black background <lora:last:0.8>
B.8.9 — Radici e rizomi
PROMPT B.8.9.a — Struttura radicale
organic blob architecture, embryological form, root-like extensions, rhizome structure, branching organic mass, interconnected tendrils, black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.9.b — Rete miceliare
organic blob architecture, embryological form, mycelium network, fungal branching structure, thin filament extensions, organic web, floating black background <lora:last:0.8>
B.8.10 — Acqua e dinamiche fluide
PROMPT B.8.10.a — Massa liquida congelata
organic blob architecture, embryological form, frozen liquid mass, water droplet morphology, fluid dynamics frozen in time, splash architecture, black void <lora:last:0.8>

PROMPT B.8.10.b — Erosione idrica
organic blob architecture, embryological form, underwater erosion,
water-carved cavities, fluid surface tension,
liquid architecture, black background <lora:last:0.8>
B.8.11 — Pelle e membrane
PROMPT B.8.11.a — Membrana sottile
organic blob architecture, embryological form, thin membrane surface,
skin-like texture, stretched organic material,
translucent walls, interior visible, black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.11.b — Pelle rugosa e piegata
organic blob architecture, embryological form, wrinkled skin texture,
folded membrane, biological surface,
organic folds deep recesses, black background <lora:last:0.8>
B.8.12 — Cristallo e minerale
PROMPT B.8.12.a — Crescita cristallina interna
organic blob architecture, embryological form, crystal growth
interior, mineral formations, geode-like cavities,
crystalline inner surface, black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.12.b — Geode
organic blob architecture, embryological form, amethyst geode
morphology, hollow interior with crystal formations,
mineral texture outer surface, black background <lora:last:0.8>
B.8.13 — Biologia e viscere
PROMPT B.8.13.a — Interno viscerale
organic blob architecture, embryological form, visceral interior,
organ-like cavities, biological hollow spaces,
fleshy texture, dark interior depth, black void <lora:last:0.8>
PROMPT B.8.13.b — Tessuto embrionale
organic blob architecture, embryological form, embryonic tissue,
cellular architecture, biological cavity network,
organic depth, floating black background <lora:last:0.8>
B.8.14 — *Prompt mix* estremi
PROMPT B.8.14.a — *Mix* corallo e dualità pieno-vuoto
Prompt positivo:
organic blob architecture, embryological form, coral-like surface,
highly porous structure, solid and void interplay,
equal positive negative space, interconnected cavities,
hollowed biomorphic mass, deep channels, floating,
black void <lora:last:0.8>
Negative prompt:
base, pedestal, support, floor, ground, grey background,
white background, simple, smooth surface only, closed surface,
no openings, solid mass, opaque
PROMPT B.8.14.b — *Mix* universale alta complessità
organic blob architecture, embryological form, coral porous surface,
bone-like interior cavities, volcanic erosion texture,
solid void interplay, deep cavernous openings,
membrane-thin walls, floating black void <lora:last:0.9>

PROMPT B.8.14.c — *Mix* estremo con parametri massimi
organic blob architecture, embryological form, extreme cavities,
deep grotesque openings, complex void network,
black void <lora:last:0.8> --s 400 --weird 1500
PROMPT B.8.14.d — Perforazione massima
organic blob architecture, embryological form, maximum perforation,
fractal cavities, infinite depth openings,
black void <lora:last:1.0> --s 350 --weird 1200

B.9 — Negative prompt standard

Il *negative prompt* seguente è stato adottato come standard per tutte le generazioni della fase di sperimentazione morfologica avanzata:
base, pedestal, support, floor, ground, grey background,
white background, closed surface, solid mass,
smooth only, no openings, simple form, realistic,
photographic, human figure, text, watermark

B.10 — Prompt selezionati per la produzione delle immagini del metaprogetto

I quattro *prompt* seguenti costituiscono la selezione finale adottata per la produzione delle immagini architettoniche destinate al metaprogetto del museo virtuale. La selezione è avvenuta sulla base di tre criteri: coerenza con il paradigma morfologico lynniano di riferimento; efficacia nella generazione del rapporto pieno-vuoto come carattere spaziale qualificante; replicabilità e stabilità degli *output* attraverso variazioni del *seed*.
PROMPT SELEZIONATO 1 — Morfologia a *void* interconnessi
organic blob architecture, embryological form, complex void spaces,
interconnected cavities, swiss cheese morphology,
floating black background <lora:last:0.8>
Motivazione della selezione: questo *prompt* produce con costanza forme caratterizzate da un sistema di vuoti interconnessi di scala variabile, che evocano la logica dello spazio architettonico percorribile senza rinunciare alla continuità della superficie *blob*. La metafora del "*formaggio svizzero*" — apparentemente irriverente — si traduce in *output* morfologicamente ricchi e spazialmente suggestivi, con vuoti che attraversano la massa in direzioni multiple creando effetti di trasparenza e profondità particolarmente efficaci per le esigenze del museo virtuale.
PROMPT SELEZIONATO 2 — Superficie erosa con struttura porosa
organic blob architecture, embryological form, eroded organic
surface, biomorphic cavities, porous structure,
deep recesses, black void <lora:last:0.8>
Motivazione della selezione: la combinazione di erosione superficiale e struttura porosa produce forme che suggeriscono una temporalità — come se la materia avesse subito un processo di trasformazione nel tempo — particolarmente pertinente al tema museale. I recessi profondi creano zone d'ombra che qualificano la superficie come campo di variazione luminosa, anticipando le possibilità di *lighting design* nell'ambiente virtuale.
PROMPT SELEZIONATO 3 — Interno cavernoso con aperture
organic blob architecture, embryological form, cavernous interior,
cave openings, eroded surface, negative spaces,

black background <lora:last:0.8>
Motivazione della selezione: il riferimento alla grotta come archetipo dello spazio interno — la prima architettura della storia umana — introduce nel paradigma lynniano una dimensione antropologica e simbolica che arricchisce il progetto del museo virtuale. Le aperture cave fungono da soglie tra interno ed esterno, definendo gerarchie spaziali e percorsi potenziali nell'ambiente immersivo.
PROMPT SELEZIONATO 4 — Cavità profonde con interno visibile
organic blob architecture, embryological form, deep cavities,
hollow interior visible, cave-like openings, floating,
black background <lora:last:0.8>
Motivazione della selezione: la visibilità dell'interno attraverso le aperture cave introduce la dimensione della sezione nell'immagine generata — la compresenza di involucro esterno e spazio interno nella stessa rappresentazione. Questa caratteristica è particolarmente preziosa per la comunicazione progettuale del museo virtuale, poiché permette di leggere simultaneamente la morfologia esterna e la qualità spaziale interna, anticipando l'esperienza immersiva dell'utente nell'ambiente finale.
Negative prompt adottato per tutti e quattro i *prompt* selezionati:
base, pedestal, support, floor, ground, grey background,
white background, closed surface, solid mass,
smooth only, no openings, simple form, realistic,
photographic, human figure, text, watermark

B.11 — Note sulla riproducibilità

La completa riproducibilità del processo documentato nell'apparato richiede le seguenti condizioni:
Software: Midjourney V7 (accesso tramite *account* attivo), Stable Diffusion WebUI AUTOMATIC1111 v1.10.1, Kohya_ss GUI v25.2.1, Python 3.10.11, PyTorch 2.7.0 con CUDA 12.8.
Hardware minimo: GPU NVIDIA con 6 GB VRAM e supporto CUDA, 16 GB RAM, 50 GB spazio su disco.
Dataset: il corpus di 128 immagini con i relativi file *caption* è conservato nell'archivio digitale della ricerca e disponibile su richiesta motivata per finalità di ricerca accademica.
Modello addestrato: il file last.safetensors (26,5 MB) è conservato nell'archivio digitale della ricerca. La sua distribuzione è soggetta alle condizioni di licenza del modello base Stable Diffusion v1.5 (*CreativeML Open RAIL-M License*).
Seed di Midjourney: i *seed* specifici delle singole generazioni incluse nel corpus definitivo non sono stati sistematicamente registrati, in quanto la variazione del *seed* costituisce parte integrante del processo esplorativo. La riproducibilità del corpus si intende a livello di metodologia e di *prompt*, non di identità *pixel-level* degli *output*.

Fine Appendice B





APPENDICE C

APPENDICE C
Codici GHPython per la generazione di geometrie parametriche mediante IA

C.1 — NOTA METODOLOGICA SULL'APPENDICE

L'apparato raccoglie i codici Python sviluppati nel componente GHPython di Grasshopper per Rhinoceros nell'ambito delle tre strategie operative documentate nel Cap. 3.1.3. Ogni *script* è il risultato di un processo iterativo di co-progettazione uomo-IA condotto attraverso dialogo conversazionale con ChatGPT, che ha tradotto descrizioni verbali di comportamenti geometrici in implementazioni computazionali progressive.

I codici sono presentati nelle loro versioni definitive — non nelle singole iterazioni intermedie — corredati da: descrizione della funzione, elenco dei parametri esposti tramite *slider* Grasshopper, e note sulle scelte tecniche rilevanti. Questa selezione risponde a un criterio di utilità metodologica: documentare non ogni passaggio del *debugging* ma i risultati operativi verificati e replicabili.

I codici sono stati sviluppati in IronPython 2.7 (l'implementazione Python di GHPython), con il vincolo tecnico fondamentale dell'incompatibilità con librerie *C-based* come NumPy, che ha orientato le scelte implementative verso la *standard library* Python e le *API* di Rhino.Geometry.

C.2 — STRATEGIA 1: GENERAZIONE DI PUNTI MEDIANTE ATTRATTORE DI LORENZ

C.2.1 — Versione 1: implementazione con SciPy (*non compatibile con GHPython*)

La prima versione generata da ChatGPT utilizza NumPy e SciPy — approccio standard nel *scientific computing* Python — ma incompatibile con l'ambiente IronPython di GHPython. È documentata per completezza metodologica: evidenzia il *constraint* tecnico che ha orientato le versioni successive.

```
python
import numpy as np
from scipy.integrate import solve_ivp

# Lorenz system parameters
sigma = 10.0
beta = 8.0 / 3.0
rho = 28.0

def lorenz_system(t, state):
    x, y, z = state
    dxdt = sigma * (y - x)
    dydt = x * (rho - z) - y
    dzdt = x * y - beta * z
    return [dxdt, dydt, dzdt]

initial_state = [1.0, 1.0, 1.0]
t_span = (0, 40)
t_eval = np.linspace(t_span[0], t_span[1], 10000)
```

```
solution = solve_ivp(lorenz_system, t_span, initial_state, t_eval=t_eval)

x = solution.y[0]
y = solution.y[1]
z = solution.y[2]

points = list(zip(x, y, z))
```

Problema rilevato: incompatibilità con IronPython/GHPython. Richiede riscrittura senza dipendenze esterne.

C.2.2 — Versione 2: implementazione con metodo di Eulero, senza librerie esterne
Prima versione compatibile con GHPython. Sostituisce SciPy con implementazione manuale del metodo di Eulero per l'integrazione numerica delle equazioni differenziali.

```
python
# Lorenz attractor parameters
sigma = 10.0
beta = 8.0 / 3.0
rho = 28.0

def lorenz_system(x, y, z):
    dxdt = sigma * (y - x)
    dydt = x * (rho - z) - y
    dzdt = x * y - beta * z
    return dxdt, dydt, dzdt

def euler_method(x0, y0, z0, dt, steps):
    points = [(x0, y0, z0)]
    x, y, z = x0, y0, z0
    for _ in range(steps):
        dxdt, dydt, dzdt = lorenz_system(x, y, z)
        x += dxdt * dt
        y += dydt * dt
        z += dzdt * dt
        points.append((x, y, z))
    return points

x0, y0, z0 = 1.0, 1.0, 1.0
dt = 0.01
steps = 10000

points = euler_method(x0, y0, z0, dt, steps)
```

Limite: restituisce *tuple* Python non riconoscibili da Grasshopper come geometrie native.

C.2.3 — Versione 3: implementazione definitiva con Rhino.Geometry.Point3d
Versione finale operativa in GHPython. Introduce l'integrazione con l'API Rhino.Geometry — sostituendo le *tuple* Python con oggetti Point3d — e le equazioni modificate con i parametri sperimentati.

```
python
import Rhino.Geometry as rg

# Costanti del sistema modificato (parametri)
a = 40
c = 1.833
d = 0.16
e = 0.65
k = 55
f = 20

def updated_system(x, y, z):
  """Sistema di equazioni differenziali modificato"""
  dxdt = a * (y - x) + d * z * x
  dydt = k * x + f * y - x * y
  dzdt = c * z + x * y - e * x**2
  return dxdt, dydt, dzdt

def euler_method(x0, y0, z0, dt, steps):
  """Integrazione numerica con metodo di Eulero"""
  points = []
  x, y, z = x0, y0, z0
  for _ in range(steps):
    dxdt, dydt, dzdt = updated_system(x, y, z)
    x += dxdt * dt
    y += dydt * dt
    z += dzdt * dt
    points.append(rg.Point3d(x, y, z))
  return points

# Condizioni iniziali e parametri di esecuzione
x0 = 0.1
y0 = 0
z0 = 0
dt = 0.01
steps = 10000

# Generazione della point cloud
points = euler_method(x0, y0, z0, dt, steps)

# Output per Grasshopper
a = points
```

Parametri esposti:

Parametro	Tipo	*Range* consigliato	Descrizione
dt	*Float*	0.001 → 0.05	Passo di integrazione
steps	*Integer*	1000 → 20000	Numero di punti generati
x0, y0, z0	*Float*	variabile	Condizioni iniziali
a, c, d, e, k, f	*Float*	variabile	Parametri del sistema caotico

Nota tecnica: il passaggio da *tuple* Python a rg.Point3d costituisce la transizione dal "*codice numerico*" alla "*geometria Rhino*" — condizione necessaria perché Grasshopper possa visualizzare, connettere e manipolare i punti nell'ecosistema parametrico.

C.3 — STRATEGIA 2: GENERAZIONE CONTROLLATA DEL CAOS MEDIANTE CUBI E ATTRATTORI

C.3.1 — Versione base: cubi con attrattore e distribuzione variabile
Prima versione funzionante con controllo dell'attrattore, distribuzione in tre modalità (grid, random, radial) e filtro di densità inversa.

```
python
import Rhino.Geometry as rg
import random
import math

# Validazione input con fallback
try:
    num_cubes = int(num_cubes)
    size_min = float(size_min)
    size_max = float(size_max)
    randomize = bool(randomize)
    influence = float(influence)
    if not isinstance(attractor, rg.Point3d):
        attractor = rg.Point3d(0, 0, 0)
    mode = str(mode).lower()
    if mode not in ["grid", "random", "radial"]:
        mode = "grid"
except:
    num_cubes = 10
    size_min = 1.0
    size_max = 3.0
    randomize = False
    influence = 10.0
    attractor = rg.Point3d(0, 0, 0)
    mode = "grid"

cubes = []
for i in range(num_cubes):
```

```
    if mode == “random”:
        x_pos = random.uniform(-10, 10)
        y_pos = random.uniform(-10, 10)
        z_pos = random.uniform(-10, 10)
    elif mode == “grid”:
        grid_size = int(math.sqrt(num_cubes))
        x_pos = (i % grid_size) * 2
        y_pos = (i // grid_size) * 2
        z_pos = 0
    elif mode == “radial”:
        angle = (i / num_cubes) * 2 * math.pi
        radius = influence * random.uniform(0.5, 1.5)
        x_pos = attractor.X + radius * math.cos(angle)
        y_pos = attractor.Y + radius * math.sin(angle)
        z_pos = random.uniform(-5, 5)

    cube_center = rg.Point3d(x_pos, y_pos, z_pos)
    distance = cube_center.DistanceTo(attractor)
    size_factor = max(size_min,
                      size_max - (distance / influence) * (size_max - size_min))
    box = rg.Box(
        rg.Plane(cube_center, rg.Vector3d.ZAxis),
        rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2),
        rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2),
        rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2)
    )
    cubes.append(box)

a = cubes
```

C.3.2 — Versione definitiva: densità inversa, rotazione, distribuzione 3D
Versione completa con tutte le funzionalità documentate nella Sala IX del museo virtuale: densità inversa (rarefazione vicino all’attrattore), rotazione progressiva in base alla distanza, distribuzione volumetrica sull’asse Z.

```
python
import Rhino.Geometry as rg
import random
import math

# Validazione input con fallback
try:
    num_cubes = int(num_cubes)
    size_min = float(size_min)
    size_max = float(size_max)
    randomize = bool(randomize)
    influence = float(influence)
    max_cubes = min(num_cubes, 5000)
```

```
    if hasattr(attractor, "X"):
        current_attractor = rg.Point3d(attractor.X, attractor.Y, attractor.Z)
    else:
        current_attractor = rg.Point3d(0, 0, 0)
    mode = str(mode).lower()
    if mode not in ["grid", "random", "radial"]:
        mode = "grid"
except:
    num_cubes = 500
    size_min = 0.5
    size_max = 3.0
    randomize = False
    influence = 10.0
    current_attractor = rg.Point3d(0, 0, 0)
    mode = "grid"
    max_cubes = 5000

cubes = []
max_distance = 50.0

for i in range(max_cubes):
    if mode == "random":
        x_pos = random.uniform(-30, 30)
        y_pos = random.uniform(-30, 30)
        z_pos = random.uniform(-30, 30)
    elif mode == "grid":
        grid_size = int(math.sqrt(max_cubes))
        x_pos = (i % grid_size) * 2 - 20
        y_pos = (i // grid_size) * 2 - 20
        z_pos = (i % grid_size) * 2 - 20
    elif mode == "radial":
        angle = (i / max_cubes) * 2 * math.pi
        radius = influence * random.uniform(0.5, 2.0)
        x_pos = current_attractor.X + radius * math.cos(angle)
        y_pos = current_attractor.Y + radius * math.sin(angle)
        z_pos = current_attractor.Z + random.uniform(-influence, influence)

    cube_center = rg.Point3d(x_pos, y_pos, z_pos)
    distance = cube_center.DistanceTo(current_attractor)

    # Logica densità inversa: rarefazione vicino all'attrattore
    density_factor = 1.0 - min(1.0, distance / max_distance)
    if random.random() > density_factor:
        continue  # Cubo eliminato: zona rarefatta vicino all'attrattore

    # Dimensione inversamente proporzionale alla distanza
    size_factor = max(size_min,
                      size_max - (distance / influence) * (size_max - size_min))
```

```
    # Rotazione progressiva in base alla distanza
    plane = rg.Plane(cube_center, rg.Vector3d.ZAxis)
    rotation_angle = math.radians((1 - density_factor) * 360)
    plane.Rotate(rotation_angle, rg.Vector3d(0, 0, 1), cube_center)

    box = rg.Box(
        plane,
        rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2),
        rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2),
        rg.Interval(-size_factor/2, size_factor/2)
    )
    cubes.append(box)

a = cubes
```

Parametri esposti via *slider* Grasshopper:

Parametro	Tipo	*Range* consigliato	Descrizione
num_cubes	*Integer*	500 → 5000	Numero totale cubetti candidati
size_min	*Float*	0.5 → 2.0	Dimensione minima cubo
size_max	*Float*	1.0 → 5.0	Dimensione massima cubo
influence	*Float*	5 → 30	Raggio di influenza attrattore
attractor	*Point3d*	—	Punto attrattore (Construct Point)
mode	*String*	grid / random / radial	Modalità distribuzione

Nota sulla logica di densità inversa: il parametro density_factor — calcolato come 1 - distanza/max_distance — viene utilizzato come soglia probabilistica di eliminazione: i cubi vicini all'attrattore (density_factor alto) hanno alta probabilità di essere eliminati, quelli distanti (density_factor basso) sopravvivono quasi tutti. Questa inversione — paradossale rispetto alla metafora gravitazionale convenzionale — è il principio generativo della Sala IX del museo virtuale.

C.4 — STRATEGIA 3: CURVE ELICOIDALI, SEZIONI MODIFICABILI E SUPERFICI *SWEEP*

C.4.1 — Generazione della curva elicoidale con torsione progressiva
Prima componente del *workflow*: genera la curva guida parametrica con deformazione sinusoidale e torsione progressiva.

```
python
import Rhino.Geometry as rg
import math

# Input da Grasshopper (slider)
num_turns = int(x)    # Numero avvolgimenti
radius = y          # Raggio spirale
height = z          # Altezza totale
wave_amp = w        # Ampiezza ondulazione sinusoidale
wave_freq = u       # Frequenza ondulazione
twist_factor = v    # Intensità torsione progressiva

def generate_twisted_curve(num_turns, radius, height,
                           wave_amp, wave_freq, twist_factor):
    """
    Genera curva elicoidale con torsione progressiva
    e deformazione sinusoidale.

    La torsione incrementa da 0° a twist_factor gradi lungo la curva.
    La deformazione sinusoidale introduce variazione sull'asse Z.
    """
    points = []
    steps = 100 * num_turns

    for t in range(steps):
        angle = math.radians(t * 360 / 100)
        twist = math.radians(twist_factor * (t / steps))  # Torsione progressiva

        # Coordinate base elicoidali
        x = radius * math.cos(angle)
        y = radius * math.sin(angle)
        z = (height / steps) * t + wave_amp * math.sin(angle * wave_freq)

        # Applicazione torsione tramite matrice di rotazione 2D
        new_x = x * math.cos(twist) - y * math.sin(twist)
        new_y = x * math.sin(twist) + y * math.cos(twist)

        points.append(rg.Point3d(new_x, new_y, z))

    return rg.Geometry.Curve.CreateInterpolatedCurve(points, 3)

curve = generate_twisted_curve(num_turns, radius, height,
                               wave_amp, wave_freq, twist_factor)
a = curve  # Output: curva guida
```

Parametri:

Lettera	Nome	*Range*	Descrizione
x	num_turns	1 → 10	Numero avvolgimenti spirale
y	radius	1 → 10	Raggio
z	height	1 → 20	Altezza totale
w	wave_amp	0 → 5	Ampiezza ondulazione Z
u	wave_freq	1 → 20	Frequenza ondulazione
v	twist_factor	0 → 360	Gradi di torsione totale

C.4.2 — Versione definitiva: curva + sezioni + *sweep* con *layer* morfologici multipli
Versione completa con tutti i *layer* di controllo morfologico: scanalature sinusoidali, variazione casuale, *Perlin noise* semplificato, progressione lungo la curva, variazione locale gaussiana e tre *Image Sampler*.

```
python
import Rhino.Geometry as rg
import math
import random

# FUNZIONI AUSILIARIE
def perlin_noise(x):
    """
    Implementazione semplificata di Perlin noise compatibile con IronPython.
    Somma pesata di sinusoidi a frequenze irrazionali (ϖ, φ, e).
    Produce variazioni pseudo-casuali ma continue (no salti bruschi).
    """
    return (math.sin(x * 3.1415) * 0.5 +
            math.sin(x * 1.618) * 0.3 +
            math.sin(x * 2.718) * 0.2)

def gaussian(x, mu, sigma):
    """Funzione gaussiana per variazioni locali concentrate in punti specifici."""
    return math.exp(-((x - mu) ** 2) / (2 * sigma ** 2))

def normalize(value, min_val, max_val):
    """Normalizzazione valori Image Sampler nel range [0,1]."""
    return (value - min_val) / (max_val - min_val) if max_val != min_val else 0

# INPUT DA GRASSHOPPER

num_turns = int(x)          # Avvolgimenti spirale
radius = y                  # Raggio
height = z                  # Altezza
wave_amp = w                # Ampiezza ondulazione
wave_freq = u               # Frequenza ondulazione
twist_factor = v            # Torsione progressiva
```

```
ribbon_width = t             # Larghezza sezione
ribbon_thickness = s         # Spessore sezione base
groove_depth = g             # Profondità scanalature
groove_freq = h              # Frequenza scanalature
random_factor = j            # Variazione casuale
noise_intensity = k          # Intensità Perlin noise
progression_factor = m       # Progressione lungo curva
local_variation = n          # Intensità variazione locale gaussiana
local_control_points = int(p)   # Numero punti controllo gaussiana
hole_intensity = o           # Intensità buchi attrattori

# Gestione Image Sampler (fallback se non connessi)
if "img" not in globals() or not isinstance(img, list) or len(img) == 0:
    img = [0.5] * 20
if "img2" not in globals() or not isinstance(img2, list) or len(img2) == 0:
    img2 = [0.5] * 20
if "img3" not in globals() or not isinstance(img3, list) or len(img3) == 0:
    img3 = [0.0] * 20

# GENERAZIONE CURVA GUIDA
def generate_twisted_curve(num_turns, radius, height,
                           wave_amp, wave_freq, twist_factor):
    points = []
    steps = 100 * num_turns
    for t in range(steps):
        angle = math.radians(t * 360 / 100)
        twist = math.radians(twist_factor * (t / steps))
        x = radius * math.cos(angle)
        y = radius * math.sin(angle)
        z = (height / steps) * t + wave_amp * math.sin(angle * wave_freq)
        new_x = x * math.cos(twist) - y * math.sin(twist)
        new_y = x * math.sin(twist) + y * math.cos(twist)
        points.append(rg.Point3d(new_x, new_y, z))
    return rg.Geometry.Curve.CreateInterpolatedCurve(points, 3)

curve = generate_twisted_curve(num_turns, radius, height,
                               wave_amp, wave_freq, twist_factor)

# GENERAZIONE SEZIONI CON LAYER MORFOLOGICI

sections = []
num_sections = min(len(img), len(img2), len(img3))

for i in range(num_sections):
    param = curve.Domain.ParameterAt(float(i) / num_sections)
    frame = rg.Plane(curve.PointAt(param), curve.TangentAt(param))
    progress = i / num_sections  # [0,1] posizione lungo la curva
    # LAYER 1 — Valori Image Sampler normalizzati
```

```
    img_value = normalize(img[i], min(img), max(img))
    img2_value = normalize(img2[i], min(img2), max(img2))
    img3_value = normalize(img3[i], min(img3), max(img3))

    # LAYER 2 — Variazione locale gaussiana
    local_var = 0
    for j in range(local_control_points):
        mu = j / (local_control_points - 1) if local_control_points > 1 else 0.5
        local_var += gaussian(progress, mu, 0.1) * local_variation

    # LAYER 3 — Modulazione progressiva
    groove_mod = groove_depth * (1 + progression_factor * progress + local_var)
    noise_mod = noise_intensity * (1 + progression_factor * progress + local_var)
    rand_var = random.uniform(-random_factor, random_factor)

    # LAYER 4 — Frequenza da Image Sampler 2
    groove_freq_local = groove_freq * (1 + img2_value * progression_factor)

    # LAYER 5 — Perlin noise + sinusoide + random
    noise_val = perlin_noise(i * noise_mod)
    groove_offset = (groove_mod * img_value *
                (math.sin(math.radians(i * groove_freq_local *
                                360 / num_sections))
                 + noise_val) + rand_var)

    # LAYER 6 — Buchi attrattori da Image Sampler 3
    hole_offset = img3_value * hole_intensity

    # Spessore finale: combinazione di tutti i layer
    final_thickness = ribbon_thickness + groove_offset - hole_offset

    rect = rg.Rectangle3d(frame, ribbon_width, final_thickness).ToNurbsCurve()
    sections.append(rect)

# SWEEP
sweep = rg.SweepOneRail()
sweep.AngleToleranceRadians = math.radians(1)
sweep.SweepTolerance = 0.01
swept_surface = sweep.PerformSweep(curve, sections)[0]

# OUTPUT

a = curve        # Curva guida
b = sections     # Sezioni trasversali
c = swept_surface  # Superficie finale
```

Parametri esposti via *slider* Grasshopper:

Lettera	Nome	*Range*	Descrizione
x → v	Curva base	vedi C.4.1	Geometria spirale e torsione
t	ribbon_width	0.1 → 2.0	Larghezza sezione
s	ribbon_thickness	0.01 → 0.5	Spessore base sezione
g	groove_depth	0.01 → 1.0	Profondità scanalature
h	groove_freq	1 → 20	Frequenza scanalature
j	random_factor	0 → 1.0	Variazione casuale
k	noise_intensity	0.1 → 5.0	Intensità Perlin noise
m	progression_factor	-1 → 1	Progressione lungo curva
n	local_variation	0 → 1.0	Intensità variazione gaussiana
p	l o c a l _ c o n t r o l _ points	2 → 10	Numero punti gaussiana
o	hole_intensity	0.5 → 2.0	Intensità buchi attrattori
img	*Image Sampler* 1	—	Controllo profondità scanalature
img2	*Image Sampler* 2	—	Controllo frequenza scanalature
img3	*Image Sampler* 3	—	Controllo posizione buchi

Nota sugli *Image Sampler*: i tre componenti *Image Sampler* vanno configurati in Grasshopper con modalità *Color Brightness* (output numerico 0 → 1), *Domain* X da 0 a 1, e modalità *Tile* o *Clamp*. I valori estratti vengono normalizzati nel codice e combinati additivamente con i *layer* procedurali.

C.5 — STRUTTURA DEL *WORKFLOW* CHATGPT → GHPYTHON → GRASSHOPPER

Il diagramma seguente sintetizza il processo operativo documentato nei codici precedenti:

DESCRIZIONE VERBALE → CHATGPT → GHPYTHON → GRASSHOPPER
dell'intent progettuale → traduce in → esegue in → visualizza e
(linguaggio naturale) codice Python IronPython parametrizza
↓
ITERAZIONI DIALOGICHE
("senza NumPy", "con Point3d", "aggiungi Z axis")

Ciclo iterativo tipo per ogni *script*:

1. Formulazione verbale dell'intent geometrico
2. Generazione del codice da ChatGPT
3. *Incolla* in GHPython → esecuzione
4. Identificazione errori o limitazioni (incompatibilità librerie, tipi errati, comportamento non atteso)
5. Richiesta di revisione a ChatGPT con descrizione precisa del problema
6. Nuova versione del codice

C.6 — Configurazione degli input in GHPython

Per tutti gli *script* documentati, la configurazione degli *input* in GHPython segue questa procedura standard:

1. Doppio *click* sul componente GHPython Script nel *canvas*
2. Accedere alla scheda Component
3. Cliccare Add input per ogni variabile, assegnando il nome esatto usato nel codice
4. Tipizzare correttamente ogni *input* (Integer, Float, Boolean, Point3d, String)
5. Cliccare OK e collegare gli *slider* / componenti Grasshopper ai rispettivi *input*

Tipi di *input* per la Strategia 2 (Cubi):

Nome *input*	Tipo GHPython	Componente Grasshopper
num_cubes	*Integer*	*Number Slider* (intero)
size_min	*Float*	*Number Slider*
size_max	*Float*	*Number Slider*
randomize	*Boolean*	*Boolean Toggle*
attractor	*Point3d*	*Construct Point* (con 3 *slider* X/Y/Z)
influence	*Float*	*Number Slider*
mode	*String*	*Panel* (testo: “grid”, “random”, “radial”)

Nota tecnica: per il parametro attractor, l’utilizzo di Construct Point (*Vector* → *Point* → *Construct Point*) con tre *slider* X/Y/Z separati garantisce l’aggiornamento dinamico del punto, a differenza del componente *Point Param* con “*Set One Point*” che restituisce un riferimento statico non aggiornabile in tempo reale.

C.7 — NOTE SULLA RIPRODUCIBILITÀ

Software: Rhinoceros 7/8, Grasshopper (incluso), GHPython (IronPython 2.7, incluso in Grasshopper), ChatGPT GPT-4 (accesso tramite *account*).
Hardware minimo: CPU con 8+ core consigliati per *script* con 5000+ elementi; GPU non richiesta (elaborazione *CPU-based*).
Limitazioni note:

- GHPython (IronPython 2.7) non supporta NumPy, SciPy, Matplotlib e altre librerie *CPython*
- L'aggiornamento dinamico in tempo reale del punto attrattore richiede il componente *Construct Point*; il *Point Param* con *Set One Point* produce riferimenti statici
- *Script* con max_cubes > 3000 possono rallentare il *viewport*; si consiglia di abbassare il valore durante l'esplorazione e aumentarlo per il *render* finale
- L'operazione *Sweep* (SweepOneRail) richiede che le sezioni siano curve planari correttamente orientate rispetto alla curva guida; sezioni degeneri (spessore negativo per groove_offset eccessivo) causano errori silenziosi nell'*output*

Seed casuale: i codici che utilizzano random.uniform() producono *output* non deterministici ad ogni esecuzione. Per fissare un risultato specifico, aggiungere random.seed(N) all'inizio dello *script* con N intero a scelta.

Fine Appendice C