

Questo libro nasce dall'interesse dell'autore verso due delle sfide globali che il XXI secolo sta affrontando: il contrasto ai cambiamenti climatici e le applicazioni (ma anche le implicazioni) dell'intelligenza artificiale nella città del futuro.

Una delle immagini chiave introdotte dal libro è quella di hypercity, un'evoluzione della smart city, in cui l'intelligenza artificiale, integrata nei sistemi urbani, interagisce con le dinamiche sociali, etiche, economiche e ambientali, avendone la capacità di condizionarle. Viene proposta una lettura anticipata delle trasformazioni in corso, indotte dalle nuove tecnologie nelle attività urbane, e si indica un quadro interpretativo che integra le diverse dimensioni della città del futuro. Una visione olistica, dove l'intelligenza artificiale non è vista né come la panacea di tutti i mali, né come il male assoluto da cui doversi difendere, ma come una forza catalizzatrice che può accelerare il processo di transizione verso modelli urbani più sostenibili e resilienti. Sempre che si acquisisca piena consapevolezza delle prospettive e degli azzardi insiti nell'IA stessa.

L'auspicio è di stimolare studiosi, cittadini e amministratori ad una riflessione collettiva che riguarda il futuro delle nostre città e, in ultima analisi, della nostra civiltà.

Paolo Fusero è professore ordinario di urbanistica. Nato a Genova, ha iniziato la sua attività professionale collaborando con Bruno Gabrielli alla stesura di diversi strumenti urbanistici: PRG di Piacenza (1992), Pisa (1993), Paternò (1995), Parma (1996), PTC di Ragusa (1997). All'esperienza acquisita come urbanista affianca quella da *city manager* (1996-98) maturata all'interno dell'amministrazione pubblica come dirigente apicale del settore tecnico del Comune di Parma. Nel 2000 si trasferisce a Pescara dove va a ricoprire importanti cariche accademiche presso l'Università G. d'Annunzio: membro Ud'A del Comitato Tecnico Organizzatore dell'Università telematica Leonardo da Vinci (2004-2009), consigliere di amministrazione Ud'A (2006-2011; 2020-2023), vicepresidente della Facoltà di Architettura (2004-2011), senatore accademico Ud'A (2013-2018), direttore del Dipartimento di Architettura (2014-2017; 2017-2020, 2023-2026).

FrancoAngeli
La passione per le conoscenze

€ 23,50 (U)

ISBN 978-88-351-6326-8



9 788835 163268

1862.241 - P. Fusero - HYPERCITY

FRANCOANGELI/Urbanistica

Paolo Fusero
Hypercity

Intelligenza artificiale e città del futuro



Paolo Fusero

Hypercity

Intelligenza artificiale e città del futuro

FRANCOANGELI

Paolo Fusero

Hypercity

Intelligenza artificiale e città del futuro

FrancoAngeli

FRANCOANGELI

Volume pubblicato con il contributo del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara.

In copertina: Maura Mantelli, Immagine elaborata attraverso programmi grafici che utilizzano l'intelligenza artificiale

Copyright © 2024 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Ristampa	Anno
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sui diritti d'autore. Sono vietate e sanzionate (se non espressamente autorizzate) la riproduzione in ogni modo e forma (comprese le fotocopie, la scansione, la memorizzazione elettronica) e la comunicazione (ivi inclusi a titolo esemplificativo ma non esaustivo: la distribuzione, l'adattamento, la traduzione e la rielaborazione, anche a mezzo di canali digitali interattivi e con qualsiasi modalità attualmente nota o in futuro sviluppata).

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale, possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali (www.clearedi.org; e-mail autorizzazioni@clearedi.org).

Stampa: Geca Industrie Grafiche, Via Monferrato 54, 20098 San Giuliano Milanese

Indice

Prefazione , di <i>Ermete Realacci</i>	pag.	9
Introduzione	»	13
1. Fondamenti di intelligenza artificiale	»	17
1. Concetti chiave di IA	»	17
1.1. IA, cos'è e come identificarla	»	17
1.2. Quali intelligenze? Breve storia dell'IA	»	19
1.3. Machine learning e deep learning	»	21
2. Alcune applicazioni dell'IA	»	23
2.1. Automotive	»	24
2.2. Salute e medicina	»	25
2.3. E-commerce	»	27
2.4. Formazione	»	28
2.5. Finanza	»	29
2.6. Intrattenimento	»	30
2.7. Smart home	»	31
2.8. Agricoltura di precisione	»	32
2.9. Possibili sviluppi	»	34

2. Città e rischio climatico	pag.	36
1. Inurbamento globale	»	36
1.1. Analisi demografica del fenomeno	»	36
1.2. Richiamo delle città	»	40
1.3. Effetti sull'ambiente e sulle risorse	»	41
2. Comprendere la minaccia climatica	»	42
2.1. Negazionismo climatico	»	42
2.2. Impatti attuali e previsti	»	45
2.3. Vulnerabilità delle città	»	47
2.4. Necessità di modelli innovativi	»	50
3. Iniziative europee	»	51
3.1. Piani strategici e finanziamenti	»	51
3. Hypercity e intelligenza artificiale	»	60
1. Evoluzione della smart city	»	61
1.1. Definizione di smart city	»	61
1.2. Evoluzione del concetto di smart city	»	62
1.3. Ultima frontiera: l'hypercity	»	64
2. Pianificazione urbana	»	67
2.1. Sistemi urbani assistiti da IA	»	67
2.2. Urban planning assistito da IA	»	69
2.3. E-democracy supportata da IA	»	71
3. Mobilità sostenibile e trasporti intelligenti	»	73
3.1. Sistemi di gestione del traffico	»	73
3.2. Veicoli connessi ed autonomi	»	75
4. Prevenzione catastrofi e sicurezza urbana	»	78
4.1. Prevenzione dalle catastrofi	»	78
4.2. Sicurezza urbana	»	80
5. Monitoraggio ambientale	»	82
5.1. Sensori intelligenti	»	82
5.2. Raccolta ed elaborazione dati	»	83

5.3. Comunicazione dei dati ambientali	pag.	85
6. Gestione dell'energia	»	86
6.1. Ottimizzazione energetica	»	86
6.2. Efficientamento energetico degli edifici	»	87
6.3. Consumo di energia dell'IA	»	89
7. Metabolismo urbano	»	92
7.1. Definizione e origini	»	92
8. Raccolta e riciclo intelligente	»	94
8.1. Catena di approvvigionamento	»	94
8.2. Materiali riciclabili	»	96
8.3. Mercati del riutilizzo	»	98
9. Progettazione di prodotti sostenibili	»	101
9.1. Progettazione assistita dall'IA	»	101
9.2. Analisi del ciclo di vita dei prodotti	»	103
9.3. Manutenzione intelligente dei prodotti	»	106
4. Sfide etiche e sociali, di Tullia Rinaldi	»	109
1. Etica dell'intelligenza artificiale	»	109
1.1. Principi etici per una IA affidabile	»	109
1.2. Uguaglianza e solidarietà	»	111
1.3. Libertà individuale e democrazia	»	114
2. Aspetti legali	»	117
2.1. Riforma dei sistemi vigenti	»	117
2.2. Protezione dei dati e riservatezza	»	118
2.3. Tutela della proprietà intellettuale	»	121
3. Implicazioni sociali	»	122
3.1. Mercato del lavoro e disuguaglianze	»	122
3.2. Relazioni sociali	»	124
3.3. Manipolazione dell'informazione	»	125
5. Conclusioni	»	129

Appendice

Digital Twin , di <i>Lorenzo Massimiano</i>	pag.	135
1. Significato di “Gemello digitale”	»	135
2. Evoluzione del concetto di DT	»	137
3. DT nella disciplina urbanistica	»	140
City Brain , di <i>Maura Mantelli</i>	»	145
1. Significato di “Cervello Urbano”	»	145
2. Alcune applicazioni significative	»	147
3. Dipendenza tecnologica	»	154
Riferimenti bibliografici	»	155

Prefazione

di Ermete Realacci

Hypercity. Intelligenza artificiale e città del futuro di Paolo Fusero è un testo stimolante e prezioso.

Lo è per l'interesse della tesi-progetto che propone: utilizzare a 360 gradi le potenzialità dell'intelligenza artificiale nel pensare le città del futuro. Andare oltre le smart city per fare di questa frontiera tecnologica un elemento costitutivo di una nuova idea di città, di economia, di convivenza. In grado di confrontarsi con le sfide aperte, a cominciare dalla crisi climatica.

Ma altrettanto importante è che hypercity si propone come una sorta di atlante, non solo delle esperienze avviate in molte città del mondo, ma delle potenzialità dell'IA nei campi più vari delle attività urbane. Dalla supply chain all'economia circolare, dalla chimica alla robotica, dall'agricoltura di precisione all'efficientamento energetico, dalle energie rinnovabili ai delicatissimi campi legati al controllo delle informazioni, alla manipolazione del consenso, agli usi bellici.

Molte applicazioni dell'IA sono già in corso, altre forse sovrastimate, ma non possiamo sottrarci alla opportunità-necessità di utilizzare i molti benefici dell'intelligenza artificiale e al tempo stesso di comprenderne i rischi, soprattutto sul piano etico e sociale. Per non parlare dei costi energetici connessi ai grandi centri di calcolo necessari, costi che devono essere certamente ridotti e controbilanciati dagli effetti positivi che producono.

Già oggi strumenti opachi e di dubbia utilità come le criptovalute impiegano quantità di energia elettrica paragonabile a quelle consumate da intere nazioni. Su questi temi un contributo importante potrà venire anche da Paolo Benanti, professore della Pontificia Università

Gregoriana ed esperto di etica delle tecnologie, unico italiano presente nel Comitato per l'intelligenza artificiale voluto dalle Nazioni Unite.

L'Europa è chiamata a svolgere un ruolo da protagonista di questo cambiamento. Come ci ricorda Paolo Fusero, le politiche europee e lo stesso PNRR sono legati all'incrocio tra digitalizzazione e innovazione, transizione verde e inclusione sociale, fortemente segnato dalle prospettive dell'IA. In più proprio l'Europa, sul piano delle nuove normative e delle attenzioni necessarie, può meglio presidiare, rispetto ad altri grandi protagonisti come Usa o Cina, la frontiera dell'"umanizzazione" di queste tecnologie, provando a rappresentare quello "spazio privilegiato della speranza umana", promosso dalla Costituzione Europea mai nata.

Per quanto riguarda l'Italia, è ancora più necessario il rapporto tra le tecnologie più avanzate e i nostri cromosomi antichi, con un *saper fare* legato alla capacità, per dirla come Carlo Maria Cipolla, di «produrre all'ombra dei campanili cose belle che piacciono al mondo».

Non so se un utilizzo estremo del Digital Twin farà la fine della mappa dell'Impero di Borges, alla fine inutile e soffocante. Forse me lo auguro. Sinceramente non trovo auspicabile un mondo ed un'economia in cui vengono completamente sostituiti da macchine i tecnici della Motor Valley, che dal suono riescono a capire la personalità di un motore. Alcune esperienze interessanti sono già in atto per collegare attività economiche in piccoli comuni a forme di intelligenza artificiale. Ancora di più si può fare per dotarli di servizi più avanzati legati alle esigenze delle comunità, basti pensare alla telemedicina.

Non riesco a pensare ad un'evoluzione delle nostre città che rinneghi l'affresco del *Buon Governo* di Ambrogio Lorenzetti. A sua volta rappresentazione di un passo del *Costituto di Siena* del 1309: chi governa deve avere a cuore «massimamente la bellezza della città, per cagione di diletto e allegrezza ai forestieri, per onore, prosperità e accrescimento delle città e dei cittadini». Una visione in grado di orientare ancora il nostro futuro.

Anche nello scenario tecnologicamente più avanzato, la forza della coesione sociale e delle comunità deve rappresentare un anticorpo rispetto alla disumanizzazione e alla solitudine che alcuni utilizzi dell'intelligenza artificiale potrebbero comportare. E contro il rischio che

è sempre rappresentato dalle monoculture nella società, nell'economia, nella tecnologia.

Ho in mente un bel racconto degli anni cinquanta di Isaac Asimov, straordinario scrittore di fantascienza e divulgatore scientifico. Il titolo è "Nove volte sette" e parla di un'umanità ipertecnologica in guerra con il pianeta Deneb. Una guerra completamente condotta, da entrambe le parti, da macchine (il termine computer negli anni cinquanta non esisteva). La guerra dura da moltissimo tempo in una sorta di equilibrio tecnologico del terrore. Fino a quando non viene scoperto sulla Terra Aub, un tecnico di basso livello, quasi un dropout, che sa fare moltiplicazioni, divisioni ed altre operazioni a mano. Ovviamente impiega molto più tempo, ma lo fa con la sua testa. Questa nuova scienza viene chiamata grafitica e la sua diffusione cambierà gli equilibri del conflitto.

Nel rapporto tra intelligenza artificiale e saperi umani c'è una via più convincente e attraente. E anche più italiana.

In "Nove volte sette" il racconto non finisce bene.

Paolo Fusero ci fornisce strumenti per scrivere un'altra storia, avviare un'avventura in cui saperi e nuove tecnologie aiutano a costruire un'economia e una società più a misura d'uomo.

FrancoAngeli

Introduzione

Questo libro nasce dall'interesse verso due delle sfide globali che il XXI secolo sta affrontando: il contrasto ai cambiamenti climatici e le applicazioni (ma anche le implicazioni) dell'intelligenza artificiale nelle città.

Epicentri della nostra società, le città si configurano come luoghi strategici in cui si originano molte delle cause delle alterazioni climatiche e allo stesso tempo sono fra i luoghi più vulnerabili agli impatti del riscaldamento globale. In questo contesto, l'intelligenza artificiale si profila come uno strumento ancora sostanzialmente inesplorato, ma di cui si percepiscono le enormi potenzialità per traguardare nuovi orizzonti nella comprensione dei fenomeni, nella gestione delle risorse, e nella creazione di ecosistemi urbani equilibrati.

Hypercity si inserisce in un contesto globale che richiede un approccio innovativo per affrontare la complessità delle grandi tematiche della sostenibilità, in tutte le sue dimensioni, rivolgendosi in particolare al fenomeno dell'inurbamento che sta interessando l'intero pianeta. La necessità delle città di fronteggiare queste trasformazioni, combinate con le opportunità offerte dall'intelligenza artificiale di innovare i sistemi urbani, creano un terreno fertile per sondare soluzioni fino a ieri neppure immaginabili.

Questo libro non è solo un'esplorazione delle nuove possibilità che l'innovazione tecnologica ci mette a disposizione, vuole essere soprattutto un invito a immaginare un futuro in cui le città diventano centri di innovazione nella sostenibilità ambientale, nell'inclusione sociale e nella resilienza urbana. Dalle pagine di hypercity emerge la convinzione che l'intelligenza artificiale non sia solo un potente strumento

tecnologico, quanto piuttosto una chiave di accesso verso un possibile cambio di paradigma del nostro modello di sviluppo economico.

E siamo solo all'inizio! Gli algoritmi generativi sono appena nati, il loro utilizzo è stato introdotto nella nostra società da pochissimi anni. Il progresso tecnologico è talmente rapido che la curva del suo sviluppo è esponenziale, rendendo molto complicato immaginare cosa potrà accadere in una prospettiva di lungo termine. Si tratta di un momento in cui la capacità umana di controllo dei fenomeni stenta a tenere il passo dell'innovazione tecnologica¹. E questo se da un lato affascina, dall'altro spaventa.

L'organizzazione tradizionale delle conoscenze è sempre stata di tipo "architettonico", fortemente stratificata, strutturata con gerarchie solide e ben fondate. La biblioteca ha rappresentato per centinaia di anni la fonte privilegiata di questo modello. Wikipedia ne costituisce l'evoluzione più recente, ma non mette in discussione il modello enciclopedico tradizionale, e la sua evoluzione nel tempo ci fa capire molto anche sulle sue prospettive di sviluppo future.

Al contrario, il modello generativo del sapere proprio dell'intelligenza artificiale è di tipo "organico", una sorta di organismo vivente capace di modificarsi e crescere in forme non sempre ben definite e preventivabili, in cui i livelli superiori possono anche essere caratterizzati da proprietà emergenti difficilmente riconducibili alle componenti di livello inferiore². Questo secondo modello di organizzazione delle conoscenze ha il suo esempio più noto nelle reti neurali, che hanno portato allo sviluppo delle chatbot basate sull'intelligenza artificiale generativa come *ChatGPT* di OpenAI, *Gemini* di Google, o *Copilot* di Microsoft.

L'obiettivo del libro è comprendere il presente, con tutte le sue prospettive e i suoi rischi, ma soprattutto indicare come possibile un futuro in cui l'intelligenza artificiale possa essere utilizzata per rendere le città più efficienti, più inclusive e i rapporti uomo-tecnologia e uomo-natura maggiormente armonici.

¹ Vinge V. (1993), *The Coming Technological Singularity: how to survive in the post-human era*, paper presentato al Vision-21 Symposium, NASA Lewis Research Center and the Ohio Aerospace Institute, 30-31 Marzo, testo disponibile al sito: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19940022856/downloads/19940022856.pdf>

² Roncaglia G. (2023), *L'architetto e l'oracolo*, Laterza, Bari.

La scommessa è quella di poter contare su di una intelligenza artificiale “affidabile”³, addestrata attraverso sistemi a loro volta intelligenti, che possa dare supporto al *decision making* urbano. Su questa scommessa si gioca gran parte del futuro delle nostre città e del nostro pianeta: se i Paesi ad economia matura (Europa e Usa) e quelli ad economia emergente (le “Tigri asiatiche” e i Paesi BRICS⁴) sapranno gestire l'imponente impennata tecnologica che li attende nei prossimi anni, comprendendone le dinamiche, controllandone i rischi e contenendone gli squilibri, a cominciare da quelli sociali, l'IA potrà dispiegare a pieno il suo potenziale, contribuendo significativamente al raggiungimento dei 17 obiettivi di sviluppo sostenibile che l'ONU si è data con “Agenda 2030”⁵.

Sia bene inteso: non siamo davanti ad un bivio. Non si tratta di decidere se continuare o meno ad investire sull'intelligenza artificiale, che, come tutte le rivoluzioni, è un processo ineludibile.

Si tratta piuttosto di non farci travolgere: prendere coscienza del fenomeno, governarlo all'interno di un perimetro di principi etici e sociali, nel tentativo di perseguire obiettivi di interesse comune per l'umanità e per il pianeta.

Il libro si articola in quattro capitoli.

Il primo fornisce i fondamenti di intelligenza artificiale, ricostruendone sinteticamente la storia recentissima e cercando di esaminare alcuni concetti chiave che permettono di farne intuire l'enorme potenziale in relazione alle possibili applicazioni sulla città.

Il secondo capitolo evidenzia la vulnerabilità delle città rispetto alle grandi sfide del XXI secolo, in particolare quella connessa al cambiamento climatico: comprendere la minaccia climatica diventa un imperativo per limitare gli impatti, attuali e futuri. L'orientamento della

³ Floridi L. (2022), *Etica dell'intelligenza artificiale. Sviluppi, opportunità, sfide*, Raffaello Cortina editore, Milano.

⁴ Il termine “Tigri asiatiche” nasce verso la fine degli anni settanta in riferimento al rapido sviluppo economico di quattro nazioni: Taiwan, Corea del Sud, Singapore e Hong Kong. Più tardi il riferimento viene esteso anche alle altre economie in rapido sviluppo del Sud-est asiatico: Malaysia, Indonesia, Thailandia e Filippine. BRICS, invece, è l'acronimo con cui si identificano le attuali economie mondiali emergenti dotate di abbondanti risorse naturali: Brasile, Russia, India, Cina, Sud Africa. Di recente è stato introdotto anche il termine BRICS+ in relazione ai nuovi equilibri geopolitici determinati dall'allargamento del gruppo ad altri Paesi: Etiopia, Egitto, Iran, Arabia Saudita ed Emirati Arabi.

⁵ ONU Dep. Economic and Social Affairs, The 17 Goals, <https://sdgs.un.org/goals>

Commissione Europea nel favorire la transizione ecologica sembra essere chiaro e l'intelligenza artificiale può costituire un valido strumento a supporto delle politiche comunitarie.

Il terzo capitolo prova ad immaginare il ruolo dell'intelligenza artificiale nella città del futuro, introducendo la prospettiva di una evoluzione della smart city in una città ancora più complessa e intelligente, l'hypercity, una città in cui la tecnologia si combina simbioticamente con l'agire quotidiano dei suoi abitanti. Vengono descritti i possibili scenari evolutivi di attività quali la mobilità e i trasporti, la gestione dell'energia, la prevenzione dalle calamità, lo smaltimento dei rifiuti e il riciclo, il monitoraggio ambientale, ecc. L'intento è quello di far comprendere come le nuove tecnologie applicate alle attività urbane possano generare una "ipercittà" in cui l'intelligenza artificiale non è semplicemente integrata nei sistemi urbani, ma ne diventa elemento costituente, creando i presupposti per una trasformazione profonda dei modi d'uso della città stessa.

Il quarto capitolo si occupa di argomenti cruciali parlando di intelligenza artificiale: le sfide etiche e le implicazioni sociali che comportano le sue applicazioni nella vita reale. L'hypercity assistita dall'IA pone questioni nuove sotto il profilo giuridico e soprattutto inediti rischi sotto il profilo sociale, che devono essere attentamente considerati, data la portata delle distorsioni che potrebbero generare.

In appendice vengono approfonditi due esempi di applicazione dell'intelligenza artificiale nella pianificazione urbana: il "City Brain" e il "Digital Twin".

In chiusura del libro, sono riportati tutti i riferimenti bibliografici utilizzati per la sua stesura.

1. Fondamenti di intelligenza artificiale

In questo primo capitolo vengono fornite le conoscenze di base dell'IA: cosa è, come la si identifica, quali sono le principali applicazioni. Sarà curioso rendersi conto che seppure il concetto di intelligenza artificiale ci proietta verso scenari futuribili lontani, in realtà già oggi la nostra vita quotidiana è pervasa da una moltitudine di applicazioni che utilizzano l'IA. Quello che ci può riservare il futuro è tutto da scoprire, ma è chiaro che il potenziale di sviluppo dell'IA può portare a scenari in cui l'integrazione uomo-macchina e la robotica avanzata potrebbero trasformare in modo ancora più consistente le nostre abitudini individuali, le nostre interazioni sociali e il nostro modo di lavorare. Con tutti i vantaggi e i rischi che ciò comporta.

1. Concetti chiave di IA

1.1. IA, cos'è e come identificarla

Definire i contorni scientifici del concetto di intelligenza artificiale è meno semplice di quanto possa sembrare, considerando l'evoluzione che l'IA ha avuto in questi ultimi anni e l'ampliamento delle discipline coinvolte. Si possono evidenziare differenze sensibili se a rispondere è un informatico, piuttosto che un filosofo o uno scienziato cognitivo. Proviamo, allora, a partire da alcune definizioni enciclopediche per comprendere, in termini asettici, il significato del termine. Wikipedia, l'enciclopedia collaborativa on line più diffusa al mondo, che come è noto presenta evidenti disomogeneità di approfondimento sulle singo-

le voci, dedica all'intelligenza artificiale un'ampia pagina, ma la definizione che ne dà è piuttosto asciutta e focalizzata sui contenuti informatici: «disciplina che studia come realizzare sistemi informatici in grado di simulare il pensiero umano»¹. La Treccani, nella sua Enciclopedia della scienza e della tecnica, continua a porre l'accento sui sistemi hardware e software, ma ne amplia la descrizione: «disciplina che studia i fondamenti teorici, le metodologie e le tecniche che consentono di progettare sistemi hardware e sistemi di programmi software atti a fornire all'elaboratore elettronico prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana»². L'Enciclopedia Britannica introduce ulteriori elementi descrittivi delle attitudini degli esseri umani che possono essere simulate dai sistemi di intelligenza artificiale: «l'IA è l'abilità di un computer di eseguire compiti comunemente associati agli esseri intelligenti come la capacità di ragionare, scoprire significati, generalizzare o imparare dall'esperienza passata»³.

Partendo da queste definizioni, risulta chiaro come il termine “intelligenza” (solitamente associato alle attività umane) non sia riferito alle capacità di calcolo o di immagazzinare dati (solitamente associate ai sistemi informatici), ma a tutte quelle differenti forme di intelligenza che sono riconosciute dalla *Teoria delle intelligenze multiple* di Gardner⁴, e che vanno dall'intelligenza logico-matematica a quella linguistica, da quella procedurale a quella interpersonale, ecc. I sistemi di intelligenza artificiale sono capaci di apprendere, di interagire con l'ambiente, di adattarsi alle situazioni, di imparare dagli errori; hanno capacità di ragionamento e di pianificazione e sono in grado di perseguire in modo autonomo finalità precise, prendendo decisioni che fino a pochi anni fa si pensava fossero di esclusiva pertinenza dell'essere umano, basti pensare alle auto a guida autonoma. Uno dei più forti giocatori di scacchi di tutti i tempi, Garry Kasparov, nel 1996 dopo

¹ Wikipedia (2024), definizione di “intelligenza artificiale”, testo disponibile al sito: https://it.wikipedia.org/wiki/Intelligenza_artificiale

² Amigoni F., Schiaffonati V., Somalvico M. (2008), *Intelligenza artificiale*, in Enciclopedia della scienza e della tecnica Treccani, testo disponibile al sito: [https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/)

³ Copeland B.J. (2024), *Artificial Intelligence*, in Encyclopaedia Britannica, testo disponibile al sito: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>

⁴ Gardner H. (1983), *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, Basic Books, New York.

essere stato sconfitto da Deep Blue, un calcolatore IBM progettato ed addestrato in funzione di quella sfida, affermò che era la prima volta che gli capitava di giocare non tanto contro un computer, ma contro un qualcosa che possedeva una forma di intelligenza: «se vai a minacciare la macchina, quella contrattacca. Ma se non le crei pericoli immediati si concentra sui suoi calcoli, si apre e ti offre una chance».

1.2. Quali intelligenze? Breve storia dell'IA

Per delineare criticamente la storia dell'intelligenza artificiale è importante premettere come questa disciplina abbia introiettato molte idee, punti di vista e tecniche di altre scienze, in particolare la filosofia, la matematica e la psicologia. Più precisamente possono essere ricondotti alla filosofia i risultati relativi al dibattito sulla natura dell'intelligenza e della razionalità, alla matematica l'approccio formale basato sulla logica, alla psicologia l'analisi delle relazioni fra conoscenza e azione. Tuttavia, è senza dubbio con la cibernetica e l'informatica che queste influenze si fanno più evidenti e aprono la strada alla nascita ufficiale dell'intelligenza artificiale⁵.

Le origini dell'intelligenza artificiale, intesa come disciplina scientifica autonoma, si possono quindi individuare negli anni cinquanta del XX secolo, contrassegnati dalla visione e dai contributi pionieristici di due scienziati: Alan Turing e John McCarthy.

Il primo, matematico britannico pioniere della cibernetica, ebbe un ruolo molto importante nella II Guerra mondiale: a capo di una squadra di crittografi inglesi, nella base segreta della dimora di Bletchley Park (Buckinghamshire), riuscì a decifrare il codice tedesco "Enigma"⁶, fornendo un contributo decisivo per la vittoria delle forze alleate. Tuttavia, il suo nome è legato alle origini dell'intelligenza artificiale grazie al cosiddetto "Test di Turing", un criterio per valutare le

⁵ Amigoni F., Schiaffonati V., Somalvico M. (2008), *Intelligenza artificiale*, in Enciclopedia della scienza e della tecnica Treccani, testo disponibile al sito: [https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/)

⁶ Hodges A., Turing A. (2014), *Storia di un enigma*, Bollati Boringhieri, Torino.

capacità di una macchina di assumere comportamenti intelligenti pari, o comunque non distinguibili da quelli di un essere umano⁷.

Il secondo scienziato a cui viene attribuita la paternità del termine “intelligenza artificiale” è l'informatico americano John McCarthy, che lo utilizzò per la prima volta in un seminario estivo svoltosi presso il Dartmouth College di Hanover (New Hampshire) nel 1956. L'evento fu proposto l'anno prima dallo stesso McCarthy, insieme ad altri, in un documento noto come “Proposta di Dartmouth” dove si motivava la necessità di un seminario sul tema attraverso queste parole: «lo studio procederà sulla base della congettura per cui, in linea di principio, ogni aspetto dell'apprendimento o una qualsiasi altra caratteristica dell'intelligenza possano essere descritte così precisamente da poter costruire una macchina che le simuli»⁸.

In questa prima fase di evoluzione l'intelligenza artificiale è rivolta soprattutto alla soluzione di problemi di tipo logico: sono anni di successi e di grandi aspettative, alimentate dai progressi esponenziali dei supporti informatici che consentono di migliorare in modo considerevole le prestazioni dei programmi. Ben presto però diventa chiaro che non è più sufficiente realizzare computer in grado di risolvere teoremi matematici più o meno complessi, e che le nuove frontiere sono rappresentate dalla possibilità delle macchine di emulare il sistema di percezione degli esseri viventi e di interagire con l'ambiente circostante esibendo capacità di risposta simili a quelle umane.

Un contributo importante in tal senso fu dato, all'inizio degli anni sessanta, da Frank Rosenblatt, uno psicologo americano noto per le sue ricerche sulle reti neurali, la complessa rete di cellule (i neuroni) con un numero enorme di interconnessioni reciproche che forma il sistema nervoso degli esseri viventi. Rosenblatt mise a punto un algoritmo, “Perceptron”, costruito secondo principi biologici naturali, con

⁷ Turing A. (1950), “Computing machinery and intelligence”, in *Mind* vol. 59, pp. 433-460, Oxford University Press.

⁸ McCarthy J., Minsky M., Rochester N., Shannon C., (1955), *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>

l'obiettivo di conferire ai computer capacità di apprendimento artificiali⁹.

Negli anni a seguire si registrò, tuttavia, un generale raffreddamento degli entusiasmi e delle corrispettive fonti di finanziamento della ricerca sull'IA. Alcune riflessioni critiche sui limiti delle reti neurali artificiali, come quelle espresse da Marvin Minsky e Seymour Papert¹⁰, contribuirono in tal senso.

Bisogna aspettare l'inizio degli anni settanta per assistere ad un nuovo impulso dell'IA, quando la ricerca si sposta dai laboratori universitari a quelli delle Big Tech, le grandi aziende del settore informatico. Il primo sistema di intelligenza artificiale utilizzato in ambito commerciale fu elaborato dalla Digital Equipment¹¹ nel 1982. Scopo del programma era quello di gestire gli ordini dei nuovi computer e pare che fosse in grado di far risparmiare alla compagnia diversi milioni di dollari all'anno.

Alla fine degli anni settanta praticamente tutte le grandi aziende americane, giapponesi ed europee, quantomeno quelle che operavano nei settori ad alto valore aggiunto, avevano un proprio sistema di intelligenza artificiale che supportava alcune fasi delle attività produttive e commerciali. Inizia una nuova era per l'IA e la ricerca sulle reti neurali riprende vigore. Un momento simbolico di questo processo può essere individuato nel confronto, che abbiamo già citato, tra Deep Blue e Garry Kasparov. La capacità del sistema di auto apprendere dai propri errori e dalle mosse dell'avversario consentì alla macchina progettata da IBM di prevalere sul campione di scacchi.

1.3. Machine learning e deep learning

Negli anni duemila prende forma uno dei principali progressi nella

⁹ Rosenblatt F. (1962), *Principles of neurodynamics, perceptrons and the theory of brain mechanisms*, Spartan Books, Washington, testo disponibile al sito: <https://hdl.handle.net/2027/mdp.39015039846566>

¹⁰ Minsky M. e Papert S. (1969), *Perceptrons: An Introduction to computational Geometry*, MIT Press, Cambridge.

¹¹ La *Digital Equipment Corporation* è stata un'azienda americana pioniera del settore informatico, in seguito acquistata da Compaq che a sua volta è stata inglobata da Hewlett-Packard. Dal 2004 viene commercializzata con il marchio HP.

storia dell'intelligenza artificiale: il "machine learning". È una branca dell'intelligenza artificiale che si basa sul principio che i sistemi informatici siano alimentati dai dati e riescano a prendere decisioni autonome con un intervento umano ridotto al minimo. Attraverso l'apprendimento automatico una macchina è in grado di imparare a svolgere una determinata azione, anche se tale azione non è stata programmata dall'uomo.

L'evoluzione del machine learning ci porta ai giorni nostri con il "deep learning": mentre prima si diceva al computer come risolvere un determinato problema, ora lo si addestra a risolvere lo stesso problema da solo. La ricerca sull'intelligenza artificiale si divide così in due filoni. Il primo è la cosiddetta "intelligenza artificiale debole" che fa riferimento al machine learning e a tutti quei sistemi che sono in grado di simulare soltanto alcune specifiche funzionalità cognitive dell'essere umano. Il secondo filone è la cosiddetta "intelligenza artificiale forte" che fa riferimento al deep learning e ai sistemi evoluti che (almeno in teoria) sono in grado di sviluppare una capacità cognitiva complessiva paragonabile a quella umana. È facilmente intuibile che se il machine learning necessita di una consistente quantità di dati su cui addestrarsi, il deep learning ne richiede una mole ben superiore, con annesse maggiori risorse tecniche ed economiche.

Il machine learning è già oggi di uso quotidiano, la nostra società ne è pervasa, basti pensare alle pubblicità online che riescono a profilare con sempre maggiore accuratezza gli utenti, arrivando ad offrire annunci ad hoc che aumentano di conseguenza le possibilità di successo delle vendite. Altro utilizzo è la "sentiment analysis", impiegata nelle campagne di comunicazione politica, ossia lo studio dell'opinione pubblica su determinati argomenti, ricavata dalle ricerche sui social media. Un'altra applicazione diffusa del machine learning è il riconoscimento facciale, quella tecnologia che permette di individuare i volti delle persone nelle foto o nei sistemi di sorveglianza digitale. Anche i sistemi antispam riescono, grazie ai riscontri forniti dall'utente, a distinguere i messaggi di posta elettronica indesiderati o addirittura fraudolenti ed eliminarli automaticamente. Il machine learning è oggi utilizzato diffusamente anche nel ramo dell'assistenza online ai clienti grazie alle chatbot che simulano il comportamento u-

mano e che, domanda dopo domanda, imparano a riconoscere le richieste degli utenti migliorando la precisione delle proprie risposte.

Il deep learning, invece, è destinato ad azioni più complesse rispetto a quelle affrontate dal machine learning, perché permette un'analisi più approfondita dei dati con una capacità di elaborazione ben superiore. Proprio sul deep learning si basa, ad esempio, il funzionamento degli assistenti vocali, che sono sempre più in grado di interagire con l'uomo in modo del tutto naturale. Le grandi multinazionali del campo dell'informazione e della comunicazione (ICT), una volta comprese le opportunità del deep learning, hanno cominciato ad investire copiosamente nel settore. Facebook, per esempio, sta creando un "news feed" (lo spazio della pagina di apertura dove compaiono i post) che risponde agli interessi personalizzati di ogni utente. Anche IBM ha orientato le sue ricerche in ambito deep learning su diversi progetti, tra cui alcuni legati al campo medico. Microsoft si sta dedicando molte energie allo sviluppo di sistemi di traduzione istantanea basati sul deep learning, mentre Google sta implementando le funzioni del suo celebre assistente, con un sistema di riconoscimento vocale in tutte le principali lingue del mondo.

Se è vero quindi che siamo pervasi già oggi, senza quasi rendercene conto, da applicazioni che utilizzano il machine learning o il deep learning, è con i modelli linguistici come *Gemini*¹² di Google, *ChatGPT*¹³ di OpenAI, o *Copilot*¹⁴ di Microsoft, che identifichiamo il concetto di intelligenza artificiale generativa. Questi sistemi sono in grado di creare testi di diversa natura come articoli, poesie, e persino codici informatici. Le loro abilità linguistiche sono eccezionali, così come la loro padronanza del vocabolario e della grammatica, tanto da rendere i testi che generano, non facilmente distinguibili da quelli prodotti da un autore umano.

2. Alcune applicazioni dell'IA

Come detto in apertura, quando si parla di intelligenza artificiale ci

¹² <https://gemini.google.com/>

¹³ <https://chat.openai.com/>

¹⁴ <https://copilot.microsoft.com/>

si proietta inconsciamente in una dimensione temporale al futuro senza quasi rendersi conto che già oggi siamo pervasi, nella nostra vita quotidiana e in molte funzioni specialistiche d'avanguardia, da una moltitudine di applicazioni che utilizzano l'IA.

A titolo esemplificativo e non certo esaustivo, vediamo alcune.

2.1. Automotive

L'intelligenza artificiale già da tempo ha rivoluzionato l'industria automobilistica, offrendo una vasta gamma di applicazioni per migliorare la sicurezza, l'efficienza e l'esperienza di guida¹⁵. L'IA ha fatto la sua comparsa in questo settore una decina di anni fa con le prime autovetture dotate di sistemi di guida assistita. Questi sistemi iniziali includevano funzionalità di base come il controllo adattivo della velocità di crociera e l'avviso di collisione, che comunque hanno rappresentato un primo passo verso una maggiore sicurezza e un migliore comfort di guida per i conducenti.

La guida autonoma ha poi rappresentato l'obiettivo ambizioso di tutte le case costruttrici di automobili che hanno concentrato gli sforzi dei loro centri di ricerca per utilizzare i dati provenienti da sensori, telecamere e altri dispositivi di bordo, elaborare le informazioni per mezzo di algoritmi di apprendimento automatico, ai fini di consentire ai veicoli di percepire l'ambiente circostante e di prendere decisioni autonome di guida in tempo reale, con l'obiettivo di ridurre il rischio di incidenti e migliorare il flusso del traffico. Le auto hanno cominciato a dotarsi di funzionalità avanzate, come il mantenimento della corsia, il monitoraggio degli angoli morti e l'assistenza al parcheggio.

L'IA, inoltre, è entrata nei sistemi di navigazione utilizzando i dati in tempo reale sul traffico, sulle condizioni stradali e sugli incidenti per calcolare i percorsi ottimali e fornire indicazioni precise al conducente. Anche il concetto di manutenzione del veicolo è stato rivoluzionato dall'IA: utilizzando algoritmi avanzati per l'analisi dei dati, è

¹⁵ Nikitas A., Michalakopoulou K., Tchouamou Njoya E., Karampatzakis D. (2020), "Artificial Intelligence, Transport and the smart city: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era", in *Sustainability* n. 12, 2789, testo disponibile al sito: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2789>

stato possibile prevenire i guasti e ottimizzare le operazioni di manutenzione, riducendo i tempi di fermo del veicolo e migliorando la sua affidabilità complessiva.

A onor del vero va comunque detto che dopo un periodo iniziale di entusiasmo verso la guida autonoma nel senso più completo del termine, di recente sembra esserci stato un raffreddamento di aspettative. Un primo motivo riguarda la presa di coscienza da parte dei costruttori dell'impegno economico necessario per la realizzazione della guida autonoma dei livelli 4 e 5 secondo la classificazione Sae, nei quali l'intervento umano è richiesto soltanto in particolari circostanze o, addirittura, mai (con conseguente assenza del volante dagli abitacoli). Lo sviluppo di sistemi di guida autonoma di questi livelli in contesti complessi come, ad es., centri urbani caotici o centri storici, necessita di enormi investimenti nella ricerca. E tutto ciò in un momento in cui i costruttori devono confrontarsi con un'altra sfida decisiva, quella del passaggio all'auto elettrica, in un contesto di mercato nel quale, tra l'altro, la domanda da parte dei consumatori di veicoli a guida completamente autonoma sembra non essere così solida come si poteva immaginare qualche anno fa.

È comunque ragionevole pensare che l'IA continuerà a svolgere un ruolo centrale nello sviluppo di veicoli sempre più autonomi e che il connubio tra intelligenza artificiale e sistemi di comunicazione avanzati possa generare un incremento dei servizi di trasporto su richiesta e di mobilità condivisa, trasformando sensibilmente il modo in cui ci muoveremo all'interno delle nostre città e il concetto stesso di proprietà del veicolo. Solo con tempi probabilmente più dilatati rispetto a quelli preventivati qualche anno fa.

2.2. Salute e medicina

Le applicazioni dell'intelligenza artificiale utilizzate oggi in medicina possono essere distinte in due campi: virtuale e fisico. Il primo comprende l'analisi dei dati e delle immagini diagnostiche, il secondo riguarda principalmente l'utilizzo dell'IA nella chirurgia robotica.

La disponibilità di dati in ambito medico è cresciuta enormemente negli ultimi anni, così come le fonti da cui essi provengono¹⁶. Accanto ai dati strutturati tradizionali come cartelle cliniche, database biomolecolari, ecc., sono sempre più disponibili dati non strutturati provenienti, ad esempio, da dispositivi mobili: ECG Holter, braccialetti dotati di sensori, orologi intelligenti, ecc. Gli algoritmi di intelligenza artificiale possono interpretare questa imponente mole di dati per identificare possibili relazioni con le patologie dei pazienti, in particolare per le malattie respiratorie, cardiologiche, oncologiche e dermatologiche. Un'altra area di applicazione dell'IA in campo medico è quella legata ai sistemi di predizione, in grado di identificare possibili patologie ancora prima che queste si manifestino. Ad esempio, grazie all'analisi degli elettrocardiogrammi e alla storia clinica del paziente è possibile fare previsioni attendibili se una persona sia o meno a rischio di disfunzioni cardiovascolari. Particolarmente interessanti sono anche i sistemi basati sull'intelligenza artificiale che riescono a suggerire il modo migliore di trattare le patologie dal punto di vista farmacologico. I suggerimenti dell'IA si basano sulle evidenze provenienti dalle pubblicazioni scientifiche internazionali, sul decorso di pazienti con patologie simili e sulla storia clinica del paziente stesso. Negli Usa le applicazioni di intelligenza artificiale in campo medico al momento approvate dalla *Food and Drug Administration*, l'ente governativo che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici, sono oltre 500¹⁷.

L'altro settore medico in cui trova applicazione diffusa l'intelligenza artificiale è la chirurgia robotica. Utilizzando sistemi robotici controllati da algoritmi di IA, i chirurghi possono eseguire interventi complessi con maggiore precisione e minore invasività di quanto potrebbe fare un essere umano, migliorando di conseguenza i risultati clinici e accelerando i tempi di recupero dei pazienti. Sistemi avanzati di imaging e algoritmi di elaborazione delle immagini provenienti da sensori e telecamere, identificano le strutture anatomiche critiche, calcolano le migliori traiettorie di incisione e suggeriscono le azioni per

¹⁶ Musacchio N., Guaita G., Ozzello A., et. al. (2018), "Intelligenza Artificiale e Big Data in ambito medico: prospettive, opportunità, criticità", in *JAMD*, Vol. 21-3, pp. 204-218.

¹⁷ Santoro E., Gatta R. (2023), *Intelligenza artificiale in medicina: quale è il suo impatto?* Istituto Mario Negri Magazine, testo disponibile al sito: <https://www.marionegri.it/magazine/intelligenza-artificiale-medicina>

ottimizzare l'efficacia dell'intervento chirurgico. Inoltre, l'IA analizza in tempo reale i dati intraoperatori, inclusi i segnali biologici, i parametri vitali del paziente e i feedback sensoriali dal robot, consentendo al chirurgo di monitorare l'intervento in tempo reale, e di adattare di conseguenza la strategia chirurgica in base alle condizioni del paziente riducendo così eventuali complicanze intraoperatorie. Un'ulteriore applicazione della chirurgia robotica è costituita dalla telechirurgia, che consente di eseguire interventi da remoto utilizzando robot chirurgici controllati a distanza. Questa tecnologia può essere particolarmente utile in aree geograficamente isolate o in situazioni di emergenza, consentendo l'intervento chirurgico di precisione anche dove non sono disponibili chirurghi esperti.

2.3. E-commerce

L'intelligenza artificiale sta rivoluzionando anche il mondo dell'e-commerce, offrendo nuovi strumenti per migliorare l'esperienza di acquisto da parte dei clienti e per ottimizzare le campagne di marketing da parte delle aziende¹⁸.

Utilizzando algoritmi di apprendimento automatico che studiano i comportamenti dei consumatori nel corso delle loro navigazioni online, si riesce ad avere una profilazione dei desideri dei clienti e ad offrire prodotti di loro interesse, aumentando di conseguenza le performance di vendita. L'IA ha segnato una svolta anche nel campo del servizio ai clienti offrendo alle aziende strumenti inediti, che personalizzano l'interazione con i consumatori, andando ben oltre la semplice gestione automatizzata delle richieste. Le chatbot sono sistemi di assistenza virtuale che accompagnano il cliente nell'esperienza di acquisto, fornendo risposte alle domande comuni, con un linguaggio naturale, difficilmente distinguibile da quello umano. La qualità dell'esperienza utente diventa il fulcro intorno al quale ruotano le attuali strategie di marketing. L'IA non solo sta trasformando il modo in cui le aziende interagiscono con i loro clienti, ma sta ridefinendo anche le

¹⁸ Bawack, R.E., Wamba, S.F., Carillo, K.D.A. *et al.* (2022), "Artificial intelligence in E-Commerce: a bibliometric study and literature review", in *Electron Markets* 32, pp. 297-338, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s12525-022-00537-z>

aspettative degli stessi consumatori, elevando lo standard verso un servizio clienti maggiormente attento e personalizzato. Ciò significa non solo aumentare la soddisfazione del cliente, ma sapere in anticipo ciò che i clienti cercano, perfino prima che lo esprimano, trasformando l'assistenza clienti da un semplice servizio di supporto a un potente strumento di engagement e fidelizzazione.

Il “prezzo dinamico” è l'altro elemento innovativo introdotto nel commercio elettronico grazie all'intelligenza artificiale: consiste nella pratica di regolare i prezzi dei prodotti in tempo reale in risposta alle fluttuazioni della domanda, dell'offerta e dei costi. Ad esempio, se la domanda di un certo prodotto aumenta improvvisamente, l'IA potrebbe suggerire di aumentarne il prezzo per massimizzare i profitti, mentre in caso di diminuzione della domanda potrebbe consigliare di ridurre il prezzo per stimolare le vendite. Un esempio classico di prezzo dinamico supportato dall'intelligenza artificiale si trova nel settore dei viaggi, in particolare nella vendita di biglietti aerei. Le compagnie aeree utilizzano sistemi sofisticati di prezzo dinamico per regolare i prezzi dei biglietti in base a una serie di fattori, al fine di massimizzare i profitti e ottimizzare la capacità dei voli. Se i dati indicano una forte domanda per un determinato volo, l'intelligenza artificiale potrebbe consigliare alla compagnia aerea di aumentare gradualmente il prezzo dei biglietti, adattandosi alla crescita della domanda e alla riduzione della disponibilità dei posti sull'aereo. Al contrario, se la domanda per il volo è più debole del previsto o se ci fossero molte disponibilità di posti sull'aereo, l'intelligenza artificiale potrebbe consigliare alla compagnia aerea di abbassare i prezzi dei biglietti per stimolare le vendite nel tentativo di riempire i posti vuoti sull'aereo.

In questi contesti complessi di e-commerce, è facile comprendere che l'adozione dell'IA non è da considerarsi come un valore aggiunto, ma diventa una vera e propria necessità per rimanere competitivi in un mercato sempre più esigente e complesso.

2.4. Formazione

L'intelligenza artificiale è entrata nel settore dell'istruzione e della

formazione offrendo una gamma di applicazioni che migliorano l'accessibilità, l'efficacia e la personalizzazione dell'apprendimento¹⁹.

Utilizzando algoritmi di apprendimento automatico, i sistemi di IA analizzano i dati sulle prestazioni degli studenti e forniscono raccomandazioni personalizzate su quali argomenti studiare, quali risorse utilizzare e quale approccio di apprendimento adottare.

Chatbot e sistemi di tutoraggio virtuale basati sull'IA offrono supporto agli studenti rispondendo a domande, fornendo spiegazioni personalizzate e valutando i progressi in tempo reale: il feedback diventa immediato, favorendo l'apprendimento autonomo. I materiali didattici e i percorsi di apprendimento possono essere adattati alle esigenze e alle abilità individuali degli studenti. La valutazione automatica dopo ogni modulo di insegnamento costituisce un metodo importante non solo per il docente che riesce a misurare *in progress* le prestazioni degli studenti, ma soprattutto per gli studenti che riescono a individuare immediatamente le aree di forza e di debolezza del loro apprendimento, con l'indicazione dei passaggi da ripetere per migliorare le prestazioni.

L'IA può anche mettere a disposizione dei processi di formazione il cosiddetto "apprendimento basato sull'esperienza" che consiste nel creare ambienti di apprendimento immersivi e interattivi, come realtà virtuale e aumentata. Gli studenti possono esplorare simulazioni realistiche, sperimentare concetti astratti e interagire con scenari virtuali, rendendo l'apprendimento più coinvolgente.

L'IA può inoltre offrire supporto agli studenti diversamente abili, utilizzando tecnologie di riconoscimento vocale, traduzione automatica, sottotitolazione e altre soluzioni che favoriscono un accesso equo e inclusivo all'istruzione.

2.5. Finanza

L'intelligenza artificiale sta offrendo un supporto importante nel campo della finanza, mediante la personalizzazione dei servizi finanziari e la prevenzione del rischio di frode. Potendo analizzare grandi

¹⁹ Sancassani S. (2023), "L'Intelligenza Artificiale tra nuovi obiettivi della formazione e nuovi paradigmi per l'apprendimento", in *For: rivista per la formazione*, 3/2023, pp.18-21

volumi di dati finanziari, compresi prezzi delle azioni, tassi di interesse, indicatori economici, attraverso l'IA è possibile fare una stima delle tendenze dei mercati finanziari consentendo agli investitori di avere tutte le informazioni necessarie per prendere decisioni consapevoli²⁰. Algoritmi di apprendimento automatico come i sistemi di “expert advisor” possono prendere decisioni di investimento in tempo reale, con un'efficienza e una rapidità superiori a quelle umane. L'analisi del rischio supportata dall'IA riesce a selezionare e bilanciare gli investimenti in modo da ottimizzare il portafoglio dei clienti, riducendo le percentuali di azzardo in base agli obiettivi finanziari individuali. L'IA può, inoltre, valutare il rischio di credito dei clienti utilizzando modelli predittivi basati su dati storici convenzionali e informazioni non tradizionali, come l'utilizzo dei social media e la cronologia degli acquisti on line, che permettono di creare profili personalizzati molto accurati per determinare la probabilità di insolvenza del cliente.

Anche la prevenzione da attività potenzialmente dolose può essere supportata dall'IA attraverso il rilevamento automatico delle anomalie. Analizzando transazioni e comportamenti con modelli di machine learning, è possibile identificare gli schemi fraudolenti con un'accuratezza superiore a quella dei sistemi tradizionali. Questo permette di identificare le transazioni sospette e proteggere i dati sensibili dei clienti.

2.6. Intrattenimento

L'intelligenza artificiale è entrata prepotentemente nel mondo dell'intrattenimento, offrendo una vasta gamma di soluzioni per migliorare la produzione, la distribuzione e l'esperienza degli utenti in una varietà di forme che vanno dai film, alle serie televisive, ai videogiochi, alla musica e altro ancora. D'altronde l'evoluzione tecnologica ha accompagnato l'industria dell'intrattenimento fin dai suoi albori, con effetti speciali che ne hanno ampliato gli orizzonti creativi. Negli

²⁰ Goodell J.W., Kumar S., Lim W.M., Pattnaik D. (2021), “Artificial intelligence and machine learning in finance: identifying foundations, themes, and research clusters from bibliometric analysis”, in *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, Vol. 32, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100577>

anni settanta le prime produzioni cinematografiche interamente digitali realizzate con la computer graphic, oggi l'introduzione dell'IA non solo in fase di post-produzione, ma anche nella fase di preproduzione, per valutare attraverso le reti neurali il potenziale successo dello storyboard, delle location, del casting, ecc.

Ma il contributo dell'IA non si ferma qui ed invade anche il campo della creazione dei contenuti, come dimostra il cortometraggio *Sunspring*²¹, la cui sceneggiatura è stata interamente scritta da un software addestrato con decine di pellicole e serie fantascientifiche.

Dopo la produzione, la distribuzione dei prodotti, con un mercato sempre più orientato verso le piattaforme streaming che utilizzano l'IA per suggerire contenuti personalizzati agli utenti, basandosi sulle loro preferenze di visualizzazione e sui comportamenti passati. L'IA è poi ampiamente utilizzata nell'industria dei videogiochi per ottimizzare la grafica e il rendering, e creare esperienze di gioco coinvolgenti che trasportano l'utente in ambienti virtuali completamente nuovi. La realtà virtuale e la realtà aumentata offrono la possibilità di vivere avventure immersive, iperrealistiche, interagendo con personaggi digitali come se fossero reali.

2.7. Smart home

Già da tempo l'intelligenza artificiale è entrata nel campo della domotica, dando luogo al concetto di "casa intelligente"²². L'implementazione di sistemi smart all'interno delle mura domestiche offre un ventaglio di possibilità che spaziano dal miglioramento del comfort e della sicurezza, all'ottimizzazione del consumo energetico, alla personalizzazione degli spazi abitativi. Al centro di questa innovazione troviamo gli assistenti virtuali, come Amazon Alexa, Google Assistant e Apple Siri, che integrano l'IA per comprendere il linguaggio umano e rispondere a specifiche richieste degli utenti. Tramite semplici coman-

²¹ *Sunsprin* (2016), cortometraggio di fantascienza con Thomas Middleditch, Humphrey Ker, Elisabeth Gray, diretto da Oscar Sharp, Los Angeles, video scaricabile al sito: <https://youtu.be/LY7x2lhqjmc>

²² Sepasgozar S., Karimi R., Farahzadi L., et. al. (2020), "A Systematic Content Review of Artificial Intelligence and the Internet of Things Applications in Smart Home", in *Applied Sciences*, vol. 10-9, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/app10093074>

di vocali è possibile controllare l'illuminazione della casa, la temperatura, gli elettrodomestici e le serrature, automatizzare scenari complessi e ricevere informazioni personalizzate.

L'IA non si limita a eseguire comandi, ma apprende dalle abitudini degli utenti per anticipare le loro esigenze. Termostati intelligenti che regolano la temperatura in base alla presenza o all'assenza di persone, frigoriferi che ordinano automaticamente la spesa quando scarseggiano le scorte e robot aspirapolvere che mappano l'ambiente adattandosi agli ostacoli, sono solo alcuni esempi di come l'apprendimento automatico può rendere i dispositivi domestici più efficienti.

L'IA gioca un ruolo importante anche nel rafforzare la sicurezza della casa. Sistemi di videosorveglianza intelligenti dotati di riconoscimento facciale possono identificare intrusioni e allertare gli abitanti in tempo reale. Sensori intelligenti possono monitorare la casa per fughe di gas, allagamenti, principi di incendio o altri pericoli, inviando notifiche immediate in caso di anomalie.

L'IA può inoltre creare ambienti domestici su misura per le esigenze degli abitanti: luci che si adattano al bioritmo delle persone, musica che si avvia automaticamente in base alle presenze e diffusori di aromi che creano un'atmosfera rilassante, sono solo alcuni esempi.

2.8. Agricoltura di precisione

L'agricoltura di precisione è un approccio che utilizza l'intelligenza artificiale e le tecnologie avanzate di rilevamento dei dati per ottimizzare la qualità e la produttività delle colture. Il termine "precisione" si riferisce alla possibilità di poter intervenire con interventi mirati, sia nei tempi che nei punti precisi del terreno²³. Strumenti di controllo come droni, sensori, satelliti, permettono di tenere le colture sotto costante osservazione.

I satelliti sono in grado di rilevare le emissioni elettromagnetiche delle piante, producendo una sorta di radiografia del campo, che fornisce informazioni puntuali su aspetti come lo sviluppo vegetativo,

²³ Karunathilake E., Le A.T., Heo S., Chung Y.S., Mansoor S. (2023), "The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture", in *Agriculture*, vol. 13, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>

l'umidità e la temperatura del suolo. Tra i dati più significativi rilevati dai satelliti vi è l'indice NDVI che rileva lo stato di salute delle colture attraverso la misurazione della loro attività di fotosintesi clorofilliana, oppure l'indice NDMI, che grazie alla rilevazione del tasso di umidità del terreno permette di individuare lo stress idrico delle colture.

Anche i droni sono utilizzati per la mappatura dei terreni agricoli: i più evoluti sono in grado di utilizzare sensori a raggi infrarossi, analoghi a quelli utilizzati per i satelliti, capaci di individuare criticità non rilevabili a occhio nudo.

Altri strumenti utilizzati per acquisire dati sul campo sono i sensori ambientali collocati a terra, capaci di registrare dati meteo climatici e informazioni relative al fabbisogno idrico del suolo. Rispetto al monitoraggio con satelliti e droni, i sensori hanno il vantaggio di poter essere utilizzati anche in spazi chiusi come serre e vivai.

Grazie ai dati raccolti da satelliti, droni e sensori è possibile generare delle mappe interattive che fotografano lo stato di salute del campo ed evidenziano le anomalie tra le singole zone, consentendo interventi mirati come, ad esempio, una distribuzione differenziata di concime e sostanze fitosanitarie a seconda delle necessità delle colture. Le criticità evidenziate dai sistemi di rilevazione possono essere di varia natura: carenze nutrizionali, problemi di irrigazione, attacchi parassitari localizzati, danni dovuti a grandine o gelate.

La raccolta dei dati è dunque il punto di partenza dell'agricoltura di precisione; il passo successivo sono gli interventi sul campo. I sistemi di guida satellitare assistita per i trattori sono una delle tecnologie più utilizzate nell'agricoltura di precisione. Grazie a un ricevitore satellitare è possibile geolocalizzare i macchinari agricoli all'interno dei campi evitando sovrapposizioni o salti tra i passaggi consecutivi. Gli strumenti per la diagnostica e la gestione della flotta da remoto (fleet management) grazie all'IA permettono di monitorare dall'ufficio una grande quantità di informazioni come la mappatura delle aree trattate, i consumi, la velocità di lavorazione, fornendo indicazioni sulle prossime lavorazioni.

Altri aspetti interessanti resi possibili dall'IA sono il check-up in tempo reale sullo stato di manutenzione del parco macchine, grazie alle funzioni di telediagnostica, e l'ottimizzazione della catena degli approvvigionamenti che, soprattutto in presenza di aziende agricole di

grossa dimensione, costituisce uno dei punti critici del ciclo produttivo.

2.9. Possibili sviluppi

Se quelle che abbiamo appena descritto, pur rappresentando evidentemente le punte più avanzate dell'innovazione tecnologica, sono applicazioni dell'intelligenza artificiale già oggi utilizzate nei diversi settori, quello che ci può riservare il futuro è tutto da scoprire. Il potenziale evolutivo dell'IA è ancora in gran parte inespresso e può aprire scenari di grande interesse, ma anche di grande complessità. Molti ricercatori sono impegnati nello sviluppo di un'Intelligenza Artificiale Generale (AGI), anche conosciuta come "IA forte", ossia un sistema che dovrebbe essere in grado di replicare le capacità cognitive umane in toto, a differenza dell'"IA debole" che si limita ad eseguire specifici compiti di *problem solving*. Lo sviluppo di robot sempre più sofisticati e autonomi apre nuovi orizzonti per l'interazione uomo-macchina. Robot collaborativi in grado di affiancare gli esseri umani sul lavoro, "esoscheletri" che amplificano le nostre capacità fisiche e interfacce neurali che permettono di controllare le macchine con il pensiero, sono solo alcuni esempi di come la robotica avanzata potrebbe trasformare il nostro modo di vivere e di lavorare.

Alcune visioni futuristiche ipotizzano un domani in cui l'uomo e la macchina si integreranno sempre più, dando vita a esseri "ibridi" con capacità superiori: l'intelligenza artificiale potrebbe potenziare le nostre capacità cognitive e fisiche, mentre la tecnologia potrebbe integrarsi con il nostro corpo. Molti film di fantascienza, da *Avatar* (J. Cameron, 2009 e 2022) a *Edge of Tomorrow* (D. Liman, 2014), avevano già da tempo anticipato questi scenari. Inevitabile il sorgere di dubbi e preoccupazioni innanzitutto di natura etica. Quali sono i rischi sociali su larga scala che potrebbero essere generati dall'IA?²⁴ Come fare in modo che lo sviluppo dell'IA sia orientato al servizio dell'umanità e non diventi una minaccia per la nostra esistenza? Come

²⁴ Innocenzi P.M. (2023), "Una Mappa dei rischi sociali, ecco i pericoli che corriamo", in *Agenda Digitale*, testo disponibile al sito: <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/ia-una-mappa-dei-rischi-sociali-ecco-i-pericoli-che-corriamo/>

evitare il rischio che l'IA possa aumentare le diseguaglianze sociali? Come limitare i rischi della disinformazione generata da un uso improprio o addirittura fraudolento dall'IA? Come considerare l'amplificazione dei pregiudizi e le possibili discriminazioni che potrebbe derivare dai dati utilizzati per addestrare l'IA?

A queste ed altre domande cercheremo di dare risposta nei prossimi capitoli del libro.

FrancoAngeli

2. Città e rischio climatico

In questo secondo capitolo focalizziamo la nostra attenzione sull'altra sfida globale del XXI secolo: la concentrazione della popolazione mondiale nelle città e il rischio climatico cui sono esposte. Le città determinano una straordinaria attrazione per gli abitanti del nostro pianeta, che dalle aree rurali più o meno remote, si stanno concentrando nei grandi agglomerati urbani in cerca di condizioni di vita migliori. Ciò oltre ad aumentare le cause dello squilibrio climatico, amplifica la vulnerabilità degli insediamenti urbani rispetto agli effetti estremi dei cambiamenti climatici. La comprensione del fenomeno diventa essenziale per poter mettere in pratica azioni risolutive, che possono trovare nell'intelligenza artificiale un supporto importante. Certo, è illusorio pensare che la sola tecnologia ci consenta di superare la crisi climatica globale. È necessario essere pronti a cambiare le nostre abitudini quotidiane individuali e collettive, e in questo l'Organizzazione delle Nazioni Unite e l'Europa ci hanno già indicato in modo chiaro la strada da seguire: Agenda 2030 ONU e Green Deal UE.

1. Inurbamento globale

1.1. Analisi demografica del fenomeno

L'inurbamento globale si presenta come una trasformazione epocale della distribuzione demografica planetaria, plasmando il nostro ambiente e le dinamiche sociali in modo profondo. Analizziamo alcuni dati demografici per capire il fenomeno.

Secondo le proiezioni più recenti delle Nazioni Unite (World Population Prospects 2022), la popolazione mondiale oggi ha raggiunto gli 8 Miliardi di individui e si stima che possa arrivare a 8,5 miliardi nel 2030, salire a 10 miliardi intorno al 2050 per poi raggiungere il picco di quasi 11 miliardi entro la fine del secolo¹. Metà dell'aumento della popolazione globale tra oggi e il 2050 sarà dovuto a nove Paesi: India, Nigeria, Pakistan, Repubblica Democratica del Congo, Etiopia, Tanzania, Indonesia, Egitto e Usa (in ordine decrescente di aumento).

A fronte del probabile raddoppio della popolazione dell'Africa subsahariana, la popolazione europea diminuirà. Le previsioni di Eurostat indicano che l'Unione Europea potrebbe vedere la sua popolazione ridursi del 6%, ovvero 27,3 milioni di persone, entro la fine del secolo. La piramide demografica europea stimata al 2100 ci restituisce l'immagine di una società in contrazione e sempre più anziana: gli ultrasessantacinquenni rappresenteranno il 32% della popolazione, rispetto al 21% del 2022; ci saranno più persone di età superiore agli 80 anni che persone di età inferiore ai 20 anni.

Nel frattempo, il fenomeno delle migrazioni internazionali sta assumendo una fisionomia sempre più marcata. Mentre negli ultimi due decenni del secolo scorso è rimasto stabile intorno al 3% della popolazione mondiale, a partire dagli anni duemila il suo valore assoluto è sensibilmente aumentato. Circa 258 milioni di persone hanno lasciato i loro Paesi di nascita e ora vivono in altre nazioni con un aumento del 49% rispetto al 2000, quando erano 173 milioni, e del 18% rispetto al 2010, quando se ne contavano 220 milioni². Dai dati emerge che oltre il 60 per cento di tutti i migranti internazionali vive in Asia (80 milioni) ed Europa (78 milioni). Nel Nord America se ne contano 58 milioni, in Africa 25. Significativo come due terzi di questi emigranti viva in appena venti Paesi: il numero più elevato (50 milioni) si trova negli Usa, poi Arabia Saudita, Germania e Russia ne ospitano ciascuno attorno ai 12 milioni. Segue la Gran Bretagna con 9 milioni. L'Italia è all'undicesimo posto (dietro anche a Emirati Arabi, Francia, Canada, Spagna) con 5,9 milioni di migranti che vivono stabilmente sul

¹ World Urbanization Prospects (2022), dati disponibili al sito: <https://population.un.org/wpp/>

² World Migration Report (2022), dati disponibili al sito: <https://publications.iom.int/books/world-migration-report-2022>

territorio nazionale. Erano 2,1 milioni nel 2000. È interessante rilevare che nonostante il calo demografico previsto per l'UE entro il 2100, di cui si è detto, alcuni Stati membri vedranno crescere la loro popolazione, grazie alla migrazione. Si tratta di Belgio, Repubblica Ceca, Danimarca, Irlanda, Francia, Cipro, Lussemburgo, Malta, Paesi Bassi, Austria, Svezia e Islanda.

I movimenti migratori internazionali sono influenzati da una vasta gamma di fattori complessi, interconnessi tra loro. Le cause dei flussi migratori possono variare in ragione dei singoli individui e delle diverse aree geografiche, ma ci sono alcune motivazioni che accomunano tutti coloro che sono spinti a lasciare la propria terra di origine in cerca di un futuro migliore³. Innanzitutto, il fattore economico: le persone si spostano in cerca di opportunità economiche migliori, specialmente se la loro regione di provenienza offre poche prospettive di occupazione o se esiste una significativa disuguaglianza economica e sociale. Se poi si vive in una situazione di povertà estrema è più forte la spinta a cercare una vita migliore in un altro Paese dove si spera di trovare condizioni più favorevoli. Anche i conflitti sociali, la mancanza di stabilità politica e di sicurezza pubblica o la presenza di regimi oppressivi possono determinare la volontà di cercare rifugio altrove. La violenza e i conflitti armati, purtroppo presenti in diverse zone del mondo, possono spingere intere popolazioni a cercare protezione in altri Paesi. I fattori ambientali, magari aggravati dai cambiamenti climatici e dagli eventi estremi conseguenti, come alluvioni, siccità o uragani, possono rendere alcune aree del mondo difficili da abitare, spingendo le persone a cercare ambienti più sicuri e ospitali. Anche il degrado ambientale, la desertificazione e altre sfide ambientali possono minare la sostenibilità delle comunità autoctone, inducendo gli abitanti a cercare nuovi luoghi in cui vivere. Gli spostamenti per le riunificazioni familiari sono spesso la molla che contribuisce a favorire le migrazioni di coloro che desiderano ricongiungersi con i membri della famiglia già stabiliti in un altro Paese. Vi sono poi motivi di ordine ideologico, come le persecuzioni religiose o etniche, che possono costringere le persone a cercare rifugio in luoghi dove sperano di vivere in un contesto più tollerante. Anche la globalizzazione e

³ Hanlon B., Vicino T. (2014), *Global Migrations: The Basics*, Routledge, London.

l'accesso alle informazioni, ad esempio attraverso internet e i media, possono determinare il desiderio di migrare per coloro che hanno maturato la consapevolezza delle opportunità disponibili in altri Paesi.

Le cause, come abbiamo visto, possono essere molteplici, non agiscono mai singolarmente e le dinamiche migratorie possono variare temporaneamente anche in ragione delle politiche protezionistiche dei Paesi di destinazione e delle condizioni economiche globali. Di certo nel corso della storia, l'umanità ha sempre sperimentato movimenti di popolazione anche consistenti, ma oggi assistiamo a una nuova fase in cui la migrazione emerge come un fenomeno globale ineluttabile, che mette in evidenza la complessità e l'interconnessione della società contemporanea. Ignorare le ragioni di questa realtà e adottare in modo semplicistico politiche restrittive o addirittura isolazioniste, non rappresenta una soluzione efficace, soprattutto se misurata nel lungo periodo. I dati demografici che abbiamo analizzato ci fanno capire che pensare di contrastare i futuri flussi migratori attraverso politiche di respingimento, significa non aver compreso l'entità del fenomeno e la gravità delle ragioni che lo determinano. Il processo non è contrastabile attraverso la chiusura delle frontiere: è come voler fermare un fiume in piena innalzando argini di cartone.

L'apertura a una prospettiva globale e la promozione della cooperazione internazionale sono le chiavi per affrontare con successo la sfida migratoria e sfruttare al meglio i potenziali vantaggi della migrazione. I migranti possono portare contributi significativi alle economie dei Paesi di accoglienza, soprattutto quelli interessati da calo demografico, stimolandone la crescita economica attraverso il lavoro e l'imprenditorialità. La diversità culturale portata dai migranti è certamente un arricchimento per le società ospitanti, contribuendo a un tessuto sociale più vibrante e dinamico⁴. Insomma, è necessario prendere coscienza che, al di là dei convincimenti politici, il fenomeno globale della migrazione internazionale nel lungo periodo non può essere contrastato, e quindi deve essere gestito. Con tutte le sue potenzialità e le sue inevitabili problematiche.

⁴ Goldin I., Cameron G., Balarajan M. (2011), *Exceptional People: how Migration Shaped Our World and Will Define Our Future*, Princeton University Press, Princeton.

1.2. Richiamo delle città

Abbiamo quindi compreso che la concentrazione di persone nelle città è alimentata da una molteplicità di fattori, tra cui le opportunità di lavoro, l'accesso a servizi avanzati e i legami sociali. Questa tendenza è particolarmente evidente nelle Regioni in via di sviluppo, dove la migrazione rurale-urbana gioca un ruolo significativo nell'accelerazione del fenomeno. Fino al 2009 vivevano più persone nelle aree rurali che in quelle urbane, ma oggi circa il 55% della popolazione mondiale vive in centri urbani, città o metropoli, con un livello di inurbamento che si prevede possa raggiungere quasi il 70% entro il 2050⁵: ossia due abitanti su tre. Gran parte di queste previsioni di crescita della popolazione urbana coinvolgono l'Africa e l'Asia, specialmente Cina, India e Nigeria dove i tassi di fertilità sono molto alti. Fattori come l'aumento dell'aspettativa di vita e i cambiamenti nei modelli familiari contribuiscono ulteriormente a questa spinta verso le aree urbane. Le città diventano centri non solo di produzione economica, ma anche di cultura, innovazione e progresso.

Ad oggi, le città occupano meno del 2% del territorio mondiale, ma producono l'80% del Prodotto Interno Lordo (PIL) globale e oltre il 70% delle emissioni di gas serra. Il dato parla chiaro. Le città mondiali saranno in grado negli anni futuri di resistere all'impatto di questo fenomeno continuando a soddisfare le necessità primarie in termini di approvvigionamento di cibo e acqua, servizi di base e stock abitativo? Questa è di sicuro una delle grandi sfide del futuro per il nostro pianeta. Certo è che già oggi l'inurbamento globale ha portato a vivere 1,5 miliardi di persone in situazioni abitative informali che prendono nomi diversi a secondo del luogo dove sorgono: favelas in Brasile, bidonville nell'Africa francofona, slums in molti paesi africani e asiatici. Nonostante la diversità culturale, geografica ed economica, ci sono alcune caratteristiche che accomunano questo tipo di insediamenti: la precarietà abitativa, innanzitutto. Gli alloggi sono costruiti in modo improvvisato, utilizzando materiali di scarto e senza rispettare regole edilizie, né tantomeno normative urbanistiche. Vi è spesso carenza di servizi essenziali come l'accesso all'acqua potabile o i servizi igienici.

⁵ Shlomo A. (2012), *Planet of cities*, Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge Massachusetts.

Anche le opere di urbanizzazione primaria sono spesso assenti o casuali: strade, reti elettriche, sistemi fognari, ecc.

Nella loro condizione comune di insediamento informale, gli slums o le favelas possono essere molto diversi gli uni dagli altri. Rocinha, la più grande tra le favelas di Rio de Janeiro con i suoi 70.000 abitanti (dati ufficiali del censimento 2010, in realtà probabilmente più del doppio) è una favela particolare, gli edifici si presentano generalmente con struttura in c.a. e tamponature in laterizio, spesso intonacato. Al suo interno una vivace rete commerciale e di servizi precari la rende un luogo di grande interesse sociale, nonostante l'imperversare della criminalità organizzata e la grave carenza di diritti primari come la salute e l'istruzione.

Del tutto diversi sono slums come Kibera a Nairobi (Kenya) o Cité Soleil a Port au Prince (Haiti). Nella capitale haitiana il susseguirsi di uragani tropicali e il terremoto del 2010 hanno causato la morte di un numero imprecisato di persone (si stimano almeno 200mila) rendendo le condizioni di vita, se possibile, ancora più estreme: baracche auto-costruite con materiali di scarto, continue emergenze sanitarie acute dalla mancanza di servizi organizzati per la rimozione della spazzatura, ecc. L'assenza di prospettive future e di lavoro offre un terreno fertile per la proliferazione di attività illegali incrementando il potere delle gang locali.

A parte questi esempi noti di insediamenti informali, la maggior parte delle grandi metropoli africane, sudamericane e asiatiche, in ragione del fenomeno dell'inurbamento che abbiamo descritto, si stanno trasformando in megalopoli globali, dilatando i propri confini in modo convulso, fuori controllo, come se fossero affette da metastasi urbane⁶.

1.3. Effetti sull'ambiente e sulle risorse

Senza arrivare ai fenomeni estremi che caratterizzano gli slums, non c'è dubbio che la pressione demografica cui sono sempre più sottoposte le città sia destinata, in assenza di adeguate azioni di contrasto, a determinare effetti negativi sull'ambiente e sull'utilizzo delle risorse

⁶ Paone S., Petrillo A., Chiodelli F. (2017), *Governare l'ingovernabile. Politiche degli slum nel XXI secolo*, Edizioni ETS, Pisa.

naturali⁷. I fenomeni di inquinamento potrebbero essere resi più evidenti a causa dell'aumento delle attività industriali e del traffico veicolare. Il fabbisogno idrico potrebbe crescere mettendo a dura prova le capacità dei sistemi di approvvigionamento. L'ampliamento delle aree urbane, se non governato, potrebbe portare alla frammentazione degli ecosistemi minacciando la resilienza degli habitat naturali e la conservazione della diversità biologica. Se non si dovesse adottare un sistema circolare, la gestione del ciclo dei rifiuti potrebbe diventare un problema cruciale, sollevando implicazioni ambientali gravi, come l'accumulo di rifiuti solidi, il rilascio di sostanze inquinanti, la compromissione della qualità del suolo. D'altronde anche la crescente richiesta di energia, acqua e materiali da costruzione potrebbe esercitare una pressione critica sugli habitat con il rischio di provocare danni irreparabili al paesaggio e agli ecosistemi, mettendo in evidenza la necessità di adottare pratiche più sostenibili.

Tutto ciò potrebbe contribuire in modo significativo alle emissioni di gas serra, amplificando ulteriormente le cause dei mutamenti climatici globali. È evidente, quindi, come la pressione demografica sulle città possa alterare le proprietà degli ecosistemi su scala locale e globale. Affrontare queste sfide richiede un approccio integrato e innovativo, fondato su solide conoscenze scientifiche, per garantire armonia tra le attività umane e i delicati equilibri ambientali del nostro pianeta. E in questa partita un ruolo decisivo potrebbero giocarlo le innovazioni tecnologiche ed in particolare l'intelligenza artificiale.

2. Comprendere la minaccia climatica

2.1. Negazionismo climatico

Prima di entrare nel merito di quelli che potrebbero essere gli impatti del "global warming" sulle città del futuro, è importante mettere in luce che, se è vero che la posizione prevalente della comunità scientifica è di riconoscere la connessione tra cambiamenti climatici e

⁷ Grimm N. B., Foster D., Groffman P. (2008), "The changing landscape: Ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients" in *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 6, pp. 264-272.

attività umane, esiste tuttavia una minoranza di scienziati “scettici” se non addirittura “negazionisti” rispetto a questa tesi.

La prima posizione è supportata dalla maggioranza degli scienziati e da un volume decisamente ricco di ricerche scientifiche che sostengono che le emissioni di gas serra, derivanti dall'uso di combustibili fossili e da processi industriali, siano la causa principale dei cambiamenti climatici.

La seconda posizione è invece supportata da un numero decisamente inferiore di scienziati e pubblicazioni che contestano per varie ragioni l'entità dell'impatto dell'uomo sul clima. Le argomentazioni degli scienziati “scettici” sono varie, tuttavia, il filo conduttore che le unisce è che il riscaldamento globale sia un fenomeno del tutto naturale legato ai cicli climatici della Terra, considerando che la storia geologica del nostro pianeta è sempre stata caratterizzata da variazioni climatiche anche molto importanti, come quelle avvenute nel Pleistocene circa 2 milioni di anni fa, senza che ci sia stata alcuna interferenza umana. Nello specifico alcuni, pur non negando in linea di principio il fenomeno del riscaldamento globale, rimarcano il ruolo di fattori naturali, come la variazione dell'attività solare e l'effetto dei raggi cosmici o le variazioni nei parametri orbitali della Terra che influenzano la quantità e la distribuzione della luce solare che raggiunge il nostro pianeta. Altri ammettono che l'attuale crisi climatica possa dipendere anche dalle azioni umane, ma ritengono che ci siano ancora troppi elementi di incertezza sui modelli previsionali utilizzati. Altri ancora sostengono che il problema del surriscaldamento globale sia sovrastimato, e che i timori legati ad esso siano eccessivi⁸.

Quando la discussione si sposta dalla comunità scientifica alla società civile e al dibattito politico, le ragioni dei negazionisti si inquinatori di opinioni personali che potrebbero anche essere influenzate da motivazioni economiche o convincimenti politici derivanti da preoccupazioni riguardo a presunti impatti negativi sull'economia, sulle libertà individuali o addirittura sulla sovranità nazionale⁹. Ad esempio, le industrie, le nazioni e le lobby legate all'estrazione e all'utilizzo dei

⁸ Morano M. (2018), *The Politically Incorrect Guide to Climate Change*, Regnery Publishing, NY.

⁹ Bastardi J. (2018), *The Climate Chronicles: Inconvenient revelations you won't hear from Al Gore and others*, WND Books, South Carolina.

combustibili fossili potrebbero essere interessate a sostenere tesi negazioniste per salvaguardare i loro interessi economici, cercando di rallentare o addirittura impedire l'adozione di leggi ambientali più rigorose.

Al di là delle posizioni negazioniste e indipendentemente dalle opinioni personali su quanto sia grave il fenomeno dei cambiamenti climatici, quantomeno all'interno della comunità scientifica c'è comunque una sostanziale convergenza sull'utilità di adottare misure di salvaguardia dell'ambiente¹⁰. Preservare e gestire in modo sostenibile le risorse naturali è essenziale per garantire la loro disponibilità per le generazioni future. Molti sono i motivi a supporto di questa tesi, a cominciare dal più importante, la salute pubblica: rispettare l'ambiente significa ridurre l'inquinamento atmosferico e dell'acqua, il che ha un impatto positivo sulla salute umana. Preservare gli ecosistemi naturali contribuisce a proteggere la varietà di specie viventi, preservando la biodiversità, condizione necessaria per assicurare la sopravvivenza di molte specie animali e vegetali. L'adozione di pratiche più sostenibili nel sistema di raccolta e trattamento dei rifiuti contribuisce a limitare il problema dello smaltimento che sta diventando di difficile soluzione per molte città nel mondo. Ridurre il consumo di energia attraverso l'efficienza energetica contribuisce non solo a ridurre l'impatto ambientale, ma anche a risparmiare risorse individuali e collettive. Investire in tecnologie e pratiche sostenibili stimola l'innovazione e può portare ad una transizione economica generatrice di nuovi posti di lavoro e di nuove professioni, che si sostituiscono alle vecchie riducendo la dipendenza dalle risorse non rinnovabili.

In altre parole, anche se si può dissentire sulle cause dei cambiamenti climatici, è difficile negare che fenomeni estremi, come eventi climatici più intensi o aumento del livello del mare, possano avere impatti significativi sulle comunità locali. Adottare misure di adattamento può ridurre il rischio di danni e migliorare la resilienza dei territori. Inoltre, indipendentemente dalle posizioni, scientifiche o meno, sui cambiamenti climatici, è innegabile che la salvaguardia dell'ambiente e il rispetto degli habitat naturali siano condizioni essenziali per migliorare la qualità della vita delle generazioni presenti e future.

¹⁰ Caserini S. (2016), "Riscaldamento globale e negazionismo", in *Scienza & Società*, vol. 25/26, pp. 47-59.

2.2. *Impatti attuali e previsti*

Il cambiamento climatico è già oggi una realtà tangibile, con impatti che si riflettono sugli ecosistemi, sulle comunità e sulle economie mondiali¹¹. L'incremento delle temperature globali è alla base di fenomeni meteorologici estremi, uragani, ondate di calore e piogge torrenziali, che stanno determinando conseguenze notevoli in molte parti del mondo. In primo luogo, la perdita di biodiversità che è la linfa vitale degli ecosistemi, dato che contribuisce a mantenere gli equilibri ecologici e a garantire la stabilità delle catene alimentari.

Con il cambiamento climatico, si assiste a un aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi estremi, che provocano stress ambientale e compromettono la capacità delle specie di adattarsi rapidamente alle nuove condizioni, portando ad un aumento del rischio di estinzione. Inoltre, il cambiamento climatico può alterare i cicli stagionali e i modelli di comportamento delle specie animali e vegetali, sconvolgendo i delicati equilibri naturali. La migrazione di uccelli, la fioritura delle piante e la stagione di accoppiamento degli animali possono essere disallineati, con conseguenze potenzialmente gravi sulla loro capacità di riprodursi.

Dal punto di vista degli impatti sull'uomo, la perdita di biodiversità ha implicazioni dirette su molte comunità locali che dipendono dalla pesca, dall'agricoltura o dalla raccolta di risorse naturali per il loro sostentamento. La conservazione della diversità biologica, quindi, non è solo una questione estetica o etica, ma una necessità vitale per garantire la resilienza degli ecosistemi e il benessere di molte comunità.

Un altro impatto evidente dei cambiamenti climatici globali è la desertificazione di territori sempre più ampi. Questo fenomeno è strettamente legato all'incremento della temperatura globale, alle variazioni nei modelli di precipitazione e alla pressione antropica sul suolo. In molte regioni del mondo, la desertificazione si manifesta con la trasformazione progressiva di terre precedentemente fertili in aree aride e prive di vegetazione. Le conseguenze di questo processo sono molteplici e vanno ben oltre la perdita di suolo coltivabile. La desertificazione, infatti, sta mettendo a rischio le produzioni alimentari di ampie

¹¹ IPCC (2022), *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Report scaricabile al sito: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

fasce territoriali, come l'Africa subsahariana, il Medio Oriente (Iraq, Iran e alcuni stati del Golfo Persico), l'Asia centrale (Mar Caspio, l'Aral Sea e parti del Turkmenistan), portando carestie, emigrazioni di massa e instabilità sociale.

Lo scioglimento accelerato dei ghiacci polari e dei ghiacciai dovuto ai cambiamenti climatici è un altro fenomeno con impatti rilevanti a scala globale. Il fenomeno è particolarmente evidente in Groenlandia, in Antartide e nell'Artico, ma anche nelle catene montuose europee e asiatiche (Alpi, Himalaya, Hindu Kush). Intere comunità costiere sono minacciate dall'innalzamento del livello del mare e dalle conseguenze dell'erosione marina, tra queste ci sono importanti metropoli occidentali e asiatiche densamente popolate, città d'arte conosciute in tutto il mondo, e arcipelaghi da sogno, meta del turismo internazionale. Al di là delle conseguenze dirette sull'innalzamento del livello del mare e sul rischio esondazioni dei fiumi, lo scioglimento dei ghiacci ha impatti alla scala globale anche sui modelli climatici, dato che contribuisce a modificare i flussi atmosferici e gli schemi meteorologici, e sui sistemi infrastrutturali, in quanto l'instabilità delle montagne fa aumentare il rischio di frane con potenziali effetti disastrosi sulle comunità locali.

L'acidificazione degli oceani, altro fenomeno causato dal riscaldamento globale, può portare impatti irreversibili sugli ecosistemi marini. Molti organismi, in particolare quelli che formano gusci o scheletri di carbonato di calcio, come coralli, molluschi e alcune specie di plancton, sono sensibili all'acidificazione e potrebbero vedere compromessa la loro capacità di costruire le strutture calcaree. Ciò inciderebbe sulla catena alimentare marina: se queste specie di base venissero alterate, l'impatto si propagherebbe a organismi più grandi, compresi quelli presenti nell'alimentazione umana, determinando un effetto domino sul settore della pesca e delle risorse marine. In questo scenario di impatti negativi estesi a livello mondiale, sono le comunità più vulnerabili a subirne gli effetti in modo accentuato.

Territori già oggi considerati particolarmente a rischio sono ad es. le isole e gli arcipelaghi oceanici, come Tuvalu, Kiribati e le Maldive, che data la loro configurazione morfologica rischiano, letteralmente, di andare sott'acqua. Anche la bassa elevazione del delta del Gange-Brahmaputra lo rende estremamente vulnerabile all'innalzamento del

livello del mare e alle inondazioni. Molte regioni dell'Africa Subsahariana sono a rischio a causa delle siccità prolungate che determinano processi di desertificazione. Lo scioglimento dei ghiacciai nell'Himalaya può influenzare la disponibilità di acqua in molte regioni dell'Asia, comprese le pianure del Gange. La regione artica è una delle aree che si sta riscaldando più rapidamente, con impatti significativi sulla copertura di ghiaccio marino, sulla fauna e sulle comunità indigene. La foresta pluviale amazzonica è fortemente minacciata dalla deforestazione, dagli incendi e dalla perdita di biodiversità e ciò determina un disequilibrio sulla regolazione del clima a livello mondiale. Grandi città e regioni costiere, come Lagos, Mumbai, Bangkok, sono a rischio di inondazioni costiere a causa dell'innalzamento del livello del mare, della subsidenza del terreno su cui sono state costruite e dell'urbanizzazione sfrenata. L'Indonesia sta addirittura progettando il trasferimento della sua capitale, Jakarta, in un sito più sicuro sotto il profilo geotecnico e del rischio inondazioni.

E poi ci sono casi emblematici come Venezia e la sua laguna, in cui gli impatti dovuti al riscaldamento globale (innalzamento del livello del mare, erosione costiera) si sommano alle sue condizioni topografiche e morfologiche molto particolari: l'ambiente lagunare, gli edifici storici costruiti su pali di legno infissi nel terreno paludoso, l'abbassamento del suolo.

Insomma, scenari preoccupanti che certamente devono far riflettere¹².

2.3. Vulnerabilità delle città

Abbiamo visto come il fenomeno dell'inurbamento sia destinato a crescere nei prossimi decenni e come ciò contribuisca inevitabilmente ad aumentare la vulnerabilità delle città. I centri urbani già oggi sono luoghi particolarmente fragili rispetto agli impatti del cambiamento climatico in ragione di una serie di fattori interconnessi tra loro che ne

¹² Giorgi F. (2022), *L'Uomo e la Farfalla: sei domande su cui riflettere per comprendere i cambiamenti climatici*, FrancoAngeli, Milano.

amplificano gli impatti, ad esempio la concentrazione di popolazione, attività e infrastrutture¹³.

Al di là del modello urbano adottato, da quelli prevalentemente estensivi (come le città giardino di matrice anglosassone) a quelli maggiormente intensivi (come le downtown verticali asiatiche o americane), l'urbanizzazione comporta il sacrificio di suolo naturale, la sottrazione di aree verdi e la riduzione di superfici permeabili. La carenza di alberi di alto fusto e di altro tipo di piante riduce la capacità di ombreggiatura e di assorbimento dell'energia solare, contribuendo all'accumulo di calore. Gli edifici, le attrezzature e le infrastrutture, realizzati con materiali da costruzione come il cemento e l'asfalto, assorbono e rilasciano il calore più velocemente rispetto alla vegetazione naturale, contribuendo così anch'essi all'aumento delle temperature urbane. Le attività quotidiane che si svolgono all'interno delle città come il riscaldamento e raffreddamento degli edifici, l'uso di elettrodomestici, la mobilità motorizzata, l'illuminazione elettrica e le attività industriali, producono anch'esse calore aggiuntivo.

La vulnerabilità delle città rispetto al fenomeno "isole di calore" desta, quindi, particolare preoccupazione soprattutto in considerazione dell'espansione delle aree geografiche interessate dalle cinture di alta pressione subtropicale, registrata in questi anni. Se qualche decina di anni fa in Europa il termine "anticiclone" veniva associato unicamente a quello delle isole Azzorre e aveva una connotazione positiva portando condizioni di tempo stabile con cieli sereni e venti moderati, adesso il termine viene collegato a quelli subtropicali africani, dai nomi inquietanti come "Hannibal" (2022), "Caronte" (2023) o "Scipione" (2024) che portano temperature estive superiori alla media stagionale e valori di umidità che fanno percepire condizioni di forte disagio bioclimatico, le tristemente note giornate da bollino rosso.

Un fenomeno associato alle isole di calore urbane sono le precipitazioni estreme e le grandinate eccezionali. Pur essendo fenomeni distinti, in un contesto urbano possono infatti interagire e influenzarsi a vicenda. Le isole di calore possono avere effetti sulla circolazione

¹³ Le T.D.N. (2020), "Climate change adaptation in coastal cities of developing countries: characterizing types of vulnerability and adaptation options", in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 25, pp. 739-761, Springer Nature, testo disponibile al sito: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-019-09888-z>

atmosferica locale, modificando i modelli di precipitazione. Ad esempio, l'aria calda sopra le grandi città può creare correnti ascensionali, portando instabilità atmosferica e facilitando la formazione di temporali. Inoltre, le superfici impermeabili delle città non permettendo un adeguato drenaggio delle acque piovane possono contribuire al verificarsi di inondazioni durante eventi di precipitazioni estreme con possibili impatti negativi sulla gestione delle acque, sulle infrastrutture urbane e in casi estremi sulla sicurezza pubblica.

Le città costiere sono ancora più vulnerabili ad impatti di questo tipo. Tempeste tropicali, uragani e tifoni possono causare mareggiate eccezionali, che possono superare e anche compromettere le difese costiere, inondando le città. L'aumento del livello del mare può portare anche all'infiltrazione di acqua salata nelle falde acquifere sotterranee, minacciando le risorse idriche dolci utilizzate dalle città costiere. Ciò può avere impatti sulla qualità dell'acqua potabile e sulla sostenibilità delle risorse idriche. Tra gli esempi emblematici di questi fenomeni si può citare New Orleans (Usa) colpita nel 2005 dall'uragano Katrina che ha causato inondazioni catastrofiche a causa delle mareggiate e delle tempeste, mettendo in ginocchio una città costruita, di fatto, al di sotto del livello del mare.

Un'altra vulnerabilità urbana è riferibile agli inquinamenti dell'aria e dell'acqua. La concentrazione elevata di persone e attività umane porta ad un aumento delle emissioni di inquinanti atmosferici causate dal traffico veicolare, dalle industrie, dal riscaldamento degli edifici e dall'uso di combustibili fossili per la generazione di energia. L'inquinamento delle acque invece può essere dovuto a scarichi industriali non controllati che riversano nelle reti idriche rifiuti chimici e materiali pericolosi come metalli pesanti e sostanze tossiche. Le acque reflue urbane, contenenti scarichi domestici, in assenza di adeguati trattamenti possono causare inquinamento da batteri. L'uso eccessivo di fertilizzanti e pesticidi nelle attività agricole può portare al deflusso di nutrienti e sostanze chimiche nelle acque superficiali e sotterranee. Le fuoriuscite di oli e combustibili derivanti da attività industriali, incidenti navali o incidenti stradali possono contaminare le acque e danneggiare gli ecosistemi acquatici.

È evidente che nella maggioranza dei casi le infrastrutture urbane come le reti idriche, le reti energetiche, i ponti, le strade, non sono

progettate per affrontare gli impatti dovuti al riscaldamento globale e che la mancanza di resilienza delle infrastrutture e degli edifici non fa che aumentare la vulnerabilità delle città in tutto il mondo.

2.4. *Necessità di modelli innovativi*

Considerando, quindi, la crescita inarrestabile della popolazione mondiale, la sua concentrazione nelle città e gli effetti che ciò potrebbe determinare sugli habitat naturali del nostro pianeta, emerge come imperativo categorico la necessità di una riflessione sui modelli organizzativi e sociali che abbiamo utilizzato dal secondo dopoguerra ad oggi. Il ripensamento non si deve limitare ai soli aspetti fisico morfologici delle città o alle loro modalità d'uso, ma deve considerare i concetti di benessere e inclusione sociale, la consapevolezza culturale del problema, prima di arrivare a discutere di modelli di sviluppo economico.

È chiaro che la trasformazione dei modelli economici sia il cuore della sfida climatica delle città, sostituendo il tradizionale modello lineare di consumo e produzione, con uno circolare basato sulla rigenerazione e il riutilizzo. Questo cambio, però, non può essere imposto dall'alto, ma richiede un approccio partecipativo, innanzitutto nella costruzione delle conoscenze, e poi nella condivisione di un'evoluzione nell'idea di valore economico, che deve orientarsi verso sistemi che minimizzino gli sprechi, promuovano la condivisione delle risorse e integrino principi di sostenibilità in ogni transazione economica¹⁴.

In questi nuovi modelli di sviluppo, che impongono inevitabilmente un cambio di paradigma culturale, è insita l'idea che la prosperità non debba essere misurata solo in termini di produzione e consumo, ma piuttosto in termini di benessere e qualità della vita. La cultura della sostenibilità diventa un valore fondamentale, incorporando pratiche collettive e decisioni individuali nel rispetto degli equilibri tra l'uomo e l'ambiente. Seguendo questo ragionamento, il coinvolgimento delle comunità locali, a livello individuale e collettivo, non solo può favorire la sostenibilità ambientale, ma può anche accrescere il senso di appartenenza e responsabilità verso il proprio territorio,

¹⁴ Klein N. (2015), *This Changes Everything: Capitalism vs. the Climate*, Penguin, London.

naturalmente a patto che i nuovi modelli affrontino adeguatamente le disuguaglianze sociali e garantiscano che tutti abbiano accesso alle opportunità e ai benefici del progresso.

In tal senso il contributo dell'intelligenza artificiale può essere rilevante¹⁵, sia per quanto concerne il monitoraggio ambientale attraverso la raccolta dei dati e la loro elaborazione, sia per quanto riguarda la comunicazione pubblica degli stessi che diventa un fattore decisivo per l'empowerment delle comunità locali. Più in generale, il supporto che l'IA può dare sui temi ambientali e sull'adattamento delle città ai cambiamenti climatici è ampio e si articola in una serie di funzioni che spaziano dalla mobilità sostenibile, ai sistemi di gestione del traffico, alla distribuzione dell'energia, ai processi di raccolta e riciclo dei rifiuti, ecc.

Vedremo meglio tutte queste applicazioni nel terzo capitolo, dove cercheremo di delineare i contorni di quella che potrebbe essere la città del futuro assistita all'intelligenza artificiale: l'hypercity.

3. Iniziative europee

3.1. Piani strategici e finanziamenti

È utile a questo punto fare una panoramica dei principali provvedimenti europei in tema ambientale con un focus particolare sui processi di adeguamento delle città agli effetti dei cambiamenti climatici. È chiaro, infatti, che l'orientamento politico dei diversi Paesi del mondo nei confronti di questi temi, sarà decisivo per la messa in pratica di azioni efficaci che hanno senso solo se adottate diffusamente alla scala globale. Da questo punto di vista non c'è dubbio che il Vecchio Continente, con tutti i distinguo delle sue rappresentanze nazionali, costituisce comunque un baluardo nelle politiche di tutela ambientale, sempre più orientate verso strategie di mitigazione e adattamento.

¹⁵ Nishant R., Kennedy M., Corbett J. (2020), "Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda", in *International Journal of Information Management*, Vol. 53, p. 102104, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102104>

Di seguito una panoramica, certamente non esaustiva, delle principali iniziative comunitarie sul tema, che fornisce un quadro orientativo delle attuali politiche climatiche europee.

*Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia*¹⁶ (2008). Il Patto dei Sindaci è un'iniziativa volta a coinvolgere attivamente le città nella lotta contro il cambiamento climatico e la promozione dell'efficienza energetica. Il Patto nasce nel 2008 proponendosi di stimolare l'impegno, su base volontaria, delle comunità locali a elaborare i "Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile" (PAES) che identificano le misure concrete per migliorare l'efficienza energetica, promuovere le energie rinnovabili e ridurre le emissioni di gas serra. Gli obiettivi ed il campo di azione dell'iniziativa si sono progressivamente estesi nel corso del tempo. Nel 2014 ha avuto avvio il nuovo Patto dei Sindaci per l'Energia e il Clima, che agli obiettivi di mitigazione ha aggiunto quelli dell'adattamento ai cambiamenti climatici. Il nuovo Patto rappresenta oggi il più grande movimento di enti locali impegnati sul cambiamento climatico riunendo più di 10.000 aderenti, provenienti da 53 Paesi, e coinvolgendo circa 300 milioni di persone. Le città firmatarie del nuovo Patto si impegnano a sostenere l'attuazione dell'obiettivo comunitario di riduzione del 40% dei gas a effetto serra entro il 2030 mediante un approccio comune che prevede l'elaborazione, entro due anni dalla data di adesione, di un "Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima" (PAESC) redatto con la partecipazione delle società civile e corredato da strumenti di monitoraggio e verifica dei risultati.

*Climate ADAPT*¹⁷ (2012). È una piattaforma on line lanciata per rispondere alla crescente necessità di condividere informazioni scientifiche, dati e strumenti pratici per supportare gli attori decisionali a livello locale, regionale e nazionale nella pianificazione e implementazione di strategie di adattamento climatico. I dati e le informazioni condivise nel database riguardano i modelli climatici previsionali sul territorio europeo, la vulnerabilità dei diversi ambiti territoriali, le strategie di adattamento dei diversi stati membri, alcuni casi di studio

¹⁶ Covenant of Mayors (2008), European Commission, testo disponibile al sito: <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/home>

¹⁷ European Climate Adaption Platform (2012), European Commission, disponibile al sito: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>

significativi e altri strumenti che supportano la pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici. Climate-ADAPT è quindi uno strumento utile per le città che vogliono introdurre strategie di adattamento, fornendo ai decisori locali informazioni specifiche per valutare i rischi legati al clima, nonché per attuare piani di adattamento adeguati ai loro territori. L'Unione Europea ha finanziato il progetto Climate-ADAPT attraverso diversi programmi, tra cui Horizon 2020 che ha giocato un ruolo significativo nel supportare la ricerca e lo sviluppo di strumenti innovativi e soluzioni pratiche presenti sulla piattaforma. Climate-ADAPT è strettamente collegata con altre iniziative dell'Unione Europea per la condivisione dei dati e delle informazioni sul cambiamento climatico, come ad es. il "Climate Action Network" (CAN), la rete di organizzazioni non governative attive nello studio e nella condivisione di informazioni per il contrasto ai cambiamenti climatici.

*Programma URBACT III*¹⁸ (2014-2020). Dal 2002, il Programma URBACT favorisce la cooperazione e lo scambio di idee tra le città all'interno di reti tematiche, sviluppando le competenze degli stakeholder locali nella progettazione e nell'attuazione di politiche integrate e partecipative, condividendo conoscenze e buone pratiche. Nel 2014 è stata lanciata la terza edizione di URBACT, finalizzata a promuovere lo sviluppo sostenibile e l'innovazione. Il Programma URBACT III ha avuto buone ricadute sulla governance urbana e sui processi di pianificazione delle città partecipanti, favorendo un approccio partecipativo e bottom-up nell'implementazione di strategie innovative per affrontare questioni urbane specifiche, come la mobilità sostenibile, la rigenerazione urbana, e l'inclusione sociale. Il finanziamento del Programma URBACT III è stato fornito principalmente dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), con contributi aggiuntivi provenienti da altri strumenti finanziari UE. Sebbene non sia nato specificamente per occuparsi di clima, il Programma ha contribuito indirettamente a promuovere pratiche e politiche urbane più sostenibili, favorendo la resilienza delle città europee di fronte ai cambiamenti climatici. Il Programma URBACT III è giunto alla sua conclusione, ma la sua eredità è passata al nuovo Programma URBACT IV (2021-27).

¹⁸ Urbact Programme (2014), European Commission, testo disponibile al sito: <https://urbact.eu/>

*Horizon 2020*¹⁹ (2014). Il programma Horizon 2020 ha rappresentato un pilastro fondamentale delle iniziative di ricerca e innovazione dell'Unione europea. Lanciato nel 2014, con una durata programmata fino al 2020, Horizon si è concentrato su diversi settori chiave, contribuendo al diffondersi della cultura dello sviluppo sostenibile. Ha favorito la sperimentazione di soluzioni urbane intelligenti e pratiche sostenibili, ad esempio sulla mobilità e sull'efficienza energetica, che stanno cominciando ad avere un impatto percepibile sulle politiche urbane delle città europee. Il programma Horizon 2020 è stato finanziato attraverso un bilancio dedicato, con una dotazione consistente. Oggi non è più in corso ed è stato sostituito dal programma "Horizon Europe 2021-27".

*Horizon Europe 2021-27*²⁰. Il programma prevede il lancio di missioni di ricerca e innovazione finalizzate ad aumentare l'efficacia dei finanziamenti perseguendo obiettivi identificati. La Commissione europea ha identificato cinque aree di missioni, fra cui "Città climaticamente neutre e intelligenti". In questa specifica area ha individuato l'obiettivo "100 Climate-Neutral Cities by 2030 – by and for the citizens" per sostenere, promuovere e condurre cento città europee nella loro trasformazione verso la neutralità climatica e trasformare queste città in centri di innovazione

*Programma LIFE – Climate Change Mitigation and Adaptation*²¹ (2014-2020). LIFE è uno dei programmi "storici" della Commissione Europea essendo operativo dal 1992 ed è il principale strumento finanziario dell'Unione europea dedicato all'ambiente e all'azione per il clima. Il programma LIFE 2014-2020 ha svolto un ruolo importante nel promuovere azioni a livello locale e nazionale per ridurre le emissioni di gas serra e migliorare la resilienza delle città e dei territori alle conseguenze del cambiamento climatico. L'obiettivo principale del programma era affrontare le sfide legate al cambiamento climatico in modo integrato, affiancando azioni di mitigazione con azioni di adattamento che migliorassero la capacità di risposta ai cambiamenti

¹⁹ Horizon Programme (2020), European Commission, testo disponibile al sito: <https://horizon2020.apre.it/>

²⁰ Horizon Programme (2021-27), European Commission, testo disponibile al sito: <https://horizoneurope.apre.it/>

²¹ Life Programme, European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (2014), testo disponibile al sito: https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life_en

climatici. Gli effetti del programma si sono misurati attraverso numerose iniziative e progetti pilota che hanno dimostrato sostanzialmente l'interesse delle comunità locali, ed in particolare delle città, ad implementare azioni di mitigazione come la promozione delle energie rinnovabili, l'efficienza energetica e la mobilità sostenibile, e ad attuare misure di adattamento, come la pianificazione urbana resiliente o la gestione sostenibile delle risorse idriche. Il programma 2014-2020 si è concluso, ma il successivo programma "LIFE 2021-2027", attualmente in corso, ne ha confermato gli obiettivi prevedendo quattro sottoprogrammi: natura e biodiversità, economia circolare e qualità della vita, mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici e transizione energetica pulita.

*Green Deal UE*²² (2019). Il Green Deal dell'Unione Europea rappresenta un ambizioso piano d'azione volto a trasformare l'UE in un'area economica sostenibile, resiliente e a basse emissioni di carbonio. Questo programma è stato ideato dalla Commissione Europea, guidata dalla presidente Ursula Von Der Leyen, come risposta alla crescente urgenza di affrontare le sfide climatiche e promuovere lo sviluppo sostenibile. Il Green Deal è stato ufficialmente presentato nel dicembre 2019 ed è subito diventato il "programma manifesto" della volontà di rendere l'Europa il primo continente neutrale sotto il profilo delle emissioni di gas climalteranti entro il 2050. Tra gli obiettivi principali ci sono l'azzeramento delle emissioni di gas serra, l'incremento dell'efficienza energetica, la promozione di energie rinnovabili, la protezione della biodiversità e la promozione di una transizione giusta e inclusiva. Il programma sta avendo un impatto significativo sulle città europee, incoraggiandole a adottare politiche e progetti che favoriscano la sostenibilità ambientale. L'implementazione delle misure previste sta richiedendo un impegno importante da parte delle istituzioni europee, degli Stati membri e delle città. Il Green Deal è strettamente collegato ad altre iniziative dell'UE per il cambiamento climatico, come il Pacchetto europeo per il clima e il Patto dei Sindaci per il Clima e l'energia. Dal punto di vista finanziario, l'UE ha stanziato risorse molto consistenti per sostenere il Green Deal attraverso diversi

²² The European Green Deal (2019), European Commission, disponibile al sito: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it

strumenti finanziari, tra cui il Fondo per una transizione giusta e i Fondi strutturali e di investimento europei. Questi finanziamenti sono destinati a supportare progetti specifici, innovazioni e investimenti necessari per raggiungere gli obiettivi del Green Deal.

*New European Bauhaus*²³ (2021). Il NEB è un'iniziativa politica e di finanziamento dell'UE lanciata dalla Commissione europea per promuovere azioni sostenibili e per trasformare l'ambiente costruito e gli stili di vita nel segno della transizione verde. Il NEB cerca soluzioni non solo sostenibili, ma anche "inclusive e belle", nel rispetto della diversità di luoghi, tradizioni e culture europee. La strategia punta sulle seguenti leve: coinvolgere la popolazione concentrandosi sui quartieri; fornire strumenti e orientamenti; offrire soluzioni su misura per le diverse comunità; incorporare i punti di vista delle varie parti interessate nel processo di progettazione e attuazione; dare priorità alle persone e all'inclusione sociale, ma anche all'economia per promuovere la competitività e l'autonomia strategica dell'UE.

*European Climate Law*²⁴ (2021). La legge europea sul clima, entrata in vigore nel 2021, dà coerenza agli obiettivi fissati dal Green Deal EU affinché economia e società europee diventino climaticamente neutre entro il 2050: riduzione delle emissioni, investimenti in tecnologie verdi, protezione dell'ambiente. Le istituzioni EU e gli Stati membri sono quindi tenuti a adottare misure per raggiungere questi obiettivi e a produrre relazioni periodiche di monitoraggio degli effetti da sottoporre all'Agenzia europea per l'ambiente.

*Next Generation EU*²⁵ - *Ripresa e Resilienza* (2020). Il programma è stato formalmente avviato nel 2020, con l'obiettivo di mitigare gli impatti economici negativi della pandemia da COVID-19 e rafforzare la capacità dell'UE di affrontare sfide future, compresi i cambiamenti climatici. Gli effetti del Next Generation EU sulle città europee sono molteplici e variano a seconda delle specificità locali. Le risorse messe a disposizione dal programma sono destinate a finanziare progetti che promuovano la transizione verde, la digitalizzazione, la coesione

²³ New European Bauhaus, European Commission, testo disponibile al sito: https://new-european-bauhaus.europa.eu/index_en

²⁴ European Climate Law (2021), European Commission, testo disponibile al sito: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en

²⁵ NextGenerationEU (2020), European Commission, testo disponibile al sito: https://next-generation-eu.europa.eu/index_en

sociale e l'innovazione. In ambito urbano, ciò può tradursi in investimenti per migliorare l'efficienza energetica degli edifici, promuovere la mobilità sostenibile, e sviluppare infrastrutture digitali. Il Next Generation EU si estende fino al 2026, la sua implementazione è quindi in corso, e il successo dell'iniziativa sarà valutato nel tempo in base ai risultati raggiunti nelle diverse aree di intervento. Il Next Generation EU è sostenuto da risorse proprie dell'UE del valore di più di 800 miliardi di euro e prevede la possibilità di accedere a finanziamenti sui mercati internazionali. Il programma fa parte integrante del bilancio dell'UE e contribuisce a garantire investimenti significativi per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

*PNRR – Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*²⁶ (2021). Il PNRR è la risposta italiana al Next Generation EU, ossia lo strumento attraverso cui il nostro Paese intende utilizzare i fondi europei. Il Piano si sviluppa intorno a tre assi strategici: digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica, inclusione sociale. Si tratta di un pacchetto di investimenti consistente (quasi 250 miliardi di euro) e di riforme che intendono riparare i danni economici e sociali della crisi pandemica, contribuendo a risolvere alcune debolezze strutturali dell'economia italiana, e accompagnare il Paese verso un percorso di transizione ecologica e digitale. Il Piano si sviluppa lungo sei missioni: “digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura”; “rivoluzione verde e transizione ecologica”; “infrastrutture per una mobilità sostenibile”; “istruzione e ricerca”; “inclusione e coesione” e “salute”. Il Piano prevede inoltre un programma di riforme (richieste dall'Europa a garanzia degli investimenti) per facilitare la fase di attuazione e più in generale per contribuire alla modernizzazione del Paese e rendere il contesto economico più favorevole allo sviluppo dell'attività di impresa: riforma della pubblica amministrazione, riforma della giustizia, interventi di semplificazione, riforme per promuovere la concorrenza. Il PNRR dovrebbe avere un impatto significativo sulla crescita economica e la produttività del Paese. Il Governo prevede che nel 2026 (anno in cui tutti i progetti finanziati dovrebbero essere attuati) il nostro Prodotto Interno Lordo dovrebbe essere di 3,6 punti percentuali

²⁶ Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, Governo italiano, testo disponibile al sito: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>

più alto rispetto a uno scenario di base che non include l'introduzione del Piano.

*Pacchetto Fit for 55*²⁷ (2021). È un insieme di proposte legislative volte a adeguare le normative UE al fine di garantire che le politiche europee siano in linea con gli obiettivi climatici concordati dal Consiglio e dal Parlamento europeo. Il termine "Fit for 55" esprime l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra UE del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, costituendo quindi un passaggio intermedio verso la completa decarbonizzazione prevista dal Green Deal EU per il 2050. Tra le numerose proposte vi sono: la revisione del sistema di scambio delle emissioni di carbonio dell'UE²⁸, nuove normative sull'efficienza energetica, obiettivi più ambiziosi per le energie rinnovabili, normative più rigorose sull'inquinamento atmosferico, e l'estensione delle normative di riduzione delle emissioni ai settori del trasporto e delle costruzioni.

Come si evince da questo elenco, non esaustivo, ma comunque significativo delle principali iniziative europee a sostegno delle politiche climatiche, l'orientamento della Commissione Europea nel favorire la transizione ecologica è chiaro. Non altrettanto evidenti sono i progressi verso gli obiettivi di neutralità climatica e adattamento che si stanno registrando. I monitoraggi sul clima effettuati annualmente dalla Commissione²⁹, ed in particolare il Rapporto 2023³⁰ che, come richiesto dalla Legge europea sul clima, per la prima volta include anche la valutazione dei progressi dell'obiettivo di neutralità carbonica 2050, evidenziano che sebbene le emissioni di gas serra continuino a diminuire rispetto ai valori del 1990, i trend sono ancora insufficienti. Sono necessari ulteriori sforzi, in particolare, nei settori dell'edilizia, dei trasporti e dell'agricoltura, dove i progressi sono ancora troppo lenti per garantire il raggiungimento degli obiettivi 2050. Il Report

²⁷ Fit for 55 (2021), European Council, testo disponibile al sito: <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

²⁸ Il meccanismo fissa un tetto massimo alle emissioni consentite nei settori interessati, cui corrisponde un equivalente numero di "quote" (1 ton di CO₂eq. = 1 quota) che possono essere acquistate/vendute su un apposito mercato.

²⁹ Progress on climate action (2023), European Commission, testo disponibile al sito: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/progress-climate-action_en

³⁰ Report from the Commission to the European Parliament and the Council EU Climate Action Progress Report (2023), testo disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0653>

2023 evidenzia anche sostanziali diversità tra i Paesi membri in materia di governance, di valutazione e di rendicontazione delle azioni intraprese al fine di ridurre la loro vulnerabilità sociale ed economica all'intensificarsi dei rischi legati al clima.

Le elezioni 2024 per il Parlamento Europeo ci consegnano – al di là delle considerazioni sull'astensionismo – un exploit delle destre sovraniste che potrebbe far pensare ad un possibile ripensamento sulle politiche ambientali, ad es. sui tempi per la conversione elettrica del settore automotive, oggetto di vivaci discussioni in campagna elettorale.

È pur vero che Ursula Von der Leyen, una dei principali artefici del Green Deal EU, resta comunque saldamente alla guida della Commissione Europea con un secondo mandato di Presidenza, e che la maggioranza che la sostiene costituita da Popolari di centrodestra (PPE), Socialisti e Democratici di centrosinistra (S&D) e Liberali (RE), rimane sostanzialmente inalterata rispetto all'ultima legislatura.

È chiaro, però, che la spinta verso la transizione energetica e ambientale, che il Report 2023 ci esorta ad intensificare, potrebbe al contrario subire un rallentamento a causa dello scetticismo, se non addirittura della aperta contrarietà di alcune componenti politiche presenti nel Parlamento europeo.

Comunque, la maggior parte degli elementi chiave del Green Deal sono già stati approvati in via definitiva, e per cancellarli sarebbe necessario riavviare da capo il processo legislativo: cosa che, quantomeno nell'immediato, appare improbabile.

3. *Hypercity e intelligenza artificiale*

Dopo aver svolto una panoramica sull'intelligenza artificiale e sulle sue applicazioni nel primo capitolo ed aver esaminato i rischi climatici che interessano le città nel secondo, in questo terzo capitolo concentriamo la nostra attenzione sul ruolo che l'intelligenza artificiale potrebbe assumere nella città del futuro.

La *smart city* dell'inizio degli anni duemila si evolve delineando i contorni di una nuova città ipertecnologica, l'*hypercity*, dove l'intelligenza artificiale si diffonde nella vita quotidiana e l'interazione uomo-macchina, attraverso robot e sistemi automatizzati sempre più autonomi, diventano di uso comune. Le principali attività urbane, grazie all'IA si modificano all'insegna del miglioramento delle performance e della riduzione del consumo di risorse naturali: dalla mobilità individuale ai trasporti pubblici, dalla gestione dell'energia al monitoraggio ambientale, dalla sicurezza urbana al ciclo dei rifiuti, ecc.

Ne deriva uno scenario futuro di grande interesse, dove l'IA può giocare un ruolo decisivo, non limitandosi a ottimizzare i sistemi esistenti, ma creando le condizioni per una trasformazione più profonda della città.

Ed è a questo punto che emergono alcuni profili di incertezza: in primo luogo quelli dipendenti dalla nostra presa di coscienza della posta in gioco e dalla conseguente nostra volontà di pagare il prezzo del cambiamento, non tanto in termini economici, quanto di stile di vita; in secondo luogo, quelli relativi alle implicazioni sociali associate alla diffusione dell'intelligenza artificiale, che approfondiremo nel successivo capitolo.

1. Evoluzione della smart city

1.1 Definizione di smart city

Con il termine smart city si indica una “città intelligente” che fa un largo uso di ICT, Information and Communications Technology, per migliorare le sue performance (servizi, mobilità, energia, ambiente, sicurezza, ecc.) consumando meno risorse naturali.

A ben pensarci, associare il termine “intelligente” a qualcosa che non appartenga al regno animale appare poco intuitivo. Il termine deriva dal latino *intelligens*, participio presente di *intelligere* formato da *inter* (tra) e da *legere* (scegliere). Significa pertanto: “in grado di scegliere” tra diverse opzioni. Probabilmente, quindi, l’attribuzione smart nasce dalla consapevolezza delle complessità che oggi interessano il funzionamento della città (questioni ambientali, infrastrutturali, logistiche, energetiche, economiche, sociali, ecc.) e dalle conseguenti capacità di scelta, intese come *problem solving*, che ci si attendono dalla città del futuro. Dato che la capacità di risoluzione dei problemi è tipicamente una misurazione empirica dell’intelligenza, ecco che il termine *smart*, in questo caso attribuito alla città, trova la sua collocazione logica. Certamente in altri settori l’utilizzo del termine risulta meno ambiguo. Pensiamo ad esempio al telefono cellulare: quando si parla di *smartphone* si ha ben presente di avere a che fare con uno strumento del tutto diverso dal telefono analogico.

E allora viene spontaneo chiedersi... in che cosa è diversa una smart city da una città tradizionale? Secondo uno studio dell’*European Smart Cities Ranking*¹, diventato un punto di riferimento per la ricerca nel settore, gli aspetti chiave su cui misurare l’intelligenza di una smart city sono sei:

- *smart economy*: innovazione tecnologica, occupazione, produttività, collaborazione pubblico-privato;
- *smart mobility*: mobilità elettrica, mobilità condivisa, sistemi di gestione della mobilità;
- *smart environment*: efficienza energetica degli edifici, gestione del ciclo dei rifiuti, gestione del sistema energetico, basso impatto

¹ European Smart Cities (2015), studio disponibile al sito: <https://smartcity-ranking.org/>

ambientale delle attività, economia circolare, tutela e potenziamento delle aree verdi;

- *smart people*: società inclusiva, condivisione delle scelte, approccio bottom up, sistemi informatizzati di partecipazione pubblica;
- *smart living*: comfort, sicurezza, benessere, salute, educazione, cultura;
- *smart governance*: e-gov, open data.

Sulla base di questi sei campi di indagine, dopo aver individuato circa 90 indicatori, nel 2015 è stato redatto un ranking che ha studiato le prestazioni smart di una cinquantina di città europee campione, scelte tra due categorie in base al numero di abitanti: città da 100.000 a 500.000 ab. e città da 300.000 a 1 milione di ab. Ne è emerso un quadro che ha visto distinguersi le città del nord Europa, soprattutto quelle scandinave, rispetto a quelle mediterranee.

Da allora si sono moltiplicate le classifiche che hanno cercato di misurare il livello di intelligenza delle città mondiali². Naturalmente hanno dato risultati diversi, anche contrastanti tra loro, a seconda dei parametri e dei criteri utilizzati per stilare le classifiche, ma al di là del valore scientifico di indagini di questo tipo è importante che sia nata, magari anche solo per motivi di promozione territoriale, una sorta di competizione tra le città più avanzate del mondo nel volersi distinguere per le strategie di innovazione tecnologica, difesa delle risorse naturali e tutela dei diritti fondamentali.

1.2 Evoluzione del concetto di smart city

Il concetto di smart city nasce negli Usa negli anni settanta con la rapida diffusione delle nuove tecnologie informatiche e dei servizi digitali: computer, internet, smartphone. L'espressione "smart", in quel momento, è riferita prevalentemente ad una città che fa largo uso di Information and Communication Technology (ICT).

² Giffinger R., Haindlmaier G. (2010), "Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities?", in *ACE: Architecture, City and Environment*, vol. 4-12, pp. 7-26, testo disponibile al sito: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/8550>

Nel suo libro *E-Topia* W.J. Mitchell, uno dei maggiori teorici della rivoluzione digitale di fine millennio autore di una trilogia³ che ha orientato in quegli anni il dibattito scientifico, indica i tre presupposti che la città deve avere per esprimere intelligenza: 1) essere «satura di silicio», ossia avere un'ampia dotazione di dispositivi elettronici, di cui il silicio è una componente essenziale; 2) essere interconnessa, ossia disporre di connessioni di rete performanti che mettano in comunicazione utenti, attrezzature e infrastrutture; 3) essere interattiva, ossia far dialogare tra loro utenti, dati e informazioni.

Successivamente il concetto di smart city viene associato non più solo alla presenza di reti digitali, ma anche allo stato di benessere individuale e collettivo che tali infrastrutture consentivano di raggiungere. All'inizio degli anni duemila il termine viene quindi collegato alla capacità della città di veicolare, attraverso le reti digitali, prestazioni per la collettività nei diversi settori⁴: servizi per la salute come la telemedicina, sistemi di sicurezza urbana come la telesorveglianza, piattaforme di supporto per la partecipazione dei cittadini alla vita pubblica come quelle di e-government, ecc.

Nella prima decade degli anni duemila il concetto di smart city si arricchisce di un'ulteriore componente, che ben presto diventerà quella preponderante: la dimensione ecologico ambientale. In quel periodo l'Unione Europea emana una serie di importanti direttive per la tutela ambientale accompagnate da un prima robusta iniezione di finanziamenti per favorire la transizione ecologica e digitale, tra cui spicca il New Green Deal EU. Nel mondo intero prende vita un movimento spontaneo delle giovani generazioni che giustamente chiedono che vengano loro concessi gli stessi diritti ambientali dei loro padri. Greta Thunberg, la giovanissima attivista svedese che si batte a favore dello sviluppo sostenibile, diventa un simbolo mondiale della lotta ai cambiamenti climatici, per le sue manifestazioni di protesta pacifica che tiene regolarmente tutti i venerdì davanti al Parlamento svedese

³ Mitchell W.J., *City of bits* (1995), *E-topia* (1999), *Me++ Networked City* (2003), MIT Press, Cambridge, Usa.

⁴ Fusero P. (2009), *E-City Digital Networks and Cities of the Future*, List, Barcellona.

con lo slogan, diventato virale, «Skolstrejk för klimatet» (sciopero scolastico per il clima)⁵.

La smart city attuale di questa seconda decade degli anni duemila è quella che risorge dalle ceneri del Covid-19 e che si giova dell'impulso verso la transizione ecologica e digitale determinato dal secondo enorme flusso di finanziamenti post pandemici: in Europa il Next Generation EU 2020 e il Pacchetto Fit for 55% 2021, in Italia il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza 2021 (PNRR). La smart city diventa così una città che utilizza le tecnologie più avanzate per contenere i consumi energetici, per produrre energia da fonti rinnovabili, per utilizzare processi automatizzati di smaltimento dei rifiuti, per adottare misure che favoriscano la mobilità intelligente, per aumentare le proprie dotazioni di verde urbano, ecc.

1.3. Ultima frontiera: l'hypercity

Cosa ci riserva il futuro? Quale ulteriore sviluppo interesserà la smart city nei prossimi anni? Come tutte le grandi innovazioni che hanno rivoluzionato la storia dell'umanità, dalla scoperta del fuoco alla rete internet, anche questa prima fase di diffusione dell'IA nella nostra società, nonostante la complessiva accelerazione dei fenomeni tipica dei nostri tempi, sta avvenendo in modo graduale. Sebbene nell'immaginario collettivo si collochi temporalmente l'IA in un futuro prossimo o addirittura remoto, in realtà già oggi, senza quasi che ce ne rendiamo conto, siamo pervasi da funzioni che utilizzano l'intelligenza artificiale: le auto con la guida autonoma, gli assistenti virtuali domestici, i motori di ricerca sul web, i dispositivi domotici delle case, gli impianti per la videosorveglianza dei luoghi pubblici, i videogiochi, ecc.

Quindi si potrebbe dire che già oggi siamo entrati in uno step successivo del percorso evolutivo della smart city. Ma trattandosi di intelligenza artificiale abbiamo capito che gli algoritmi generativi e le loro applicazioni seguono curve esponenziali di sviluppo che, dopo

⁵ Zuliello M., Ceccobelli D. (2020), "Don't Call it Climate Populism: On Greta Thunberg's Technocratic Ecocentrism", in *The Political Quarterly*, vol. 91-3, pp. 623-631, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1111/1467-923X.12858>

una parte iniziale progressiva, hanno accelerazioni tali da sfuggire alle capacità umane di controllo. È difficile quindi dire oggi come sarà la città pervasa di intelligenza artificiale di domani. Certamente sarà una “ipercittà”, intesa come di grado superiore rispetto alla città intelligente di cui abbiamo seguito l’evoluzione in queste prime decadi del nuovo millennio.

L’hypercity del futuro sarà certamente una città complessa e per certi versi delicata, dato l’elevatissimo livello di interazioni tra individui, network e oggetti (Internet of Things) che la contraddistingue. La diffusione della sensoristica, dei sistemi di rilevazioni delle informazioni e dei dispositivi mobili individuali, permetteranno all’IA di disporre del “cibo” di cui si nutre: i dati. Big data, metadati, banche dati, rappresentano l’oro del XXI secolo. Il loro possesso determinerà il potere non solo delle Big Tech, le grandi aziende del settore dell’informazione, ma degli stessi Stati nazionali.

L’hypercity sarà anche una città sostenibile, orientata alla difesa e la valorizzazione degli ecosistemi naturali. È molto probabile che ci si debba ancora attendere posizioni di contrasto al percorso di transizione ecologia e digitale intrapreso con determinazione dall’EU in questa prima fase: la politica populista farà leva sui costi sociali del cambiamento, ogni qualvolta le occasioni elettorali lo permetteranno; le grandi lobby internazionali continueranno a difendere i loro interessi cercando di opporsi o quantomeno ritardare i processi di transizione verso modelli economici circolari. Ma il percorso che porterà l’hypercity a qualificarsi sempre di più come città sostenibile e inclusiva sarà garantito dai suoi stessi abitanti, quelle giovani generazioni nate digitali, che adesso protestano per l’ambiente e che domani occuperanno posizioni di rilievo nella società. La loro sensibilità verso le tematiche ambientali è destinata ad essere molto più sviluppata di quella dei loro genitori per un processo culturale in atto, e questo ci consente di guardare al futuro con ottimismo.

Dal punto di vista architettonico, l’hypercity potrebbe non essere molto diversa dalla città come la conosciamo oggi, quello che potrebbe cambiare in modo sostanziale saranno i modi di governo e di fruizione. L’intelligenza artificiale consentirà una riorganizzazione della catena di approvvigionamento delle merci (supply chain). I sistemi di gestione del traffico saranno automatizzati, i veicoli sempre più connessi

ed autonomi e il parco veicoli sempre più condiviso (e-sharing). La mobilità privata sarà agevolata da mezzi alternativi, come i monopattini e le bici elettriche (e-bike) o le microcar. Il commercio sarà prioritariamente on line (e-commerce), le consegne a domicilio dei prodotti saranno sempre più diffuse (delivery) e oltre ai veicoli tradizionali, saranno utilizzati anche veicoli a guida autonoma come i droni. Ci saranno meno spostamenti individuali casa-lavoro (smart working) e il decentramento dei servizi insieme alla riorganizzazione degli orari consentirà di avere raggi di spostamento abbreviati (15 minute City) e spazi di lavoro riorganizzati (coworking). Le città saranno pervase di telecamere di sorveglianza che dialogheranno coi sistemi di gestione del traffico e della sicurezza urbana. La distribuzione dell'energia e la gestione delle reti primarie di approvvigionamento saranno controllate dall'IA (Smart Grid). Il tracciamento delle merci sarà controllato attraverso sensori (Internet of Things) che monitoreranno anche i cicli di vita dei prodotti stessi. L'efficientamento energetico degli edifici sarà gestito dall'intelligenza artificiale dalla fase di ideazione, a quella di gestione e manutenzione, fino alla demolizione e smaltimento. La fase di riciclo dei materiali farà parte integrante dei sistemi produttivi che abbandoneranno i vecchi modelli lineari e tenderanno sempre di più a diventare circolari.

Il governo della città potrà avvalersi di modelli di coprogettazione e cogestione supportati da soluzioni digitali avanzate per favorire la più ampia partecipazione e l'interazione intersettoriale. Il coordinamento multilivello dei piani e programmi potrà essere ottimizzato dall'impiego di sistemi di IA, così come la rilevazione e l'analisi dei risultati di impatto delle politiche pubbliche, per i correttivi da apportare alle stesse. L'amministrazione degli uffici pubblici vedrà l'intelligenza artificiale ricoprire molti dei ruoli di interazione con l'utenza e ciò consentirà di ridurre i tempi, le barriere (linguistiche, culturali, sensoriali), le distanze e i consumi.

Questi sono solo alcuni dei cambiamenti più significativi che ci attendono, quelli che riusciamo a prefigurare con le nostre conoscenze attuali, ma sappiamo che gli sviluppi esponenziali delle tecnologie ci porteranno scenari e soluzioni ad oggi neppure immaginabili.

Con queste premesse, e con intento puramente esemplificativo, vediamo ora come l'introduzione dell'IA in alcune attività urbane possa

caratterizzare l'hypercity del futuro, conferendole un valore aggiunto in termini di miglioramento delle performance e riduzione del consumo di risorse naturali. Nel prosieguo evidenzieremo anche gli aspetti critici e quelli che destano maggiori perplessità di questo processo, ma adesso ai fini del nostro ragionamento è utile concentrarci sugli aspetti innovativi.

2. Pianificazione urbana

2.1. Sistemi urbani assistiti da IA

L'introduzione dell'intelligenza artificiale in ambito urbano sta, dunque, facendo evolvere il concetto di "smart city" in quello di "hypercity", una città in grado di gestirsi in modo autonomo, dove su specifiche attività l'intervento umano può essere considerevolmente ridotto⁶.

Mentre per la smart city l'enfasi è sulla raccolta di dati e sull'estrazione di conoscenza dagli stessi, per l'hypercity il focus riguarda essenzialmente l'introduzione di nuovi elementi, i robot, aventi la capacità di modificare il funzionamento stesso della città. Non dobbiamo pensare ai robot solo come umanoidi automatizzati; ne esistono di tantissimi generi e possono essere di natura molto diversa: droni per la sorveglianza o la consegna, robot per la produzione industriale, nanotecnologie per la chirurgia, chatbot per rispondere nei call center, veicoli a guida autonoma, piattaforme logistiche di selezione e smaltimento dei rifiuti, linee di selezione dell'uva prima della pigiatura, robot per il giardinaggio, ecc.

Possiamo dire che mentre la smart city è una città caratterizzata da reti di sensori, smart grid, Internet of Things (IoT) e Big Data, l'hypercity fa sì che queste dotazioni digitali possano interagire tra di loro diventando un sistema autonomo in grado di autogovernarsi ai fini del raggiungimento delle migliori performance urbane in termini economici, ambientali e sociali. Una Hypercity è, dunque, una città che

⁶ Tadei R. (2021), *Intelligenza Artificiale e città: la Artificially Intelligent City*, Il BoLive Università di Padova, testo disponibile al sito: <https://ilbolive.unipd.it/it/news/intelligenza-artificiale-citta-artificially>

integra l'IA in modo pervasivo in tutti gli aspetti del suo funzionamento, con l'obiettivo di renderla più efficiente, sicura e sostenibile. Possiamo quindi definire l'hypercity come un «sistema di sistemi, le cui funzioni si basano su attività sostenibili guidate da tecnologie di intelligenza artificiale, che consentono di raggiungere il bene sociale ed altri risultati utili a tutti gli esseri umani e non umani»⁷.

Uno strumento per affinare ulteriormente il concetto di hypercity può essere il cosiddetto “City Brain”, una piattaforma di intelligenza artificiale che integra dati provenienti da una vasta gamma di fonti, come telecamere di sorveglianza, sensori ambientali, dati di traffico, sistemi di trasporto pubblico, e altro ancora. Questi dati vengono elaborati utilizzando algoritmi di machine learning per ottimizzare molte operazioni urbane⁸. Il City Brain è stato applicato in diverse città in Cina, con Hangzhou che rappresenta il caso più emblematico⁹. Qui, il sistema è stato implementato nel 2016 in collaborazione con Alibaba Group, utilizzando la piattaforma di cloud computing di Alibaba per gestire e analizzare i dati urbani in tempo reale: sicurezza urbana tramite telecamere di sorveglianza; gestione delle emergenze come calamità naturali, incidenti gravi, monitoraggio delle epidemie, gestione del traffico attraverso il controllo automatizzato dei semafori e indicazione dei percorsi preferenziali, ecc.

Oltre a Hangzhou, altre città cinesi, ad es. Shanghai e Chongqing, hanno avviato progetti pilota per la sperimentazione del City Brain. Il tema sta acquisendo interesse anche in altre parti del mondo, con città come Singapore, Dubai, Macao, Kuala Lumpur e alcuni centri urbani europei che stanno esplorando l'uso di piattaforme di intelligenza artificiale per migliorare i servizi urbani. L'importanza della sperimentazione dell'IA per la gestione urbana è stata ribadita anche da importanti organizzazioni internazionali come il World Economic Forum, che nei suoi Report ha individuato nove ambiti strategici per l'inno-

⁷ Yigitcanlar T., Butler L., et.al., (2020), *Can Building Artificially Intelligent Cities Safeguard Humanity from Natural Disasters, Pandemics, and Other Catastrophes?*, testo disponibile al sito: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2988#metrics>

⁸ Barns S. (2020), *Platform Urbanism, negotiating platform ecosystems in connected cities*, Springer, Berlin.

⁹ Chen S., Xu J., He Y., Luan W. (2019), “City Brain in Hangzhou: A Big Data-Enabled Urban Governance System”, in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6-1, pp. 1051-1060.

vazione, i cosiddetti “game changer”, e tra questi ha inserito l'introduzione dell'intelligenza artificiale per la gestione delle città¹⁰.

2.2. Urban planning assistito da IA

Con il termine pianificazione urbana assistita dall'intelligenza artificiale (IA-assisted urban planning) ci si riferisce all'utilizzo di strumenti e tecniche di IA per supportare il processo decisionale nel campo della pianificazione e dello sviluppo urbano.

Potendo elaborare grandi quantità di dati urbani provenienti da diverse fonti (sensori, registri amministrativi, immagini satellitari e social media, uso del suolo, traffico, inquinamento, ecc.), l'IA può creare modelli e simulazioni computazionali dell'ambiente urbano, consentendo ai pianificatori di valutare gli impatti potenziali delle decisioni da assumere per il governo del territorio¹¹. Per esempio, i modelli predittivi possono prevedere la crescita della popolazione, i cambiamenti climatici o le tendenze economiche che influenzeranno la domanda di abitazioni, trasporti e servizi urbani in un determinato arco temporale; oppure possono simulare i flussi di traffico determinati da nuove aree residenziali che si intendono realizzare, o stimare l'impatto ambientale di nuovi progetti di sviluppo urbano prima della loro realizzazione.

Interessanti esperimenti in tal senso sono stati condotti da un team di urbanisti ed esperti ICT dell'Università di Tsinghua in Cina, che hanno sviluppato un sistema di pianificazione urbana basato sull'intelligenza artificiale capace di progettare un Piano Urbanistico ideale riferito al concetto di “città dei 15 minuti”¹². I ricercatori cinesi hanno dimostrato che i Piani generati dall'IA sono altrettanto efficaci di quelli creati dagli esperti umani, con una differenza non trascurabile: è possibile elaborarli in pochi secondi!

¹⁰ Herweijer C. Waughray D. (2018), *Harnessing Artificial Intelligence for the Earth*, *World Economic Forum*, testo disponibile al sito: https://www3.weforum.org/docs/Harnessing_Artificial_Intelligence_for_the_Earth_report_2018.pdf

¹¹ Batty M. (2018), *The new science of cities*, MIT Press, Cambridge.

¹² Zheng Y., Lin Y., Zhao L., et. al. (2023), “Spatial planning of urban communities via deep reinforcement learning”, in *Nature Computational Science*, vol. 3, pp. 748-762.

Altre sperimentazioni interessanti di pianificazione urbana assistita dall'IA le sta conducendo Digital Blue Foam¹³, una società tecnologica con sede a Singapore, che ha introdotto "Urban Insights", uno strumento per la prototipazione urbana che funziona elaborando dati da varie fonti open source, consentendo ai gruppi di progetto di generare scenari urbani, anche sotto forma di modelli tridimensionali, e confrontare le diverse ipotesi.

L'utilizzo della prototipazione urbana per studiare diverse ipotesi e strategie è probabilmente una delle applicazioni più interessanti dell'intelligenza artificiale nella pianificazione urbana. In tal senso meritano di essere seguite con attenzione le sperimentazioni del cosiddetto "Digital Twin"¹⁴. Si tratta di una piattaforma di intelligenza artificiale costituita da tre componenti: visualizzazione, previsione e diagnostica. Offre l'opportunità di simulare digitalmente le ipotesi di modifica del tessuto urbano prima che vengano realizzate, consentendo di prevedere ex ante gli impatti sull'ambiente circostante. Diverse sono le esperienze in corso di Digital Twin, tra cui meritano menzione quella della Società neozelandese Buildmedia per la città di Wellington, e quella della società cinese 51 World che ha creato un gemello digitale per la città di Shanghai.

L'intelligenza artificiale può anche coadiuvare i decisori pubblici nel realizzare strategie di mitigazione e adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici. La modellazione predittiva, la valutazione del rischio e i sistemi di allerta precoce basati sull'IA possono contribuire a migliorare la resilienza agli eventi meteorologici estremi. Ad esempio, "Tree Canopy" di Google è uno strumento progettato per supportare la pianificazione urbana nel tentativo di mitigare l'impatto delle ondate di caldo estreme, consentendo agli amministratori pubblici di comprendere l'effetto delle coperture arboree facilitando di conseguenza l'individuazione dei luoghi dove intensificare le nuove piantumazioni. Un'altra applicazione simile è stata sviluppata dai ricercatori IBM per misurare la quantità di carbonio che gli alberi in una determinata area urbana possono immagazzinare in base al numero, alla specie, alla forma della chioma e delle foglie. Con questo sistema si è

¹³ Digital Blue Foam, piattaforma disponibile al sito: <https://www.digitalbluefoam.com/>

¹⁴ Ildikò Leete R. (2022), "What is a Digital Twin", in *Archdaily*, testo disponibile al sito: <https://www.archdaily.com/975256/what-is-a-digital-twin>

potuto misurare che gli alberi di Manhattan trattengono 52mila tonnellate di carbonio, individuando le caratteristiche specifiche di determinate specie rispetto ad altre.

Continuando a citare alcune esperienze significative sull'applicazione dell'intelligenza artificiale alla pianificazione urbana¹⁵, il Dipartimento di Pianificazione Nazionale (DNP) della Colombia ha implementato un progetto pilota che combina la mappatura aerea con la diagnostica urbana per affrontare il problema degli insediamenti informali (favelas) nel Paese. Dal progetto sono emerse interessanti considerazioni che hanno consentito agli amministratori pubblici di individuare alcune priorità di intervento. Sulla base dei risultati del progetto iniziale, è stato creato il software M-IA che fa parte dell'“Open Urban Planning”, un catalogo di strumenti digitali open source per la pianificazione urbana e la mappatura automatizzata degli insediamenti informali.

L'integrazione dell'intelligenza artificiale nella pianificazione urbana è una strada ancora tutta da percorrere, ricca di prospettive, ma anche di ostacoli da superare. Una prima sfida risiede nella scarsità dei dati, criticità sempre presente in tutti i processi che utilizzano l'IA: l'applicazione efficace dell'IA nella pianificazione urbana si basa su dati accurati e completi che non sempre sono disponibili. In secondo luogo, appare evidente il problema di privacy e di etica nell'utilizzare dati provenienti da privati cittadini che possono essere intesi come fornitori non retribuiti di dati, a volte addirittura non consapevoli. Tuttavia, tra successi e contraddizioni, non si può negare l'enorme potenziale dell'intelligenza artificiale in combinazione con la pianificazione urbana, e degli sviluppi futuri che la ricerca su questa tematica potrà consentire.

2.3. E-democracy supportata da IA

Aumentare il coinvolgimento dei cittadini nelle decisioni al fine di allargare il consenso e la legittimazione dell'azione pubblica, riducen-

¹⁵ Ghisleni C. (2024), “Artificial Intelligence and Urban Planning”, in *Archdaily*, testo disponibile al sito: <https://www.archdaily.com/1012951/artificial-intelligence-and-urban-planning-technology-as-a-tool-for-city-design>

do di conseguenza i conflitti, è la strada che molte amministrazioni hanno cercato di percorrere negli ultimi anni con l'introduzione di iniziative di "e-democracy". Con questo termine si intende, infatti, la partecipazione dei cittadini ai processi decisionali delle amministrazioni locali attraverso l'impiego delle ICT¹⁶. Si possono fornire informazioni utili ai cittadini, sia per una loro partecipazione consapevole (livello informativo), sia per attivare nuovi meccanismi di dialogo (livello della consultazione), sia per giungere a decisioni condivise (livello della partecipazione attiva). Tuttavia, questo coinvolgimento è stato spesso limitato dalla complessità dei processi decisionali e dalla mancanza di accessibilità ad alcune tipologie di informazioni. Qui entra in gioco l'intelligenza artificiale che può effettivamente dare un nuovo impulso al concetto di e-democracy offrendo strumenti e metodologie innovative.

Un aspetto chiave dell'applicazione dell'IA nella partecipazione attiva è rappresentato dai "sistemi di intelligenza collettiva". Questi sistemi utilizzano algoritmi di machine learning per analizzare grandi quantità di dati provenienti dai cittadini, consentendo di estrarre conoscenze significative per la pianificazione urbana. Ad esempio, piattaforme online e app mobili possono essere utilizzate per raccogliere opinioni, feedback e proposte dalla comunità su questioni urbane specifiche, come la mobilità, l'uso del suolo o la qualità dell'aria. Gli algoritmi di IA possono analizzare e sintetizzare queste informazioni in modo da identificare tendenze, preferenze e priorità della comunità, fornendo così ai decisori locali una base più solida per effettuare scelte consapevoli.

Un altro modo in cui l'IA può migliorare la partecipazione attiva è attraverso la simulazione e la visualizzazione delle alternative di pianificazione urbana. Abbiamo capito che utilizzando modelli computazionali avanzati è possibile simulare l'impatto di progetti di sviluppo urbano o interventi sullo spazio pubblico e sull'ambiente. Queste simulazioni possono essere presentate ai cittadini attraverso strumenti di visualizzazione intuitivi e interattivi, consentendo loro di esplorare e comprendere le implicazioni delle decisioni di pianificazione in modo esplicito e concreto. Ciò favorisce un coinvolgimento più attivo

¹⁶ Hennen L., Van Keulen I., Korthagen I., et al. (2020), *European E-Democracy in Practice*, Springer Nature, Cham.

e consapevole dei cittadini nei processi decisionali, contribuendo a una maggiore trasparenza dell'operato delle autorità locali.

Inoltre, l'IA può essere impiegata per facilitare la partecipazione dei cittadini attraverso sistemi personalizzati. Basandosi sui dati raccolti dalle interazioni dei cittadini con le piattaforme digitali di partecipazione o i social media, gli algoritmi di IA possono suggerire contenuti e argomenti rilevanti per gli interessi e le preferenze individuali degli utenti. Questo approccio personalizzato può essere utile per aumentare il coinvolgimento e l'efficacia della partecipazione, riducendo il rischio di disimpegno o disinteresse da parte degli abitanti.

È evidente che l'utilizzo dell'IA nella partecipazione attiva ai processi decisionali urbani possa sollevare importanti questioni etiche. È quindi fondamentale garantire la trasparenza, l'equità e la protezione della privacy dei dati durante la raccolta e l'analisi delle informazioni ed è essenziale che i risultati generati dall'IA siano integrati in processi decisionali inclusivi e democratici, garantendo che la partecipazione pubblica non sia sostituita, ma piuttosto arricchita e supportata dall'innovazione tecnologica. Non ci possiamo nascondere che l'introduzione dell'IA nei processi di partecipazione ai processi decisionali, possa addirittura influire su diversi aspetti della democrazia, compresi quelli relativi all'orientamento politico dell'opinione pubblica. Per questi motivi è necessario muoversi con grande cautela tenendo conto delle minacce e delle opportunità attraverso uno sforzo interdisciplinare da parte di scienziati informatici e sociali¹⁷. Vedremo a fondo queste questioni nel quarto capitolo.

3. Mobilità sostenibile e trasporti intelligenti

3.1. Sistemi di gestione del traffico

Il traffico veicolare rappresenta uno dei problemi più significativi nelle città di tutto il mondo, con impatti negativi sull'efficienza economica complessiva, sull'ambiente e più in generale sulla sicurezza e

¹⁷ Jungherr A. (2023), "Artificial Intelligence and Democracy: A Conceptual Framework", in *Social Media + Society*, Vol. 9-3, testo disponibile al sito: <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/20563051231186353>

sulla qualità della vita degli abitanti. Il traffico cittadino è un sistema altamente dinamico, in cui decine di migliaia di persone, che utilizzano diverse modalità di trasporto individuale o collettivo, in modo inconsapevole interagiscono tra loro e i loro comportamenti si influenzano reciprocamente. Le decisioni devono essere assunte in tempo reale, e la pianificazione delle attività, che devono garantire innanzitutto la sicurezza e il benessere dei cittadini, è un compito decisamente complesso. Il tema lo si può affrontare efficacemente solo attraverso un cambio radicale del modello di sviluppo, che nelle società ad economia avanzata ha visto in questi decenni l'utilizzo dell'auto privata come forma privilegiata di trasporto.

L'introduzione di sistemi di gestione automatizzata del traffico basati sull'intelligenza artificiale, quindi, non può essere considerata di per sé la soluzione al problema del traffico, ma sicuramente può dare un contributo per ottimizzare la fluidità del movimento dei veicoli, riducendo i tempi di percorrenza e minimizzando le congestioni stradali¹⁸. Ma alla base di tutto, come sempre quando si parla di IA, c'è il reperimento dei dati: le informazioni su come i cittadini si stanno muovendo nelle diverse zone della città forniscono indicazioni importanti sulle loro esigenze di trasporto. I dati provenienti dai loro dispositivi elettronici portatili (i GPS degli smartphone, ad es.) diventano quindi preziosi per lo sviluppo collettivo di progetti comuni (crowdsourcing). L'intelligenza artificiale può elaborare questi dati geolocalizzati e fornire indicazioni sui percorsi preferenziali sia per gli automobilisti, che per i ciclisti ed i pedoni. Allo stesso tempo sensori installati sulle strade e telecamere di sorveglianza possono integrare le informazioni fornendo un quadro completo dei flussi, delle tipologie di veicoli e delle condizioni del traffico.

Prima ancora di agevolare il flusso dei veicoli, la responsabilità principale dei sistemi di gestione dei trasporti è quella di garantire la sicurezza stradale. L'IA, attraverso l'analisi in tempo reale effettuata dalle telecamere di bordo, può riconoscere comportamenti anomali del

¹⁸ Nikitas A., Michalakopoulou K., Tchouamou Njoya., Karampatzakis (2020), "Artificial Intelligence, Transport and the smart city: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era", in *Sustainability*, vol. 12, Issue 7, testo disponibile al sito: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2789#>

guidatore ed intervenire istantaneamente sul controllo del veicolo, riducendo i rischi associati agli errori umani o alla guida imprudente. Nei sistemi di gestione automatizzata del traffico un ruolo importante è affidato ai protocolli di comunicazione wi-fi e ai sensori IoT, che possono essere inseriti in qualsiasi oggetto in movimento consentendo di condividere informazioni sia sul mezzo al quale sono stati applicati, sia sull'ambiente circostante. Un esempio sono i semafori intelligenti che non sono semplicemente programmati in base alle diverse fasce orarie, ma si adattano in tempo reale alle condizioni del traffico per mezzo di algoritmi che elaborano informazioni relative al numero dei veicoli, alla tipologia dei mezzi di trasporto, alla direzione dei flussi. Le app di navigazione basate sull'IA possono suggerire percorsi alternativi e l'integrazione di diversi mezzi di trasporto (taxi, treno, bus, biciclette, monopattini) in base alle condizioni del traffico, alle esigenze e alle attitudini dell'utente, fornendo informazioni sugli orari dei mezzi pubblici, sui punti di bike sharing, sui costi e sui tempi di percorrenza, ecc. Tutto ciò non solo aiuta a ridurre la congestione stradale, ma contribuisce a incentivare una mobilità più sostenibile, riducendo l'impatto ambientale complessivo.

Le alternative alla mobilità tradizionale possono essere favorite dall'IA nella misura in cui effettivamente rispondono in modo puntuale ai bisogni individuali, ad esempio quello di ottimizzare i servizi di noleggio a breve termine di biciclette e monopattini elettrici (bike sharing) o quello di condivisione dei viaggi (car pooling) senza dover imporre attese molto lunghe o senza dover esporre i viaggiatori a imprevisti. In relazione alle esigenze di chi già possiede o utilizza vetture elettriche, l'intelligenza artificiale può ottimizzarne l'uso attraverso previsioni precise nella domanda di energia, nella ricerca di punti di ricarica favorevoli con i propri spostamenti e con la programmazione dei tempi di ricarica, per sfruttare sia i periodi di minor consumo energetico sia le esigenze di spostamento individuale.

3.2. Veicoli connessi ed autonomi

Una recente ricerca del CNR¹⁹ ha messo in evidenza lo stato

¹⁹ Masini B.M. (2020), *Veicoli autonomi e connessi, verso la mobilità del futuro*, CNRR

dell'arte e le prospettive future dei veicoli a guida autonoma in relazione al tema della sicurezza stradale. I dati parlano da soli: circa 1,25 milioni di persone muoiono ogni anno nel mondo per incidenti stradali; altri 20-50 milioni di persone rimangono gravemente ferite. Gli incidenti stradali sono la causa principale di morte per i giovani tra i 15 e i 29 anni. Lo studio del CNR stima che la diffusione delle applicazioni di intelligenza artificiale basate su comunicazioni veicolo-veicolo (V2V), e veicolo-infrastruttura (V2I) potrebbero ridurre dell'80% gli incidenti. Secondo il Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti, la National Highway Traffic Safety Administration²⁰, quasi il 94% degli incidenti stradali è causato da errori umani.

È chiaro che un veicolo a guida autonoma, avendo tempi di reazioni istantanei, potrebbe contribuire non poco a risolvere il problema dell'errore umano. Ma quanto deve essere autonomo un veicolo per essere considerato sicuro? La Society of Automotive Engineers Usa (SAE) ha definito 5 livelli di autonomia in ragione dell'automazione del veicolo²¹. Fino al livello 2 sono le auto che abbiamo già oggi sulle nostre strade, con una parziale automazione grazie ai sensori di assistenza alla guida (mantenimento carreggiata, frenata assistita, velocità programmata, parcheggio automatizzato). Dal livello 3, invece, si tratta di veicoli in fase di sperimentazione, che aumentano la propria autonomia fino a diventare completamente indipendenti dal guidatore umano. Un veicolo di livello 5 grazie alla sensoristica avanzata di bordo, telecamere, radar e intelligenza artificiale, potrebbe, in linea di principio, aver risolto del tutto il problema degli incidenti stradali.

Naturalmente lo sviluppo di una simile tecnologia ha dei costi molto elevati e, esattamente come per la guida umana, la guida autonoma ha dei limiti: non può vedere dietro l'angolo, non può vedere dietro gli ostacoli (ad es. un autobus che ci precede ostruendoci la vista), non può coordinare la propria azione con gli altri veicoli circo-

IEIIT, video disponibile al sito: <https://www.youtube.com/watch?v=V41Ig8DUA-U>

²⁰ National Highway Traffic Safety Administration (2022), *Summary Report: Standing General Order on Crash Reporting for Level 2 Advanced Driver Assistance Systems*, testo disponibile al sito: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2022-06/ADS-SGO-Report-June-2022.pdf>

²¹ Society of Automotive Engineers (2021), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, testo disponibile al sito: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/

lanti nell'intorno. Alcuni studi hanno dimostrato che l'automazione in assenza di connettività di bordo riesce ad esprimere una percentuale molto bassa del suo potenziale in termini di sicurezza²².

Grazie ad un sistema radio di bordo che consenta ai veicoli di comunicare, i limiti di cui si è detto prima non ci sarebbero più e i mezzi potrebbero scambiarsi informazioni tra loro coordinando sinergicamente le loro azioni. Questa è la cosiddetta comunicazione vehicle-to-everything (V2X) che consente l'utilizzo di una serie di applicazioni IA relative alla sicurezza stradale e alle informazioni (traffico, intrattenimento, ecc). Sono soprattutto le prime che nei prossimi anni spingeranno il mercato verso soluzioni di "guida cooperativa", come ad esempio il semaforo virtuale, ossia veicoli che si scambiano autonomamente la precedenza in quegli incroci non coperti di infrastruttura semaforica, oppure l'immissione autonoma in una carreggiata coordinata con gli altri veicoli, e così via.

Un'interessante riflessione sulle potenzialità del binomio connettività-automazione applicata all'automotive l'ha fornita Alexander Lautz, vicepresidente di Deutsche Telekom: «con l'introduzione del 5G i veicoli inizieranno a comunicare tra di loro e con l'ambiente circostante ricevendo aggiornamenti istantanei dai sensori vicino e dai dispositivi IoT. L'intera rete di veicoli, infrastrutture e sensori potrebbe diventare così robusta da spostare gli esseri umani sul sedile del passeggero, e alla fine l'auto connessa potrebbe essere la più grande eredità del 5G»²³. Ed in effetti, a ben pensarci, è vero: l'auto integra in sé tutte le principali innovazioni tecnologiche della nostra epoca: dall'IA, all'automazione, alle comunicazioni, alla sensoristica avanzata, e in più è un oggetto che funziona in movimento e ci consente di spostarci rapidamente. Abbiamo già le tecnologie che consentirebbero la comunicazione diretta veicolo-veicolo e la comunicazione veicolo-

²² Makridis M., Mattas K., Ciuffo B. et. al. (2018), "Connected and Automated Vehicles on a freeway scenario. Effect on traffic congestion and network capacity" in *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA*, Vienna, testo disponibile al sito: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/documents/portlet_file_entry/20125/connected-automated-vehicles-traffic-congestion-network-capacity_111621.pdf/a5b681e2-3737-2663-eb16-e3b845aab9a8

²³ Koziol M. (2019), IEEE Spectrum, *On the Road to Self-Driving Cars, 5G Will Make Us Better Drivers*, testo disponibile al sito: <https://spectrum.ieee.org/mwc-barcelona-2019-on-the-road-to-selfdriving-cars-5g-will-make-us-better-drivers>

infrastruttura, quello che manca sono le disposizioni legislative e la cultura della mobilità sostenibile.

In Europa si sta discutendo da tempo sull'obbligo della connettività a bordo per rendere più sicure le strade e ridurre il numero di incidenti, ma nessuna direttiva in tal senso è stata al momento adottata dalla Commissione Europea, probabilmente anche perché resta aperta la decisione di politica-commerciale su quale piattaforma tecnologica per la comunicazione a corto raggio sia da adottare.

4. Prevenzione catastrofi e sicurezza urbana

4.1. Prevenzione dalle catastrofi

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella prevenzione delle catastrofi è un campo in continua evoluzione che offre interessanti soluzioni per prevenire i rischi, mitigare i danni, salvaguardare la salute pubblica e l'ambiente. Le catastrofi possono essere di origine naturale (eventi atmosferici estremi, eruzione di vulcani, terremoti, tsunami, pandemie, ecc.), antropogenica (disastri nucleari, sversamenti di petrolio dovuti a incidenti navali o su piattaforme marine, ecc.) o combinata (un terremoto che innesci un disastro nucleare). In ogni caso i costi in termini sociali, ambientali ed economici possono essere elevatissimi, da cui la necessità dei governi di tutto il mondo di sviluppare tecnologie che permettano di prevenire questi disastri e mettere in salvo tempestivamente tutti coloro che potrebbero esserne colpiti.

Grazie alle capacità sempre più sofisticate degli algoritmi di apprendimento automatico, stiamo assistendo a un'accelerazione nell'adozione di soluzioni basate sull'IA per quanto riguarda la prevenzione, l'allarmistica, la gestione degli eventi catastrofici. Oltre alle metodologie di analisi evolute a fare la differenza è, come sempre, la disponibilità dei dati e delle fonti da cui provengono: sensori, satelliti, stazioni meteorologiche, sistemi di monitoraggio ambientale, social media e altro ancora. Data la difficoltà di predisporre ex novo sistemi di rilevazione distribuiti su larga scala, si sta cercando di implementare le funzioni di reti infrastrutturali già esistenti, per fornire dati utili allo scopo. Un esempio sono gli studi che si stanno conducendo per sfrut-

tare il cavo sottomarino in fibra ottica Curie, che collega la California al Cile, lungo circa 10.500 chilometri, per avere dati sull'attività sismica della faglia di Sant'Andrea, utili a predisporre sistemi di allarme precoce per le popolazioni costiere interessate, riguardanti eventi sismici e tsunami²⁴.

L'allarme precoce è un'applicazione chiave nella prevenzione delle catastrofi. Questi sistemi utilizzano modelli predittivi per monitorare costantemente le condizioni ambientali e individuare segnali di pericolo che potrebbero indicare la possibilità del manifestarsi di una catastrofe, come un'eruzione vulcanica, un'alluvione, un incendio boschivo, un uragano. Una volta individuato il rischio potenziale, il sistema di allarme precoce avvisa immediatamente le autorità competenti e la popolazione locale, consentendo di prendere le misure necessarie in tempi rapidi. Ad esempio, attraverso specifici modelli previsionali è possibile stimare la traiettoria di un uragano o la propagazione di un incendio forestale, consentendo agli operatori di valutare le migliori strategie di evacuazione della popolazione o di spegnimento del fronte di fuoco.

La piattaforma basata sull'IA "Flood Hub"²⁵ di Google, progettata specificamente per contrastare il rischio inondazioni in più di ottanta Paesi, Italia compresa, è in grado di prevedere eventi estremi fino a sette giorni prima che si verifichino, grazie all'integrazione dei dati satellitari e delle previsioni meteo, riuscendo a definire con precisione i livelli di inondazione e le aree interessate.

"Firehub"²⁶ è un sistema di prevenzione basato sull'IA in grado di elaborare i dati di Copernicus, il programma di osservazione satellitare europeo, per mappare le aree a rischio e far scattare tempestivamente gli allarmi antincendio. È utilizzato ad esempio dalla Protezione civile greca per fronteggiare la piaga degli incendi che da anni, soprattutto d'estate, stanno flagellando con regolarità il territorio ellenico.

²⁴ Zhan Z., Cantono M., Kamalov V., et. al. (2021), "Optical polarization-based seismic and water wave sensing on transoceanic cables", in *Science*, vol. 371-6532, testo disponibile al sito: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abe6648>

²⁵ Flood Hub (2024), Google, piattaforma disponibile al sito: <https://sites.research.google/floods>

²⁶ Fire Hub, Beyond Centre of EO Research & Satellite Remote Sensing, la piattaforma è disponibile al sito: <http://beyond-eocenter.eu/index.php/web-services/firehub>

Un ulteriore esempio di utilizzo dell'intelligenza artificiale nella prevenzione delle catastrofi è fornito dalla piattaforma multirischio A4EU realizzata a partire dal 2019 per mezzo del progetto europeo Horizon 2020 Anywhere²⁷. Il sistema fornisce una serie di informazioni utili alle istituzioni e ai cittadini per far fronte agli impatti indotti dalle condizioni meteorologiche estreme, prima che si verifichino.

4.2. Sicurezza urbana

Tutti noi abbiamo in mente le immagini del film *Minority Report* (diretto da Steven Spielberg nel 2002 e interpretato, tra gli altri, da Tom Cruise) in cui, in una Washington del futuro un po' inquietante, la polizia riusciva a prevenire gli omicidi prima ancora che avvenissero, grazie alle premonizioni di tre individui dotati di poteri extrasensoriali collegati ad un sistema di IA. Senza arrivare agli estremi futuristici di quella pellicola, l'integrazione dell'intelligenza artificiale nella sicurezza urbana può in effetti offrire una vasta gamma di applicazioni e di opportunità che riguardano la sorveglianza e l'analisi dei dati per la prevenzione del crimine.

Ad esempio, in aree metropolitane, centri commerciali, stazioni ferroviarie e aeroportuali possono essere utilizzate tecnologie che prevedono l'affiancamento di sistemi di videosorveglianza con software di riconoscimento facciale e vocale e strumenti per l'analisi dei comportamenti. Alcune di queste tecniche fanno ricorso all'intelligenza artificiale. Si pensi al riconoscimento del timbro della voce, che è un parametro personale individuale, come un'impronta digitale. È anche possibile integrare dati biometrici multipli: ad esempio riconoscimento facciale associato a un'impronta digitale o al riconoscimento della retina. Soprattutto negli Usa, sono molte le iniziative di ricerca volte a migliorare la percezione di sicurezza urbana e ridurre l'impatto sociale della microcriminalità: ad es. la verifica del legame tra le caratteristiche spaziali dei luoghi, quindi il modo in cui sono state pro-

²⁷ Anywhere (EnhANCing emergencY management and response to extreme WeatHER and climate Events); Horizon 2020 Programme, piattaforma disponibile al sito: <http://anywhere-h2020.eu/>

gettate le città, e i vari tipi di crimine²⁸; oppure l'utilizzo dell'IA per analizzare in tempo reale i dati provenienti dalle telecamere di sorveglianza ai fini di identificare e valutare istantaneamente comportamenti anomali rispetto alla sicurezza²⁹, o la presenza di armi da fuoco³⁰. Si possono anche citare varie sperimentazioni pilota, come quella condotta, non senza polemiche, nel 2018 dalla catena di farmacie statunitense Rite Aid Corp che, per prevenire i furti, aveva installato il sistema di sicurezza DeepCam in 200 dei suoi oltre 2.000 punti vendita³¹. Analoga sperimentazione fu fatta, sempre utilizzando lo stesso sistema IA, nel 2018 dalla catena di negozi in franchising 7-Eleven in Virginia. Negli Usa ha fatto molto discutere anche il caso di un'altra azienda, la ShotSpotter, che ha commercializzato un sistema di sicurezza che consentiva di avvisare le autorità di polizia in tempo reale in caso di sparatoria, indicando il punto in cui era avvenuta grazie al rilevamento dei suoni captati con algoritmi di machine learning.

È evidente che il terreno su cui interagiscono intelligenza artificiale e sicurezza urbana sia particolarmente scivoloso. L'implementazione dei sistemi di sorveglianza automatizzata può determinare l'invasione del diritto di privacy dei cittadini. Gli algoritmi utilizzati dall'IA possono essere soggetti a "bias", ossia pregiudizi, e potrebbero indurre discriminazioni nei confronti di talune comunità o gruppi etnici. Ad esempio, se i dati utilizzati per addestrare un sistema di rilevamento dei criminali sono sbilanciati verso una certa etnia, il sistema potrebbe essere incline a discriminare quella specifica popolazione. E poi, anche se l'IA può essere molto efficace nel rilevare comportamenti sospetti o crimini, c'è sempre il rischio di errori e "falsi positivi" che potrebbero portare ad arresti ingiusti o sospetti non fondati.

²⁸ Bappee F.K., Soares Júnior A., Matwin S., (2018), "Predicting Crime Using Spatial Features", in E. Bagheri, J. Cheung edited by, *Advances in Artificial Intelligence*, Conference paper in Computer Science, vol. 10832, Springer, testo disponibile al sito: https://doi.org/10.1007/978-3-319-89656-4_42

²⁹ Chackravarthy S., Schmitt S., Yang L. (2018), "Intelligent Crime Anomaly Detection in Smart Cities Using Deep Learning", in *IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)*, Philadelphia, pp. 399-404, testo disponibile al sito: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8537858>

³⁰ Romero D., Salamea C. (2019), "Convolutional models for the detection of firearms in surveillance videos", in *Applied Sciences*, vol. 9-15.

³¹ Dastin J. (2020), *Rite Aid deployed facial recognition systems in hundreds of U.S. stores, Reuters Investigation*, testo disponibile al sito: <https://www.reuters.com/investigates/special-report/usa-riteaid-software/>

I sistemi IA per loro natura sono opachi, il che rende difficile comprendere con chiarezza come sono stati addestrati, come vengono prese le decisioni o come sono elaborati i dati. La mancanza di trasparenza rappresenta un vulnus che, su un tema così delicato, può minare la fiducia dei cittadini nei confronti delle autorità e dei sistemi di sicurezza utilizzati.

5. Monitoraggio ambientale

5.1. Sensori intelligenti

I sensori intelligenti rappresentano una componente fondamentale nell'ambito del monitoraggio ambientale, permettendo una raccolta massiva e dettagliata e in tempo reale di dati ai fini di consentire una migliore comprensione dei fenomeni ambientali e favorire l'implementazione di misure di mitigazione e adattamento mirate³². I dati che possono essere raccolti attraverso specifici sensori sono molteplici: temperatura, umidità, qualità dell'aria, livelli di inquinanti, radiazioni UV e molto altro ancora. Esistono diverse tipologie di sensori a seconda dell'oggetto di analisi.

- *Sensori di qualità dell'aria*: identificano la presenza di inquinanti atmosferici come biossido di azoto (NO₂), monossido di carbonio (CO), particolato sospeso (PM_{2.5} e PM₁₀), ozono (O₃) e altri composti volatili organici (VOCs).
- *Sensori meteorologici*: misurano temperatura, precipitazioni, umidità, pressione atmosferica e radiazione solare, contribuendo alla comprensione del microclima urbano e alla definizione di strategie ad es. per la mitigazione degli effetti di isole di calore e ondate di calore.
- *Sensori per l'acqua*: monitorano la qualità dell'acqua in fiumi, laghi, falde acquifere, reti idriche e fognarie, rilevando contaminanti e inquinanti, informazioni utili per valutare lo stato ambientale

³² Ullo S.L., Sinha G.R. (2020), "Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors", in *Sensors*, vol. 20-11, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/s20113113>

degli ecosistemi acquatici e garantire la sicurezza e la qualità dell'approvvigionamento idrico.

- *Sensori di radiazioni UV*: misurano l'intensità delle radiazioni solari ultraviolette (UV), fornendo informazioni per valutare il rischio di danni alla pelle e ai tessuti vegetali dovuti all'esposizione prolungata al sole.
- *Sensori di rumore ambientale*: misurano il livello di inquinamento acustico nelle aree urbane, fornendo dati utili alla pianificazione urbana e alla gestione del traffico.
- *Sensori di monitoraggio dell'energia*: misurano il consumo energetico degli edifici e delle strutture, fornendo dati per migliorare l'efficienza energetica del patrimonio edilizio.
- *Sensori di monitoraggio del traffico*: raccolgono informazioni sul traffico veicolare, pedonale e ciclabile per ottimizzare la gestione della mobilità e predisporre strumenti urbanistici adeguati come i Piani Urbani per la Mobilità Sostenibile (PUMS).

Attraverso questi esempi è facile comprendere che l'utilizzo di sensori intelligenti per il monitoraggio ambientale urbano presenta molte utilità, ma anche diverse criticità, come i costi elevati per l'installazione e la manutenzione di una rete di controllo efficiente, e probabilmente anche la mancanza di standard codificati tra le diverse fonti di rilevamento. Nonostante ciò, l'utilizzo di queste tecnologie è destinato a diffondersi, migliorando la conoscenza dei fenomeni alla base di qualsiasi strategia per rendere le città più resilienti ai cambiamenti climatici e i cittadini più rispettosi dell'ambiente.

5.2. Raccolta ed elaborazione dati

La raccolta dei dati ambientali può essere effettuata attraverso una varietà di strumenti e di tecniche, che vanno dalla misurazione diretta sul campo, all'utilizzo di sensori (fissi o mobili), a sistemi di monitoraggio automatizzati, fino all'uso dei satelliti³³. L'utilizzo di questi ultimi per il monitoraggio dei parametri ambientali si ha già a partire

³³ Yang X.X. a cura di (2022), *Urban remote sensing: monitoring, synthesis and modeling in the urban environment*, Wiley Blackwell, Usa

dagli anni settanta³⁴, ma è con l'avvento dell'intelligenza artificiale che la tecnologia di rilevamento satellitare ha potuto esprimere tutte le sue potenzialità di impiego. I satelliti possono essere utilizzati per acquisire dati ambientali laddove sia necessaria una visione su vasta scala delle condizioni ambientali, come il monitoraggio dei fenomeni di deforestazione, di urbanizzazione, delle attività agricole, ecc. Utilizzando dati satellitari e algoritmi di machine learning è possibile monitorare e gestire in modo preciso l'irrigazione, la fertilizzazione e la protezione delle coltivazioni, riducendo al contempo l'uso di pesticidi e fertilizzanti chimici (abbiamo trattato questo argomento nel paragrafo sull'"agricoltura di precisione"). In ambito urbano le rilevazioni satellitari possono contribuire alla misurazione del consumo di suolo, alla sorveglianza dell'uso del territorio, al monitoraggio dello stato di salute delle essenze vegetali, alla rilevazione delle temperature nei diversi ambiti urbani, etc.

Anche la popolazione residente può contribuire alla raccolta di dati ambientali, attraverso l'uso degli smartphone, o di altri dispositivi portatili, anche semplicemente per il fatto di avere il cellulare acceso con la funzione GPS attiva: è in questo modo, ad esempio, che Google Maps riesce a fornire informazioni dettagliate sul traffico e a suggerire itinerari alternativi in tempo reale.

Le stazioni di monitoraggio fisso a terra rappresentano un'ulteriore metodologia di rilevamento dai dati ambientali. Opportunamente posizionate in punti strategici della città, grazie ai sensori intelligenti riescono a rilevare con precisione i parametri ambientali che poi saranno elaborati da piattaforme di IA.

Se si vogliono effettuare misurazioni ambientali in aree difficilmente accessibili o in movimento, ad esempio in casi di principio di incendio, allora si può ricorrere ai droni o altri veicoli per il monitoraggio mobile³⁵.

³⁴ Carter W.D., Paulson R.W. (1978), "Introduction to Monitoring Dynamic Environmental Phenomena of the World Using Satellite Data Collection Systems", in *Geological Survey circular*, vol. 803, U.S. Geological Survey, testo disponibile al sito: <https://play.google.com/books/reader?id=P0slQpdA-6kC&pg=GBS.PP4&hl=it>

³⁵ Sungheetha A., Sharma R. (2020), "Real Time Monitoring and Fire Detection using Internet of Things and Cloud based Drones", in *JSCP*, Vol. 2-3, testo disponibile al sito: https://www.researchgate.net/publication/343233891_Real_Time_Monitoring_and_Fire_Detection_using_Internet_of_Things_and_Cloud_based_Drones

5.3. *Comunicazione dei dati ambientali*

I dati ambientali, raccolti attraverso i diversi strumenti che abbiamo visto, assumono valore solo se sono correttamente contestualizzati, interpretati, comunicati e resi accessibili a tutti i portatori di interesse.

La cura dei dati e la loro comunicazione diventa quindi un fattore non secondario per riuscire a introdurre in ambito urbano azioni efficaci di adattamento climatico. Comunicazione non significa trasmissione di dati grezzi, ma comporta la trasformazione dei dati in informazioni comprensibili e fruibili da parte dei diversi stakeholders: cittadini, decisori pubblici, tecnici e scienziati, media. Ognuna di queste categorie necessita di informazioni specifiche, veicolate attraverso strumenti idonei.

I cittadini hanno bisogno di una comunicazione diretta e immediata, ad es. effettuata sui social media o su specifiche app, che fornisca loro dati inerenti qualità dell'aria, rischio di eventi climatici estremi, condizioni del traffico in tempo reale, consigli per comportamenti sostenibili, ecc. I decisori politici necessitano di dati aggregati e analisi puntuali, fruibili attraverso piattaforme web e campagne di sensibilizzazione, per supportare le decisioni di pianificazione urbanistica e per valutare l'efficacia e il gradimento delle politiche adottate. I tecnici e gli scienziati devono poter accedere a banche dati con contenuti granulari e disaggregati per le loro ricerche e per lo sviluppo di modelli di simulazione, che poi condividono con la comunità scientifica attraverso report e pubblicazioni specialistiche. I media richiedono informazioni tempestive, che spesso ottengono attraverso comunicati stampa, eventi o seminari, per sensibilizzare l'opinione pubblica su possibili rischi ambientali. È chiaro, quindi, che la comunicazione dei dati ambientali debba essere un processo studiato in modo opportuno, diversificato, trasparente, accessibile, inclusivo, e soprattutto non monodirezionale³⁶.

La comunicazione è uno strumento efficace per coinvolgere i cittadini nella gestione partecipata del territorio, sensibilizzandoli, ad es.,

³⁶ Chien F., Anwar A., Hsu CC. et. al. (2021), "The role of information and communication technology in encountering environmental degradation: Proposing an SDG framework for the BRICS countries", in *Technology in Society*, Vol. 65, pp. 168-174, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101587>

sui rischi e le sfide associate ai cambiamenti climatici, nell'intento di disseminare una maggiore cultura ambientale e incoraggiare comportamenti responsabili. Se ciò è importante per i Paesi europei, che comunque, a meno di rigurgiti sovranisti, hanno già intrapreso con decisione la strada della decarbonizzazione (Green Deal EU), lo è a maggior ragione per i Paesi ad economia avanzata come gli Usa, ondivaghi nel definire la loro posizione sulle questioni ambientali a seconda dall'alternanza politica democratici/repubblicani, e soprattutto per i Paesi BRICS ad economia emergente, da cui dipenderà buona parte delle sorti ambientali del nostro pianeta.

6. Gestione dell'energia

6.1. Ottimizzazione energetica

Il cambiamento climatico impone una rivisitazione del modello energetico che abbiamo utilizzato a partire dal secolo scorso per lo sviluppo delle nostre città. La ricerca di un futuro sostenibile richiede un impegno concreto verso l'efficientamento energetico, obiettivo raggiungibile solo attraverso l'implementazione di tecnologie innovative e di lungo periodo. In questo contesto, l'intelligenza artificiale può fornire un contributo importante, attraverso una serie di soluzioni in grado di analizzare i dati energetici, identificare le opportunità di risparmio, sviluppare strategie per ottimizzare la gestione energetica urbana e ridurre di conseguenza l'impronta di carbonio³⁷.

L'IA permette di analizzare grandi volumi di dati provenienti da differenti fonti, come sensori intelligenti, reti elettriche e sistemi di monitoraggio energetico. L'apprendimento automatico da questi dati consente di creare modelli predittivi in grado di stimare la domanda di energia e di individuare inefficienze e sprechi all'interno del sistema. In questo modo, è possibile ottimizzare l'utilizzo delle risorse energetiche, indirizzandole dove e quando è necessario. Le smart grid sup-

³⁷ Li J., Herdem M.S., Nathwani J., Wen J.Z. (2023), "Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management", in *Energy and AI*, Vol. 11, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100208>

portate dall'intelligenza artificiale possono regolare i flussi di energia in tempo reale, bilanciando domanda e offerta e integrando opportunamente l'approvvigionamento energetico con l'apporto da fonti rinnovabili.

Utilizzando algoritmi di machine learning, si può prevedere la domanda energetica futura in base a variabili come il clima, le condizioni meteo, gli schemi di utilizzo delle attività industriali. Queste previsioni consentono ai gestori energetici di pianificare in modo efficace la produzione e la distribuzione dell'energia, limitando gli sprechi e le sovrapproduzioni. Anche la decentralizzazione della produzione può dare un contributo in tale senso, attraverso la creazione di "Comunità energetiche" e sistemi di autoconsumo.

Una parte significativa del consumo energetico complessivo delle città è dovuto all'illuminazione pubblica e agli impianti di riscaldamento e raffreddamento degli edifici pubblici. L'IA può essere impiegata per ottimizzare questi sistemi, regolando l'intensità luminosa della rete pubblica, o la temperatura degli ambienti confinati, in base alle condizioni ambientali, all'orario e alle necessità effettive degli utenti. Lo stesso può essere fatto negli edifici privati, dove un elemento ulteriore può essere rappresentato dall'adozione di tecnologie domestiche e di smart home, che permettono agli utenti, tra l'altro, di controllare e monitorare i costi dei loro consumi energetici.

6.2. Efficientamento energetico degli edifici

Secondo il *Global Status Report for Buildings and Construction* pubblicato nel 2022 dalle Nazioni Unite, il comparto edilizio è responsabile del 34% della domanda energetica globale e del 37% delle emissioni di anidride carbonica legate all'energia, considerando sia le emissioni dirette degli edifici, che le emissioni indirette derivanti dalla realizzazione degli stessi³⁸. Rendere il ciclo edilizio più efficiente dal punto di vista energetico è quindi necessario e ciò potrebbe essere facilitato da soluzioni basate sull'intelligenza artificiale.

³⁸ UN Environmental Programme (2022), *Global Status Report for Buildings and Construction*, report è disponibile al sito: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>

In primo luogo, il rilevamento degli sprechi di energia e le anomalie nei consumi: eventuali scostamenti significativi nei consumi rilevati dall'IA, possono indicare problemi o inefficienze dei sistemi energetici, come malfunzionamenti delle apparecchiature, che possono essere riparate o sostituite tempestivamente. Ciò è particolarmente importante nelle strutture di grandi dimensioni, dove il monitoraggio di tutti i parametri può essere complesso. L'IA può essere utilizzata anche per ottimizzare il controllo dei sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria (HVAC), attraverso modelli di controllo predittivo (MPC) che, elaborando informazioni provenienti da sensori dell'edificio, dal meteo esterno e dallo stato della rete elettrica, possono individuare il miglior compromesso tra livelli di comfort, consumi energetici ed emissioni di carbonio. Un altro contributo dell'IA può essere riferito alla possibilità di modulare la domanda di energia all'interno di un edificio o di una struttura edilizia per adeguarla alla disponibilità dell'offerta, principalmente durante i picchi di domanda. L'IA può essere utilizzata anche per ottimizzare le prestazioni energetiche dell'involucro degli edifici, ossia degli elementi fisici che separano l'interno dell'edificio dall'ambiente esterno, come pareti, tetti, finestre. La conoscenza precisa della qualità dell'involucro può evidenziare aree di inefficienza, come la perdita di calore attraverso pareti scarsamente isolate, o infissi poco performanti, suggerendo miglioramenti mirati. La ricerca scientifica supportata dall'IA può pervenire alla scoperta di nuovi materiali, climaticamente performanti, con impronta ecologica di basso impatto ambientale. L'IA può contribuire, infine, all'ottimizzazione dell'illuminazione negli edifici, regolando dinamicamente l'intensità in base alla presenza di persone e alla luce naturale disponibile.

Quelle elencate sono solo alcune delle possibilità offerte dall'intelligenza artificiale per migliorare l'efficienza energetica degli edifici. Il settore è in continua evoluzione, e si può facilmente prevedere che vedrà una crescita significativa nei prossimi anni, data l'importanza strategica di ridurre i costi energetici e l'impatto ambientale dell'intero ciclo edilizio ai fini del raggiungimento degli obiettivi climatici globali che ci siamo prefissati.

6.3. Consumo di energia dell'IA

Il rovescio della medaglia dell'utilizzo dell'intelligenza artificiale per l'ottimizzazione dei sistemi energetici è il consumo di energia necessario proprio per far funzionare l'IA. Gli algoritmi di machine learning e deep learning richiedono una grande quantità di calcoli matematici e operazioni logiche; le operazioni di addestramento e di inferenza dei modelli IA sono eseguite su server e data center, che richiedono notevoli quantità di energia per mantenere le temperature adeguate e garantire prestazioni ottimali. Tutto ciò comporta un consumo di energia molto elevato. Quanto elevato? È argomento di discussione, anche in considerazione della scarsa trasparenza delle aziende che creano reti neurali, che in assenza di precise imposizioni normative, sono restie a fornire informazioni dettagliate su come i modelli vengono addestrati e su quali impatti l'intero processo possa avere sull'ambiente: dalla realizzazione delle componenti hardware, all'addestramento, all'utilizzazione del sistema.

Per quanto riguarda il consumo di energia, ci sono ricercatori che sostengono che lo sviluppo del settore IA potrebbe portare a consumare a scala globale da 85 a 134 TeraWatt all'anno, una quantità di energia pari a quella dei Paesi Bassi³⁹. Altri hanno calcolato che generare una sola immagine utilizzando un potente modello IA richiede tanta energia quanto quella necessaria a ricaricare completamente uno smartphone⁴⁰. Si tratta di cifre impressionanti che equivalgono, se fossero confermate, a circa lo 0,5% del consumo energetico odierno di tutto il pianeta, con proiezioni di aumento esponenziali che ci farebbero avvicinare alla doppia cifra decimale già in questo decennio⁴¹.

C'è un ulteriore fattore da considerare oltre al consumo di energia elettrica: il fabbisogno di acqua. Per raffreddare i data center che alimentano i sistemi di intelligenza artificiale sono infatti necessarie

³⁹ De Vries A. (2023), *The growing energy footprint of artificial intelligence*, Joule, vol.7-10, pp. 2191-2194, testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435123003653>

⁴⁰ Luccioni A.S., Jernite Y., Strubell E. (2023), *Power Hungry Processing: Driving the Cost of Deployment?* testo disponibile al sito: <https://arxiv.org/pdf/2311.16863v1.pdf>

⁴¹ Ruggero N. (2024), *Ma quanta energia consuma l'IA?* Agenda Digitale, aprile 2024, testo disponibile al sito: <https://www.agendadigitale.eu/smart-city/ma-quanta-energia-consuma-lai-strategie-per-renderla-piu-sostenibile/>

enormi quantità di acqua. Così verrebbero a giustificarsi, secondo alcuni⁴², gli aumenti del 34% del consumo di acqua in un solo anno di Microsoft⁴³ (partner di OpenAI nello sviluppo di ChatGPT) e quello del 20% di Google⁴⁴ (proprietaria di Gemini), registrati nei loro “Environmental Sustainability Report 2022”.

Ad equilibrare le posizioni più allarmanti, ci sono ricercatori che sostengono che i modelli previsionali utilizzati per elaborare queste stime sono fuorvianti perché per fare un calcolo corretto si sarebbero dovuti considerare molti più fattori dei semplici consumi di acqua ed energia. In un Report realizzato dal Center for Data Innovation (CDI) dell'Information Technology and Innovation Foundation (che però – va detto – è una Fondazione sostenuta finanziariamente da colossi dell'high tech come Intel, Microsoft, Google, Meta e AMD) si pone l'accento sui vantaggi, in termini di impronta di carbonio, legati allo sviluppo dei chip, alle tipologie dei sistemi di raffreddamento, alle localizzazioni dei data center e alle caratteristiche dei software, oltre che naturalmente all'utilizzo di fonti rinnovabili di energia. In effetti quando si tratta di stimare l'energia consumata dall'IA, e ancora di più la sua “impronta di carbonio” (carbon footprint), emerge il problema delle fonti e dei dati. I dati non sono noti con precisione e possono essere eterogenei in base a chi li fornisce. Quelli empirici sono limitati; quelli più utili in genere sono di proprietà delle aziende private, che li custodiscono gelosamente. C'è da considerare, inoltre, che la tecnologia cambia così rapidamente che anche quei pochi dati puntuali di cui si riesce a disporre, rischiano di diventare obsoleti nel giro di breve tempo.

Per quanto riguarda l'addestramento di un sistema IA, i ricercatori portatori di posizioni meno allarmistiche sottolineano che l'errore più frequente di chi, al contrario, ne sottolinea l'impatto energetico è quello di considerare dei valori massimi per elaborare i modelli previ-

⁴² O'Brian M., Fingerhut H. (2023), Apnews.com, September 2023, testo disponibile al sito: <https://apnews.com/article/chatgpt-gpt4-iowa-ai-water-consumption-microsoft-f551fde98083d17a7e8d904f8be822c4>

⁴³ Microsoft Environmental Sustainability Report (2022), Microsoft, testo disponibile al sito: <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RW15mgm>

⁴⁴ Google Environmental Sustainability Report 2022 (2024), Google, testo disponibile al sito: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2022-environmental-report.pdf>

sionali sull'intero sistema⁴⁵. L'elaborazione di un'immagine, utilizzata spesso come base di calcolo, in realtà consuma molta più energia rispetto, ad esempio, all'elaborazione di un testo; e ancora la fase di addestramento del modello, che avviene perlopiù una tantum, ha in genere un consumo superiore alla fase di utilizzo.

In realtà la ripartizione esatta tra addestramento e utilizzo è di difficile misurazione e comunque varia a seconda dei casi d'uso: generalizzare potrebbe significare commettere errori macroscopici di valutazione. È importante, comunque, considerare che nel calcolo dei consumi energetici o del footprint dell'IA bisogna tener conto che gli scenari sono in continua evoluzione. Le aziende migliorano costantemente le performance ambientali dei loro prodotti perché il mercato e le norme glielo impongono.

A questa prima fase di sviluppo in cui le aziende hanno fatto investimenti molto consistenti per acquistare più chip e per costruire più data center, molto probabilmente farà seguito una seconda fase di stabilizzazione in cui le aziende saranno costrette a porsi dei limiti di budget, concentrandosi sull'ottimizzazione piuttosto che sulla crescita esponenziale delle potenze di calcolo. Già adesso laboratori di ricerca in tutto il mondo sono impegnati a sviluppare nuove tecniche per ridurre il consumo di energia dei data center cercando un compromesso tra velocità di calcolo e risparmio energetico. Il MIT di Boston (per la precisione il Lincoln Laboratory Supercomputing Center), per esempio, ha addestrato il popolare modello linguistico BERT, limitando la potenza della GPU a 150 watt, ottenendo di conseguenza un aumento dei tempi di addestramento comunque accettabile (da 80 a 82 ore), ma un sensibile risparmio energetico equivalente al consumo settimanale medio di una famiglia statunitense⁴⁶.

Al di là delle considerazioni che possono essere fatte sulle oggettive difficoltà di stimare il fabbisogno energetico dell'IA nei prossimi anni, un'analisi critica delle sfide ambientali dell'intelligenza artificiale non

⁴⁵ Abbà M. (2024), *AI e consumi energetici: chi punta il dito e chi guarda il dito e non la luna*, Network Digital 360, marzo, testo disponibile al sito: <https://www.zerounoweb.it/analytics/cognitive-computing/ai-e-consumi-energetici-chi-punta-il-dito-e-chi-guarda-il-dito-e-non-la-luna/>

⁴⁶ Foy K. (2023), "New tools are available to help reduce the energy that AI models devour", in *MIT Office of Sustainability*, MIT, Cambridge, testo disponibile al sito: <https://sustainability.mit.edu/article/new-tools-are-available-help-reduce-energy-ai-models-devour>

può prescindere dall'esplorazione di nuove soluzioni tecniche in corso. Algoritmi più efficienti, la ricerca di hardware a basso consumo energetico e l'ottimizzazione nello stoccaggio dei dati, sono solo alcune delle strade che la ricerca scientifica dovrà percorrere per risolvere le problematiche ambientali legate allo sviluppo dell'IA. La collaborazione tra industrie, istituzioni accademiche e governi, gioca in tal senso un ruolo decisivo.

Se da un lato, quindi, l'IA può rappresentare una minaccia per l'ambiente per le ragioni che abbiamo analizzato, dall'altro è evidente che possa essere un alleato nella lotta contro i cambiamenti climatici e la perdita di biodiversità poiché può essere impiegata per ottimizzare l'uso delle risorse, migliorare l'efficienza dei sistemi energetici e guidare l'innovazione per la tutela ambientale.

7. Metabolismo urbano

7.1. Definizione e origini

Con il termine metabolismo urbano non si intende solo una visione metaforica dei fenomeni urbani, quanto piuttosto l'adozione di un modello organico di gestione della città, che implica la comprensione delle dinamiche urbane e la loro ridefinizione in chiave circolare.

Proviamo a immaginare la città come un essere vivente: per mantenersi in vita ha necessità di nutrirsi di alimenti che provengono anche da luoghi lontani, attraverso reti approvvigionamento e sistemi di trasporto complessi. Non tutti questi alimenti sono assimilati completamente, molti si accumulano nell'organismo, mentre altri vengono espulsi, sempre attraverso complicati sistemi logistici di smaltimento.

Le materie prime di cui la città necessita per vivere sono: aria, acqua, energia, prodotti della pesca e dell'allevamento, prodotti agricoli, materiali per l'edilizia, beni di consumo. Gli scarti che produce sono: rifiuti solidi urbani, acque reflue, inquinamento atmosferico, calore, scarti industriali, perdite dissipative. Consumo di risorse e smaltimento dei rifiuti non sono però i soli addendi contenuti nel concetto di metabolismo urbano, che include anche altri elementi come i sistemi di mobilità, l'inclusione sociale, i livelli di occupazione, la salute,

l'istruzione, la partecipazione dei cittadini ai processi decisionali, ecc.⁴⁷

L'idea di paragonare la città ad un organismo vivente non è nuova. Già negli anni sessanta Abel Wolman introduce il termine “metabolismo urbano” ed elabora un modello con cui studia i flussi di risorse in entrata e di residui in uscita di una ipotetica città da un milione di abitanti⁴⁸. Dopo di lui altri studiosi utilizzano concetti analoghi come “metabolismo industriale” (Robert Ayres⁴⁹), o “metabolismo del prodotto” (William McDonough⁵⁰), promuovendo l'idea che la città debba essere concepita come un sistema chiuso, in grado riutilizzare le risorse in modo efficiente, producendo solo scarti riciclabili o biodegradabili⁵¹. Divulgatori scientifici, come l'ambientalista Herbert Girardet, sono tra i primi a chiarire la differenza tra metabolismo lineare e circolare⁵²: in un modello lineare vi è un input di risorse e un output di rifiuti, in un modello circolare i rifiuti tendono ad azzerarsi perché quasi tutto è riutilizzato, esattamente come avviene in natura. È il ciclo naturale della vita, che da milioni di anni ha regolato gli equilibri del nostro pianeta: alla loro morte tutte le creature animali e vegetali diventano nutrimento per altre creature.

Oggi, il concetto di metabolismo urbano continua a evolversi, spinto dalla necessità di affrontare sfide globali come il cambiamento climatico e il depauperamento delle risorse ambientali. Metodologie innovative di rilevamento delle informazioni e nuove tecnologie di elaborazione dei dati attraverso l'intelligenza artificiale, consentono l'opportunità di ottimizzare l'efficienza delle città, aprendo nuovi orizzonti verso un uso più sostenibile delle risorse naturali ed un miglioramento complessivo della qualità della vita dei suoi abitanti.

⁴⁷ Pluchino P. (2019), *La città vivente*, Malcor D' ed., Catania.

⁴⁸ Wolman A. (1965), “The metabolism of cities”, in *Scientific American*, vol. 213-3, pp. 179-190.

⁴⁹ Ayres R.U. (1994), “Industrial metabolism: Theory and policy”, in R.U. Ayres, U.K. Simonis, (Eds.), *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*, United Nations University Press, Tokyo, pp. 3-20.

⁵⁰ McDonough W., Braungart M. (2022), *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, Tucson, Arizona.

⁵¹ Kennedy C., Cuddihy J., Engel-Yan J. (2007), “The changing metabolism of cities”, in *Journal of Industrial Ecology*, Vol 11-2, pp. 43-59, Yale University, New Haven.

⁵² Girardet H., *Creating Sustainable Cities: Cities are wasteful superorganisms that need a better understanding of how to develop a circular metabolism*, Green Books, Roma.

La città è un sistema complesso all'interno del quale interagiscono una moltitudine di componenti: persone, servizi, manufatti, dotazioni, infrastrutture, attività, ecc. Tutte queste componenti sono state pianificate e gestite in modo lineare, senza tener conto delle loro reciproche influenze, eppure esse si influenzano tra loro determinando meccanismi di causa ed effetto che si riverberano sull'intero sistema. Questo approccio può fornire una chiave interpretativa utile per comprendere le dinamiche complesse della città e ricondurle all'interno di una sorta di "super-organismo urbano"⁵³ che può essere studiato e riprogrammato in termini innovativi. La teoria del metabolismo urbano negli anni si è dunque evoluta: dalla semplice analisi dei flussi di risorse in-out, verso la messa a sistema di indicatori ambientali e sociali su scala più vasta, che consentono di includere tutti i processi che contribuiscono al buon funzionamento della città stessa ed osservarli nella reciproca interazione⁵⁴.

8. Raccolta e riciclo intelligente

8.1. Catena di approvvigionamento

Una catena di approvvigionamento (supply chain) è l'insieme dei passaggi che deve compiere un prodotto o un servizio per passare dalla sua ideazione, al consumatore finale. Questo percorso include la raccolta delle materie prime, la loro trasformazione, la produzione del prodotto, la sua distribuzione, il trasporto, il magazzinaggio e la vendita al dettaglio.

I recenti processi di globalizzazione, di delocalizzazione e di de-verticalizzazione delle produzioni hanno reso le supply chain molto complesse coinvolgendo una moltitudine di attori, che possono agire in luoghi anche molto distanti tra loro: fornitori, produttori, distributori, rivenditori, clienti. Un tempo era diverso, pensiamo ad esempio

⁵³ Pluchino P. (2021), "Metabolismo urbano: storia, framework e applicazioni di un approccio sistemico alle città", in *Materia Rinnovabile* n. 36.

⁵⁴ Céspedes Restrepo J.D., Morales-Pinzón T. (2018), "Urban metabolism and sustainability", in *Resources, Conservation and Recycling*, Science Direct, Vol. 131, pp. 216-224, testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917304615?via%3Dihub>

ad un negozio di un piccolo centro cittadino che vendeva dagli alimentari, ai giornali, ai tabacchi: la sua catena di approvvigionamento era limitata ai prodotti che i piccoli fornitori locali (contadini, allevatori, artigiani) gli conferivano quotidianamente, che venivano consumati in quantità pressoché costanti da una clientela consolidata.

Oggi l'estensione dei mercati ha reso la tracciabilità dei prodotti un requisito indispensabile, richiesto sia dal cliente come garanzia di qualità, che dal fornitore per tenere sotto controllo gli spostamenti delle merci. Il mercato è meno prevedibile, e la domanda dei consumatori può dipendere da fattori estemporanei come la moda, le politiche internazionali, la fluttuazione dei costi delle materie prime e dei combustibili fossili. Avere troppi o troppo pochi prodotti in magazzino può essere un problema.

L'intelligenza artificiale viene in aiuto essendo in grado di analizzare i dati sulle tendenze di vendite passate, sulle condizioni meteorologiche, fino agli eventi sociali e alle abitudini dei consumatori, per elaborare modelli previsionali su quanta domanda ci sarà di un determinato prodotto su uno specifico arco temporale⁵⁵. L'IA può dare un contributo anche nell'ottimizzazione delle scorte, per garantire la quantità giusta di prodotti nei punti vendita, ad esempio attraverso l'utilizzo di tecnologie di identificazione a radiofrequenza applicate alle merci in viaggio che ne consentono la tracciatura in tempo reale dei rifornimenti. Ciò permette una gestione precisa degli inventari che riduce significativamente il sovra stoccaggio o l'esaurimento delle scorte.

Un altro aspetto significativo dell'utilizzo dell'IA nella supply chain è la possibilità di fare interagire produttori, fornitori e rivenditori nella stessa piattaforma, condividendo i dati di vendita e di inventario per fare in modo che i primi possano pianificare in tempo la produzione e la consegna delle merci⁵⁶. Ciò consente una riduzione dei costi

⁵⁵ Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A. et al. (2021), "Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review", in *Journal of Business Research*, Volume 122, pp. 502-517, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>

⁵⁶ Manuelli R. (2024), *L'IA rende smart la supply chain*, Agenda Digitale, Marzo, Milano, testo disponibile al sito: <https://www.agendadigitale.eu/industry-4-0/lia-rende-smart-la-supply-chain-cosi-le-aziende-diventano-piu-efficienti/>

di magazzino e un miglioramento della disponibilità dei prodotti nei punti vendita.

L'IA può intervenire anche nella logistica della catena di approvvigionamento, attraverso sistemi *AI-driven* che analizzano in tempo reale vari fattori, come traffico, condizioni meteorologiche, e capacità di magazzino, per determinare i percorsi di consegna più efficienti e per organizzare in modo ottimale gli inventari dei centri di distribuzione. Un caso emblematico in tal senso è quello di Amazon che ha fatto consistenti investimenti nelle principali aree urbane per creare una rete di centri di distribuzione posizionati strategicamente che permettono di ridurre significativamente i tempi di consegna. Ogni Polo logistico utilizza sistemi avanzati di gestione degli inventari e sistemi robotizzati per velocizzare la preparazione e la spedizione della merce. Amazon sta addirittura sperimentando una flotta di consegna attraverso droni (Amazon Prime Air) che dovrebbe consentire in determinate aree urbane di avere un maggiore controllo del processo di consegna riducendo ulteriormente i tempi dei corrieri tradizionali. Durante il “Delivering the future”, importante evento del settore tenutosi a Seattle nel 2023, Amazon ha presentato il drone Mk30, un veicolo a decollo verticale già in funzione in alcune zone del Texas e della California, annunciando che entro la fine del 2024 la sperimentazione sarà portata anche in Italia e in Gran Bretagna. Amazon conta di servire sia condomini che case singole con giardino, soprattutto nei sobborghi delle grandi città, tramite consegna aerea diretta. Il pacco del peso inferiore ad un paio di kg verrà lasciato cadere da un'altezza di un paio di metri. Gli enti preposti per le autorizzazioni di volo (Enac e Enav per l'Italia) nel frattempo si stanno attrezzando per predisporre i regolamenti e le certificazioni necessarie.

8.2. Materiali riciclabili

L'intelligenza artificiale e i materiali riciclabili rappresentano due campi di ricerca che stanno convergendo con l'intento di affrontare le sfide ambientali più urgenti del nostro tempo⁵⁷. Questi settori apparen-

⁵⁷ Hua Yu K., Zhang Y., Li D., et.al. (2021), “Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence”, in *Environmental Impact Assessment*

temente lontani, infatti, trovano un punto di incontro nella sostenibilità, dove le capacità di analisi e di decisione dell'IA possono essere utilizzate per migliorare i processi di riciclo e ottimizzare l'uso delle risorse, ad esempio per il riconoscimento e la classificazione automatica dei materiali riciclabili.

Nelle piattaforme logistiche di smaltimento, i robot gestiti dall'intelligenza artificiale, attraverso apposite telecamere, possono analizzare molto rapidamente i rifiuti, identificando con precisione materiali come plastica, metallo, vetro e carta, che possono essere separati in modo più rapido ed efficace rispetto ai metodi tradizionali.

Un aspetto importante del riciclo è la capacità di ridurre la contaminazione dei materiali, che può compromettere la qualità del prodotto riciclato. Sensori integrati con algoritmi di machine learning, possono rilevare le impurità e i contaminanti presenti nei materiali durante il processo di riciclo, permettendo ai robot di intervenire per rimuovere gli elementi indesiderati, con una velocità ed una precisione senza precedenti. Questo non solo migliora la qualità dei materiali riciclati, ma aumenta anche l'efficienza complessiva del processo, riducendo i costi operativi e gli impatti ambientali.

Un altro campo di applicazione dell'IA nel riciclo è la previsione e l'ottimizzazione della gestione dei rifiuti⁵⁸. Gli algoritmi predittivi possono analizzare i dati storici e prevedere le future quantità e tipologie di materiali che entreranno nei sistemi di raccolta consentendo alle aziende municipalizzate di raccolta dei rifiuti di pianificare in modo più efficace le loro operazioni di raccolta, trasporto e trattamento.

È chiaro che la ricerca sui nuovi materiali gioca un ruolo decisivo nel processo di riciclo: materiali che possono essere riciclati più facilmente, o che possono degradarsi più rapidamente senza lasciare residui nocivi nell'ambiente. In un modello economico tradizionale, i prodotti sono progettati per un ciclo di vita lineare che termina con lo smaltimento. L'economia circolare, invece, ci invita a mantenere i materiali in uso il più a lungo possibile, riducendo la necessità di estrarre

Review, Vol. 86, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106492>

⁵⁸ Erkinay Ozdemir M., Ali Z., Subeshan B., (2021), "Applying machine learning approach in recycling" in *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 23-3, pp. 855-871, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01182-y>

nuove risorse e di conseguenza minimizzando gli scarti. L'IA può favorire questa transizione identificando nuove opportunità per il riuso e il riciclo dei materiali a fine vita, contribuendo alla produzione di nuovi materiali e alla progettazione di prodotti più sostenibili facilmente riciclabili.

Un esempio dell'applicazione dell'IA in questo ambito è il concetto di “gemello digitale” applicato ai materiali (nel capitolo sulla pianificazione urbana assistita dall'intelligenza artificiale avevamo già parlato del concetto di “Digital Twin”, però riferito alla città intera). Un gemello digitale di un prodotto è una replica virtuale di un oggetto fisico, che può essere utilizzata per simulare e ottimizzare i processi di produzione, uso e riciclo. Utilizzando dati raccolti durante l'intero ciclo di vita di un prodotto, l'IA può analizzare le prestazioni e prevedere i comportamenti dei materiali, identificando potenziali problemi e suggerendo eventuali miglioramenti.

Da non trascurare, infine, il ruolo fondamentale che l'IA può svolgere nei servizi di assistenza all'utenza e nella fase di comunicazione ai cittadini, contribuendo all'educazione e alla sensibilizzazione sul tema del riciclo. Le piattaforme di intelligenza artificiale possono essere utilizzate per sviluppare applicazioni personalizzate che insegnano ai consumatori come separare correttamente i rifiuti, quali materiali possono essere riciclati, quali sono i vantaggi, fornendo dati statistici e feedback, contribuendo così a diffondere la cultura del riciclo.

8.3. Mercati del riutilizzo

Il riutilizzo dei prodotti, a differenza del riciclo, implica l'estensione del loro ciclo di vita attraverso il reimpiego in nuove funzioni o la loro riparazione, riducendo così la domanda di nuove risorse⁵⁹.

È quello che la nostra società ha sempre fatto fino all'avvento del consumismo, ed è quello che i Paesi meno sviluppati continuano a fare: riciclare i prodotti, riparare gli oggetti che si rompono, adattare ad un nuovo uso i manufatti che non si utilizzano più. In questo modo

⁵⁹ Wang L., Liu Z., Liu A. et al. (2021), “Artificial intelligence in product lifecycle management”, in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.114, pp. 771-796, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06882-1>

gli oggetti hanno non una, ma due, tre vite. Se un tempo questo avveniva spontaneamente per ragioni puramente economiche, ora la pratica del riutilizzo trova nuovo incoraggiamento dalle ragioni ambientali.

Una delle principali aree in cui l'IA può contribuire ai mercati del riutilizzo è l'ottimizzazione della catena di fornitura e della logistica. Gli algoritmi di machine learning possono analizzare dati complessi per prevedere la disponibilità e la domanda di materiali riutilizzabili, migliorando la gestione delle scorte e riducendo gli sprechi. Ad esempio, le piattaforme di e-commerce per i beni di seconda mano o per l'invenduto possono utilizzare l'IA per suggerire prezzi ottimali, identificare tendenze di acquisto e personalizzare le offerte per gli utenti, rendendo più efficiente il mercato del riutilizzo.

Anche la raccolta e la distribuzione dei materiali può essere supportata attraverso la creazione di sistemi intelligenti di gestione dei rifiuti che possono includere sensori avanzati e tecnologie IoT per monitorare il flusso dei materiali nei centri di raccolta, classificando automaticamente i beni riutilizzabili e separandoli dai rifiuti. Questo processo non solo migliora l'efficienza, ma riduce anche i costi operativi.

Le tecnologie di visione artificiale, combinate con algoritmi di machine learning, possono essere utilizzate per ispezionare e valutare lo stato dei materiali, identificando difetti o danni che potrebbero comprometterne il loro riutilizzo. Questi sistemi di ispezione automatizzata garantiscono che solo i materiali di alta qualità vengano immessi nel mercato del riutilizzo, riducendo il rischio di prodotti difettosi e aumentando di conseguenza la fiducia dei consumatori.

L'IA gioca un ruolo anche nell'innovazione dei modelli di business basati sul riutilizzo. Le piattaforme economiche di condivisione, come quelle per il car-sharing o il noleggio di attrezzature, possono utilizzare algoritmi di machine learning per ottimizzare l'utilizzo delle risorse, prevedere la domanda e migliorare l'esperienza dell'utente⁶⁰. Ad esempio, si possono analizzare i dati di utilizzo per prevedere quando e dove saranno necessari i beni, ottimizzando la distribuzione e minimizzando i tempi di inattività.

⁶⁰ Maiolini R., Petti E., Rullani F. (2018), "L'innovazione dei modelli di business nella sharing economy: il caso italiano del car sharing", in *Sinergie: italian journal of management*, vol. 36-106, testo disponibile al sito: <https://ojs.sijm.it/index.php/sinergie/article/download/246/13>

Attraverso l'analisi dei dati sui cicli di vita dei prodotti, si possono aiutare le aziende a progettare prodotti più facili da riutilizzare, fornendo indicazioni sulle modalità di uso e sulle opportunità di miglioramento del design per facilitarne lo smontaggio e la riparazione.

Come per la diffusione dei materiali riciclabili, anche i mercati del riutilizzo necessitano di un'azione educatrice che sensibilizzi i consumatori verso pratiche virtuose, con l'obiettivo di restituire una seconda vita agli oggetti. Chatbot interattivi e strumenti di gamification possono coinvolgere gli utenti e incentivare comportamenti virtuosi, contribuendo a creare una cultura del riutilizzo a scala globale.

Piattaforme IA per la gestione delle scorte nei negozi di seconda mano, possono prevedere quali prodotti avranno una maggiore domanda in futuro, permettendo ai negozi di ottimizzare le loro offerte e ridurre gli sprechi. Inoltre, si possono sviluppare sistemi di raccomandazione personalizzati che suggeriscono ai clienti prodotti riutilizzati in base alle loro preferenze e ai loro comportamenti di acquisto passati, aumentando così le probabilità di vendita e la soddisfazione del cliente, come avviene adesso nell'e-commerce.

La cultura del riutilizzo naturalmente necessita di servizi di riparazione diffusi e adeguati. Le piattaforme online possono utilizzare l'IA per diagnosticare i problemi dei prodotti attraverso immagini o descrizioni fornite dagli utenti, offrendo soluzioni di riparazione fai-da-te o collegando gli utenti con i tecnici qualificati. Possono essere create reti di scambio locali per i materiali riutilizzabili mettendo in contatto persone e aziende che hanno materiali da riutilizzare con coloro che ne hanno bisogno, facilitando così la circolazione dei beni.

In sintesi, attraverso l'ottimizzazione della catena di fornitura, il miglioramento della qualità dei materiali, l'innovazione dei modelli di business e l'educazione dei consumatori, l'IA può contribuire significativamente a diffondere la cultura del riciclo e del riutilizzo, promuovendo la sostenibilità ambientale e l'economia circolare, ponendo così le basi per il superamento della fase del consumismo, da un punto di vista culturale prima ancora che economico.

9. Progettazione di prodotti sostenibili

9.1. Progettazione assistita dall'IA

Il contributo dell'IA nella progettazione di prodotti sostenibili inizia con la fase di ideazione, dove gli algoritmi generativi possono analizzare grandi quantità di dati per identificare i migliori prototipi e le soluzioni più innovative. Utilizzando tecniche di apprendimento automatico, si possono esaminare migliaia di soluzioni, evidenziare i punti di forza e di debolezza, e suggerire nuove idee che sfruttino le caratteristiche più adeguate ad ogni prodotto.

Questo approccio non solo accelera il processo di innovazione, ma garantisce anche che i nuovi progetti siano basati su dati analitici di monitoraggio dello stato dell'arte e su una comprensione approfondita delle esigenze del mercato.

Una delle tecnologie chiave nella progettazione assistita dall'IA è l'ottimizzazione generativa. Questo metodo utilizza algoritmi di intelligenza artificiale per generare una vasta gamma di soluzioni progettuali basate su specifici vincoli e obiettivi predefiniti. Ad esempio, se l'obiettivo è creare un prodotto con il minor impatto ambientale possibile, l'IA può esplorare diverse combinazioni di materiali, forme e processi di produzione, per trovare la soluzione più sostenibile. L'ottimizzazione generativa permette ai progettisti di esplorare rapidamente molte più opzioni rispetto ai metodi tradizionali, individuando soluzioni innovative che potrebbero non essere immediatamente evidenti.

L'IA può essere di aiuto anche nella scelta dei materiali per la progettazione di prodotti sostenibili. Attraverso l'analisi di database complessi, gli algoritmi possono identificare i materiali che offrono il miglior equilibrio tra prestazioni, costo e sostenibilità ambientale. Ad esempio, si possono selezionare materiali riciclati o biodegradabili che mantengono le prestazioni desiderate riducendo l'impatto ambientale. Inoltre, si può prevedere come si comporteranno i materiali nel tempo, garantendo che i prodotti siano progettati per durare e per essere facilmente riciclati o riutilizzati fino alla fine del loro ciclo di vita.

La progettazione assistita si estende anche alla fase di ingegnerizzazione e di produzione. Gli algoritmi possono ottimizzare i processi

di produzione per ridurre al minimo i rifiuti e il consumo energetico. Ad esempio, si possono analizzare le linee di produzione per identificare inefficienze e proporre modifiche che migliorino l'efficienza energetica e riducano gli scarti di materiale. Questo non solo riduce i costi operativi, ma contribuisce anche a un approccio più sostenibile del ciclo produttivo industriale.

Un altro aspetto importante è la durabilità del prodotto che può essere simulata per prevedere come i prodotti si comporteranno sotto diverse condizioni di utilizzo. In questo modo i progettisti possono identificare e correggere potenziali punti deboli prima che il prodotto venga lanciato sul mercato, garantendo una maggiore longevità e riducendo la necessità di sostituzioni frequenti.

La personalizzazione dei prodotti è un'altra area in cui possono essere utilizzati algoritmi di apprendimento automatico. Le aziende possono analizzare i dati dei consumatori per creare prodotti su misura che soddisfano specifiche esigenze e preferenze individuali. Questo contribuisce ad aumentare la soddisfazione del cliente, riducendo gli sprechi associati alla produzione di massa, in quanto i prodotti personalizzati tendono ad essere utilizzati più a lungo dai consumatori.

Il design degli imballaggi è un'altra componente fondamentale del ciclo di vita dei prodotti. Gli algoritmi possono analizzare diversi materiali di imballaggio, forme e processi di produzione per sviluppare soluzioni che riducono al minimo l'uso di materiali non riciclabili e ottimizzano lo spazio per il trasporto, riducendo così le emissioni di carbonio associate alla logistica. L'IA può suggerire soluzioni che rendono più semplice separare i componenti alla fine del ciclo del prodotto, migliorando così il recupero dei materiali. Questo è particolarmente importante per i prodotti complessi ad alto valore aggiunto, come l'elettronica, dove il riciclo efficace dei materiali richiede un disassemblaggio preciso e meticoloso.

Come abbiamo visto, l'IA può essere utilizzata anche per la tracciabilità delle merci nella catena di approvvigionamento. Gli algoritmi integrati ai database e ai sensori, possono monitorare l'origine dei materiali, assicurando che siano ottenuti in modo etico e sostenibile. Questo è particolarmente importante in settori come la moda e l'elettronica, dove la sostenibilità e l'etica della catena di fornitura possono rappresentare una criticità dell'intero sistema. Attraverso l'uso di

tecnologie come la blockchain, l'IA può garantire che le informazioni sui materiali siano accurate e verificabili, migliorando la fiducia dei consumatori nei prodotti che acquistano e nei loro produttori.

9.2. Analisi del ciclo di vita dei prodotti

L'analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment) dei prodotti è uno strumento importante nella progettazione sostenibile, dato che consente di valutare l'impatto ambientale di un prodotto lungo tutte le sue fasi: dall'estrazione delle materie prime alla produzione, all'utilizzo, fino alla dismissione o al riciclo.

La LCA riferita al comparto edilizio, che abbiamo visto essere uno dei maggiori responsabili della domanda energetica globale e delle emissioni di anidride carbonica, può essere distinta nelle seguenti fasi.

- La prima fase riguarda l'estrazione delle materie prime e la produzione dei materiali da costruzione, e include la misurazione dell'energia e delle risorse necessarie per estrarre, trasportare e trasformare le materie prime in materiali utilizzabili, come cemento, acciaio, legno e vetro. Gli impatti ambientali, in questa fase, comprendono le emissioni di gas serra, il consumo di energia, l'uso di acqua e la produzione di rifiuti.
- La seconda fase è la costruzione, che implica l'assemblaggio dei materiali per creare la struttura dell'edificio. Questa fase include anche il trasporto dei materiali al sito di costruzione, l'uso di macchinari e attrezzature, e la gestione dei rifiuti di costruzione. Gli impatti ambientali considerati in questa fase includono le emissioni di CO₂, l'inquinamento acustico, il consumo di risorse e la generazione di rifiuti.
- La terza fase riguarda l'impatto ambientale connesso al funzionamento dell'edificio che include il consumo di energia per il riscaldamento, il raffreddamento, l'illuminazione e gli altri servizi, oltre al consumo di acqua e alla gestione dei rifiuti.
- La quarta fase è la manutenzione dell'edificio e gli impatti ambientali sono associati alle riparazioni, alle sostituzioni di componenti, e agli aggiornamenti degli impianti tecnici.

- L'ultima fase del LCA è la demolizione dell'edificio e gli impatti ambientali sono connessi al suo abbattimento, al trasporto dei materiali di scarto e alle opzioni di riciclo o di smaltimento. L'adozione di pratiche di demolizione selettiva e il riciclo dei materiali possono ridurre significativamente l'impatto ambientale di questa fase.

L'intelligenza artificiale sta trasformando la LCA, rendendola più precisa ed efficiente sotto il profilo ambientale, consentendo alle aziende di prendere decisioni più consapevoli⁶¹. Il primo passo nell'analisi del ciclo di vita è la raccolta e l'elaborazione dei dati. Questo può includere dati sulle emissioni di CO₂, sul consumo di energia, sull'uso di acqua e sulla generazione di rifiuti per ogni fase del ciclo di vita del prodotto. L'IA può facilitare questo processo automatizzando la raccolta dei dati da una varietà di fonti, tra cui sensori industriali, database ambientali e report aziendali. Gli algoritmi di machine learning possono analizzare questi dati per identificare pattern e tendenze, migliorando la comprensione dell'impatto ambientale del prodotto.

Uno degli aspetti più interessanti dell'IA applicata alla LCA è la sua capacità di gestire e analizzare grandi quantità di dati in modo rapido e preciso, fattore particolarmente utile per le aziende che operano su scala globale, dove il tracciamento dell'impatto ambientale di tutte le componenti e di tutti i processi può essere particolarmente complesso. Gli algoritmi di intelligenza artificiale possono integrare dati provenienti dalle diverse fasi del ciclo di vita, fornendo una visione complessiva dell'impatto ambientale del prodotto e identificando le aree dove è possibile migliorare. Ad esempio, utilizzando tecniche di simulazione, gli algoritmi possono confrontare diverse ipotesi alternative di utilizzo di materiali o processi di produzione che possano influire diversamente sull'impatto ambientale complessivo del prodotto. Questo consente alle aziende di scegliere quelle soluzioni che offrono il miglior compromesso tra prestazioni, costi e sostenibilità.

Un altro vantaggio significativo dell'intelligenza artificiale nella LCA è la possibilità di customizzare l'analisi in base alle specifiche

⁶¹ Wang L., Liu Z., Liu, A. et al. (2021), "Artificial intelligence in product lifecycle management", in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 114, pp. 771-796, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06882-1>

esigenze dell'azienda o del settore. Gli algoritmi di machine learning possono essere addestrati su set di dati specifici per un particolare tipo di prodotto o processo produttivo, migliorando la precisione delle valutazioni e fornendo le soluzioni più adeguate. Ad esempio, un'azienda automobilistica potrebbe utilizzare l'IA per analizzare l'impatto ambientale delle diverse componenti di un veicolo elettrico, mentre un'azienda del settore alimentare potrebbe concentrarsi sugli effetti della produzione e del trasporto degli alimenti.

L'integrazione dell'IA con tecnologie emergenti, come l'IoT e la blockchain, può ulteriormente migliorare la trasparenza e l'accuratezza della LCA, aumentando di conseguenza anche la fiducia del consumatore. I sensori IoT possono fornire dati in tempo reale sulle prestazioni ambientali durante l'uso del prodotto, mentre la blockchain può garantire la tracciabilità e la verificabilità dei dati lungo tutta la catena di fornitura.

La comunicazione dei risultati della LCA ai diversi stakeholder, inclusi consumatori, verificatori e investitori, può essere facilitata attraverso l'utilizzo di algoritmi che possono trasformare i dati complessi in informazioni facilmente comprensibili, utilizzando visualizzazioni e report interattivi. Questo aiuta a dimostrare l'impegno dell'azienda verso la sostenibilità, e fornisce un contributo per prendere decisioni strategiche e per migliorare work in progress le pratiche aziendali. Gli algoritmi di apprendimento automatico possono anche identificare e correggere eventuali incoerenze o errori nei dati, migliorando l'affidabilità dei processi di valutazione. Questo può essere importante in un contesto in cui le metodologie di LCA alla scala globale stanno diventando sempre più complicate.

Tradizionalmente, la LCA è una pratica costosa e complessa, accessibile principalmente alle grandi aziende. Tuttavia, grazie all'automazione e all'intelligenza artificiale, è possibile sviluppare soluzioni più accessibili e user-friendly che permettono anche alle piccole e medie imprese di valutare e migliorare il loro impatto ambientale. Per altro il mercato richiede esattamente questo: nell'identità di marca (brand identity) di una azienda che vuole essere competitiva dalla scala locale a quella globale, oramai la visione ambientale è irrinunciabile. E questo è un passaggio determinante per ampliare la diffusione delle pratiche di sostenibilità in tutto il settore industriale.

9.3. Manutenzione intelligente dei prodotti

La manutenzione intelligente dei prodotti rappresenta un'evoluzione nel campo della gestione dei beni, resa possibile dalle avanzate tecnologie di IA. Questo approccio mira a ottimizzare la conservazione dei beni, riducendone i costi operativi e migliorandone l'affidabilità e la durata, attraverso l'uso di algoritmi di machine learning, sensori IoT e analisi dei dati, che sono in grado di prevenire i guasti e pianificare gli interventi di manutenzione.

A differenza della manutenzione tradizionale, che si basa su interventi programmati o addirittura reattivi (quando l'oggetto si rompe), la manutenzione predittiva assistita dall'IA identifica le anomalie che indicano un potenziale guasto, e consente di intervenire prima che il problema si manifesti⁶². Ad esempio, in un impianto industriale, i sensori possono monitorare vibrazioni, temperatura e altre variabili operative delle macchine, e l'IA può prevedere quando una componente è prossima al guasto, pianificando la sostituzione prima che si verifichi un'interruzione della produzione. Siamo abituati a vedere questo tipo di modelli predittivi nelle gare di Formula 1, quando dal muretto box vengono suggeriti ai piloti particolari comportamenti di guida per tenere sotto controllo temperature del motore o dei freni, oppure “blistering” o “graining” dei pneumatici (termini il cui significato abbiamo imparato seguendo i Gran Premi in TV), sulla base di indicazioni che vengono fornite dai sistemi di IA.

L'implementazione della manutenzione predittiva richiede un'infrastruttura tecnologica avanzata che integra sensori IoT, piattaforme di analisi dei dati e strumenti di gestione della manutenzione. I sensori raccolgono dati continui sullo stato dei prodotti, mentre le piattaforme di analisi dei dati elaborano queste informazioni per fornire previsioni accurate su quello che potrà accadere se non si interviene. In questo modo possono essere ridotti i tempi di inattività degli impianti e i costi degli interventi di riparazione, prolungando di fatto la vita dei prodotti.

Oltre alla manutenzione predittiva, l'IA può supportare la manutenzione proattiva, che prevede interventi mirati basati su condizioni

⁶² Keleko A.T., Kamsu-Foguem B., Ngouna R.H. et al. (2022), “Artificial intelligence and real-time predictive maintenance in industry 4.0”, in *AI Ethics*, vol. 2, pp. 553-577, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00132-6>

specifiche dei prodotti. Ad esempio, l'analisi dei dati può rivelare che una macchina tende a surriscaldarsi in determinate condizioni operative. In risposta, il sistema di manutenzione intelligente può suggerire modifiche al processo operativo o interventi di manutenzione specifici per prevenire il surriscaldamento, migliorando così l'efficienza e la sicurezza dell'intero sistema. Anche la manutenzione autonoma può essere supportata dall'IA, dove i sistemi automatizzati eseguono interventi di manutenzione senza l'intervento umano. Questo è particolarmente utile in ambienti pericolosi o difficili da raggiungere, come le piattaforme offshore o le miniere. I robot dotati di intelligenza artificiale possono eseguire ispezioni, diagnosi e riparazioni, riducendo il rischio per i lavoratori e migliorando la precisione degli interventi. Questi sistemi autonomi possono collaborare con operatori umani, fornendo informazioni e supporto in tempo reale per le decisioni più delicate.

La manutenzione intelligente dei prodotti si estende anche ai consumatori, dove l'IA può migliorare l'affidabilità e la durata dei beni di consumo. Ad esempio, gli elettrodomestici intelligenti possono monitorare il loro stato operativo e notificare agli utenti quando è necessario un intervento di manutenzione. Questo non solo previene guasti e malfunzionamenti, ma educa anche i consumatori su come prendersi cura dei loro elettrodomestici, aumentandone la longevità e riducendone l'impatto ambientale associato alla sostituzione frequente.

Un altro aspetto della manutenzione intelligente è la gestione ottimizzata delle risorse. Gli algoritmi di intelligenza artificiale possono analizzare i dati operativi per ottimizzare l'uso delle risorse, come pezzi di ricambio, personale e strumenti di manutenzione. Ad esempio, possono pianificare gli interventi in modo da minimizzare l'interruzione delle attività produttive, riducendo al contempo il costo totale della manutenzione.

È chiaro come la manutenzione intelligente supportata dall'IA possa contribuire a una maggiore sostenibilità dei cicli produttivi, riducendo l'impatto ambientale delle attività di manutenzione. Gli interventi di manutenzione predittiva e proattiva possono minimizzare l'uso di materiali e risorse, riducendo gli scarti e l'impronta di carbonio associata alla produzione e allo smaltimento dei pezzi di ricambio. La maggiore efficienza derivante dalla manutenzione intelligente può

ridurre il consumo energetico e le emissioni di gas serra, contribuendo agli obiettivi di sostenibilità delle aziende.

Un esempio di manutenzione intelligente è l'uso dell'IA nelle reti di distribuzione dell'energia. I sensori installati lungo le linee elettriche possono monitorare continuamente lo stato delle infrastrutture, mentre gli algoritmi di machine learning analizzano i dati per rilevare segni di usura o danni. Questo permette alle aziende energetiche di intervenire rapidamente per riparare o sostituire i componenti difettosi, riducendo il rischio di interruzioni del servizio, migliorando così l'affidabilità complessiva della rete.

FrancoAngeli

4. Sfide etiche e sociali

di Tullia Rinaldi

Il quarto capitolo si occupa di un argomento cruciale parlando di intelligenza artificiale: le sfide etiche che comportano le sue applicazioni nella vita reale. Ci sono aspetti legali, implicazioni sociali, ripercussioni sul mercato del lavoro e soprattutto rischi di manipolazioni che devono essere attentamente considerati.

1. Etica dell'intelligenza artificiale

1.1 Principi etici per una IA affidabile

Storicamente l'etica ha osservato i comportamenti dell'individuo per l'impatto immediato e diretto delle sue azioni all'interno di un contesto definito. L'espansione delle capacità umane¹, prodotta dalle macchine, sposta l'attenzione sui processi². Il glossario contenuto nel documento *Orientamenti Etici per un'IA affidabile* del "Gruppo di esperti ad alto livello sull'intelligenza artificiale" incaricato dalla Commissione europea nel 2019, riporta la seguente definizione:

¹ Murphy P.A. (2022). *La mente estesa. Pensare meglio smettendo di usare solo il cervello*, ROI edizioni, Milano.

² Ceruti M., Bellusci F. (2023), *Umanizzare la Modernità, un modo nuovo di pensare il futuro*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

«L'etica dell'IA è generalmente considerata un esempio di etica applicata e si concentra sulle questioni normative sollevate dalla progettazione, sviluppo, implementazione e utilizzo dell'IA»³.

L'intelligenza artificiale attraverso i meccanismi di programmazione, automazione, simulazione e anticipazione è in grado di mettere in moto innovazioni scalari difficilmente prevedibili a priori, e di generare impatti a lungo termine che interessano una comunità di riferimento globale, abbracciando le generazioni future⁴. In un contesto di marcata complessità, in cui il progresso tecnologico provoca cambiamenti economici e sociali profondi, con velocità superiore ad ogni capacità di adeguamento normativo, ed effetti persistenti nel tempo, i principi etici costituiscono il primo indispensabile punto di riferimento normativo⁵.

La Commissione Europea dal 2018, in funzione della tutela dei diritti fondamentali dell'individuo, ha affermato il principio «dell'etica fin dalla progettazione, ovvero l'integrazione dei principi etici in prodotti e servizi di IA sino dal processo di progettazione»⁶. Il documento *“Orientamenti etici per una IA affidabile”* che abbiamo già citato, individua nell'etica un pilastro fondamentale per garantire e calibrare una IA affidabile, insieme alla legalità e alla robustezza dei sistemi, intesa come capacità di prevenzione e adattamento rispetto ad errori o attacchi esterni. L'etica diventa regola per l'architettura dei sistemi (“etica by design”)⁷ dalle fasi di ricerca, progettazione, immissione dei dati, sperimentazione e poi lungo tutto il ciclo di vita degli stessi. «Anche se molti obblighi giuridici riflettono principi etici», si legge nel documento, «l'adesione ai principi etici va oltre il rispetto formale del diritto vigente, considerato che il diritto non è sempre al passo con gli sviluppi tecnologici, e a volte non lo è nemmeno con le norme etiche

³ Gruppo di esperti sull'intelligenza artificiale (2019), *Orientamenti etici per un'IA affidabile*, Commissione europea B-1049, Bruxelles.

⁴ Kissinger H., Huttenlocher D., Schmidt H. (2023), *L'era dell'intelligenza artificiale. Il futuro dell'identità umana*, Mondadori, Milano.

⁵ Jonas H. (2009), *Il principio responsabilità - un'etica per la civiltà tecnologica*, Piccola Biblioteca Einaudi, Bologna.

⁶ COM (2018), “L'intelligenza artificiale per l'Europa”, Documento 52018DC0237, Comunicazione della Commissione Europea.

⁷ Capasso M., Santoni De Sio F. (2024), “IA e politica tra libertà lavoro e design”, in *Filosofia dell'intelligenza artificiale sfide etiche e teoriche*, a cura di Galletti M., Zipoli Caiani S., Il Mulino, Bologna.

o semplicemente non è adatto ad affrontare determinate questioni». Ai principi etici è affidata la salvaguardia della dignità della persona, quale soggetto morale portatore di un valore intrinseco che non può essere svilito, compromesso o represso. Il documento individua i principi etici per una IA «affidabile e antropocentrica» e li divide in quattro categorie:

- 1) *autonomia personale* – divieto di subordinare, aggregare, costringere, ingannare, manipolare, condizionare o aggregare in modo ingiustificato gli esseri umani;
- 2) *prevenzione dei danni* – prevenzione degli effetti negativi e degli usi malevoli, anche rispetto alla tutela ambientale;
- 3) *equità* – distribuzione giusta ed equa dei costi-benefici, impugnabilità delle decisioni prese dai sistemi di intelligenza artificiale;
- 4) *esplicabilità* – trasparenza dei processi, evidenza delle capacità e dello scopo dei sistemi di IA, comprensibilità dei risultati, responsabilità.

A valle dei principi etici, il documento individua i requisiti che i sistemi di IA devono possedere per risultare affidabili ed una lista di controllo per il riscontro degli stessi, fornendo delle vere e proprie linee guida operative per gli utilizzatori⁸.

Nei paragrafi che seguono osserveremo le principali minacce connesse all'impiego della intelligenza artificiale rispetto ad alcune famiglie di diritti fondamentali.

1.2. Uguaglianza e solidarietà

Gli assi lungo i quali si sviluppano i più avanzati sistemi di intelligenza artificiale sono essenzialmente tre: le reti neurali profonde, i Big Data e computer ultraveloci⁹. I Big Data sono enormi quantità di dati non filtrati che vengono utilizzati per addestrare i sistemi di IA. L'elaborazione algoritmica è di tipo probabilistico-statistica, ossia procede attraverso l'individuazione di schemi comportamentali (patterns) che rilevano le relazioni ricorrenti fra i dati. Grazie alla potenza di calcolo

⁸ Gruppo di esperti sull'intelligenza artificiale (2019), *Orientamenti etici per un'IA affidabile*, Commissione europea B-1049, Bruxelles.

⁹ Mitchell M. (2022), *L'intelligenza artificiale. Una guida per esseri umani pensanti*, Einaudi, Bologna.

ed alla quantità di dati di addestramento, l'algoritmo di auto apprendimento consente al sistema di arrivare in tempi rapidissimi ad una soluzione predittiva sulla base delle associazioni probabilistiche dei dati analizzati.

I percorsi di regolarità statistica non approdano alla comprensione dei significati, bensì ricercano la soluzione approssimativamente più corretta¹⁰. Si arriva al risultato ottimale¹¹ percorrendo delle “scorciatoie”¹², che sono difficilmente accessibili al ragionamento umano, sia in fase di elaborazione che di successivo controllo¹³. Le applicazioni pratiche dimostrano che è alto il rischio di amplificazione dei pregiudizi, incremento delle diseguaglianze, discriminazione ed esclusione sociale, dovuto alla mancata neutralità dei dati in ingresso e degli stessi algoritmi che li elaborano¹⁴. I dati di cui si nutre l'IA non esistono in natura; gli strumenti che usiamo per conoscere la realtà sono sempre condizionati dalla soggettività individuale e dal contesto storico e geografico. Non esiste quindi una rappresentazione della realtà che si possa definire imparziale, ossia completa e oggettiva. Questo rende necessario posizionare la conoscenza in un contesto¹⁵.

È necessario avere consapevolezza che i sistemi di intelligenza artificiale sono alimentati da dati che possono non rispecchiare adeguatamente le diversità, con la conseguenza di rafforzare la predominanza, aggravando la situazione di scarsa sensibilità verso tutto ciò che è meno rappresentato o non lo è affatto. Il Progetto #DisabledData, promosso dalla Fondazione FightTheStroke.org, denuncia questo problema, evidenziando la scarsità di dati sulle persone con disabilità in Italia. In maniera provocatoria i dati sulla disabilità vengono definiti “disabilitati”¹⁶, per il fatto di non poter esprimere il loro potenziale

¹⁰ Wigner E.P. (2017), *L'irragionevole efficacia della matematica nelle scienze naturali*, Adhelfi edizioni, Milano.

¹¹ Kissinger H., Huttenlocher D., Schmidt E. (2023), *L'era dell'intelligenza artificiale. Il futuro dell'identità umana*, Mondadori, Milano.

¹² Cristianini N. (2023), *La Scorciatoia, come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano*, Il Mulino, Bologna.

¹³ Capasso M., Santoni De Sio F. (2024), “IA e politica tra libertà lavoro e design”, in *Filosofia dell'intelligenza artificiale sfide etiche e teoriche*, a cura di Galletti M., Zipoli Caiani S., Il Mulino, Bologna.

¹⁴ Roncaglia G. (2023), *L'architetto e l'oracolo. Forme digitali del sapere da Wikipedia a ChatGPT*, Laterza, Bari.

¹⁵ Columbro D. (2024), *Quando i dati discriminano*, Il Margine, Trento.

¹⁶ Fondazione FightTheStroke.org (2022), Comunicato stampa, Milano, 21/10/2022.

analitico e informativo «in quanto non è stato ancora elaborato uno strumento statistico condiviso in grado di descrivere l'interazione negativa tra salute e contesto sociale dalla quale scaturisce la disabilità e ciò rende difficile individuare in modo rigoroso le persone con disabilità»¹⁷.

Un altro esempio di discriminazione è rappresentato da quella di genere, per la diffusione di dati che consolidano la prevalenza del genere maschile su quello femminile, in termini accessibilità agli impieghi, a cariche di rappresentanza politica, alla erogazione di servizi, solo per fare alcuni esempi. Un software di reclutamento utilizzato per anni da Amazon ha discriminato i candidati a posizioni di lavoro come programmatori sulla base del genere, favorendo i candidati di sesso maschile. Il modello, addestrato su un data set tratto da curriculum presentati nei dieci anni precedenti, aveva auto-appreso a riconoscere i candidati uomini come candidati preferibili sulla base del pattern ricorrente¹⁸.

Imparando dai dati su base statistica, l'apprendimento automatico non controllato, attraverso un effetto di auto adattamento del sistema¹⁹, assume la posizione dominante a modello da seguire piuttosto che fenomeno da ridimensionare, facendone un parametro di normalizzazione²⁰. Per questa ragione, le minoranze etniche e le categorie più fragili possono risultare sfavorite nella emersione dei bisogni, per il semplice fatto di essere scarsamente rappresentate nei dati di origine.

È accaduto in Olanda che, al fine di creare profili di rischio per le persone che presentavano domanda di sussidi per l'infanzia, l'amministrazione fiscale abbia fatto ricorso ad algoritmi in cui sono stati utilizzati i nomi stranieri e la doppia nazionalità come indicatori di potenziali frodi. Di conseguenza, migliaia di famiglie a basso reddito sono state sottoposte a controllo, falsamente accusate di frode e sono state invitate a restituire le indennità che avevano ricevuto nel pieno

¹⁷ Istituto nazionale di statistica (2019), *Conoscere il mondo della disabilità: persone, relazioni e istituzioni*, testo disponibile al sito: <https://www.istat.it/wp-content/uploads/2019/12/Disabilita.pdf>

¹⁸ Rinaldi A. (2023), *Donne pagate meno degli uomini?* Econopoly del Sole 24 ore, 12/10/23.

¹⁹ Mitchell M. (2022), *L'intelligenza artificiale. Una guida per esseri umani pensanti*, Einaudi, Bologna.

²⁰ Columbro D. (2024), *Quando i dati discriminano*, Il Margine, Trento.

rispetto delle leggi. Questo è un caso eclatante in cui gli algoritmi hanno portato ad una profilazione razziale²¹.

Per questa via, le disuguaglianze si accentuano, diventano strutturali, condizionano le scelte dei decisori politici, ma anche i comportamenti sociali, sempre più esposti all'influenza dei social network e delle applicazioni correlate di intelligenza artificiale.

All'amplificazione dei fenomeni attraverso i social concorre l'"effetto di rete positivo", un meccanismo di divulgazione che premia il modello di successo, ossia quello più ricorrente, favorendone una diffusione esponenziale, per cui si usa dire che un contenuto diventa "virale"²². Possono determinarsi casi limite in cui il modello di successo affermatosi al di fuori di ogni previsione, perfino in contrasto con le scelte politiche, si radica a tal punto da diventare difficile da rimuovere. Questa deriva rende urgente una risposta dal punto di vista culturale. L'affidabilità dei sistemi di IA richiede la trasparenza riguardo la provenienza e la natura dei dati, l'esplicabilità del funzionamento dell'algoritmo nella elaborazione degli stessi e infine la possibilità di effettuare un controllo "umano" sui risultati.

1.3. Libertà individuale e democrazia

Il Santo Padre Francesco, nella sua Enciclica "Laudato si'" sulla cura della Casa Comune (2005), ha ammonito che «l'immensa crescita tecnologica non è accompagnata da uno sviluppo dell'essere umano per quanto riguarda la responsabilità, i valori e la coscienza». Gli individui, singolarmente o in forma associata, i decisori pubblici, le istituzioni universitarie, di ricerca e di cultura in generale, esercitano di fatto una influenza limitata sulle linee di sviluppo delle più avanzate applicazioni di IA, in quanto gestite a livello globale da un numero ristretto di multinazionali, sole in grado di poter investire enormi capitali nelle necessarie infrastrutture e consentirne l'accesso agli

²¹ Parlamento Europeo (2022), *Scandalo dei sussidi per l'infanzia nei Paesi Bassi, razzismo istituzionale e algoritmi*, Interrogazione parlamentare O-000028/2022 del 28.6.202.

²² Kissinger H., Huttenlocher D., Schmidt H. (2023), *L'era dell'intelligenza artificiale. Il futuro dell'identità umana*, Mondadori, Milano.

utilizzatori di tutto il mondo con capacità di assorbimento di qualsiasi flusso di utenza²³.

Le grandi imprese del settore tecnologico, le cosiddette Big Tech (Google, Amazon, Facebook, Apple e Microsoft) detengono i diritti di proprietà materiale ed intellettuale, ed esercitano le scelte strategiche riguardanti le condizioni di utilizzo e l'avanzamento tecnologico dei sistemi, secondo politiche strettamente di mercato ed in regime di sostanziale segreto industriale.

Questo incipiente paradigma tecnocratico²⁴ rappresenta una minaccia per la coesione sociale sotto molti aspetti. Da una parte l'impiego dei prodotti della tecnica non è neutrale rispetto alla capacità trasformativa della società, dall'altro la fase applicativa dei progressi delle tecnoscienze sembra affidata ai mercati finanziari, per l'enorme peso economico che tali mercati hanno assunto, esercitando notevole influenza anche a livello politico. Basti pensare alle misure restrittive, di sicurezza nazionale, prima ancora che di protezione del mercato, assunte dagli Stati Uniti rispetto alla diffusione di sistemi informatici di provenienza cinese e viceversa²⁵.

L'offerta di servizi di intelligenza artificiale deve poter rispondere a scelte programmatiche di governo che tengano conto di tutti gli interessi in gioco, in un complesso sistema di contenimento che non sia solo una negoziazione commerciale, ma affronti le sfide strategiche consentendo un dibattito etico²⁶. Una intelligenza artificiale non guidata dai principi etici può arrivare a violare i fondamenti della autonomia personale, modellare gli orientamenti collettivi, fino ad una possibile compromissione dei principi del pluralismo e della democrazia.

Una caratteristica da osservare rispetto ai sistemi di IA, portatrice di un enorme successo fra gli utilizzatori e potenzialmente in grado di condizionare l'autodeterminazione della persona, è quella della simulazione, ossia l'utilizzo di imitazioni credibili della realtà, che gene-

²³ Machera S. (2024), *Come l'intelligenza artificiale cambia il mondo*, FrancoAngeli, Milano.

²⁴ Ceruti M., Bellusci F. (2023), *Umanizzare la Modernità un modo nuovo di pensare il futuro*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

²⁵ The White House (2023), testo disponibile al sito: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2023/08/09/executive-order-on-addressing-united-states-investments-in-certain-national-security-technologies-and-products-in-countries-of-concern/>

²⁶ Carr N. (2015), *La gabbia di vetro: prigionieri dell'automazione*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

rano empatia, in quanto fortemente umanizzate, fino a creare delle camere di eco in cui l'utilizzatore vede riflessa la propria immagine in uno specchio di condiscendenza artificialmente creato dall'assistente virtuale per compiacerne le tendenze e generare la dipendenza²⁷.

In assenza di adeguate misure di trasparenza e prevenzione, la profilazione dell'utente da parte del sistema diventa un vero e proprio strumento di tracciamento delle identità personali e di controllo dei comportamenti economici, ma anche di orientamento delle opinioni politiche e condizionamento delle scelte elettorali. Studi scientifici hanno ampiamente dimostrato che è possibile inferire, dai comportamenti tenuti dagli utenti sul web, un set di tratti psicometrici sulla base dei quali customizzare messaggi promozionali efficaci per influenzare le scelte decisionali, dai consumi alla espressione di voto. La profilazione dell'utenza spesso avviene addirittura senza il consenso della stessa, in via del tutto inconsapevole. La società "Cambridge Analytica" attraverso una app per test psicologici aveva avuto accesso ai dati di 87 milioni di utenti e li aveva usati per influenzare le elezioni presidenziali americane del 2016²⁸.

La questione è di assoluta gravità: sono in gioco i valori della libertà personale, della democrazia, se non addirittura della sicurezza nazionale e della pace fra le Nazioni. L'IA, scientemente usata per operazioni di persuasione di massa, può essere un potenziale strumento di esercizio di un potere dominante a danno dell'identità e della libertà personali²⁹. Di qui l'urgenza di adeguati strumenti regolativi o di filtri istituzionali, che, considerato il raggio d'azione mondiale delle grandi aziende tecnologiche, devono poter assumere una dimensione sovranazionale.

²⁷ Natale S. (2022), *Macchine ingannevoli. Comunicazione, tecnologia, intelligenza artificiale*, Einaudi, Bologna.

²⁸ GPDP comunicato stampa Cambridge Analytica: il Garante privacy multa Facebook per 1 milione di euro (provvedimento n. 134 del 14 giugno 2019), Roma, 28 giugno 2019.

²⁹ Galletti G. (2024), "Quando l'IA incontra le scienze comportamentali. Una riflessione sui valori morali", in *Filosofia dell'intelligenza artificiale sfide etiche e teoriche*, a cura di Galletti M. e Zipoli Caiani S., il Mulino, Bologna.

2. Aspetti legali

2.1 Riforma dei sistemi vigenti

Gli ordinamenti giuridici sono dotati di elasticità, sono cioè suscettibili di adattamento ai fenomeni emergenti attraverso interpretazioni evolutive. Il diritto vigente, anche ad ordinamento invariato, non è sprovvisto di strumenti regolatori per la tutela dei diritti fondamentali nei confronti delle applicazioni dell'intelligenza artificiale. Tuttavia, avuto riguardo alle gravi minacce che possono derivare dalle innovazioni tecnologiche, è largamente avvertita la necessità di dotarsi di adeguate misure di sicurezza e prevenzione per il controllo del rischio.

Così come per gli obiettivi di salvaguardia ambientale e contrasto ai cambiamenti climatici, l'Unione Europea ha dichiarato di voler assumere una posizione di leadership nella regolamentazione dell'intelligenza artificiale, con la finalità di perseguire un modello di IA affidabile ed antropocentrica, che favorisca la transizione tecnologica entro la cornice di valori che le è propria.

Nel momento in cui questo libro è alle stampe, il Parlamento Europeo sta approvandola la proposta di Regolamento, presentata dalla Commissione europea nel 2021, recante un quadro giuridico specifico in materia di IA, comunemente denominato "Legge sull'intelligenza artificiale". L'approccio adottato è quello di una normativa di principi, neutra sotto il profilo tecnologico e sufficientemente elastica al fine di adattarsi ad ulteriori avanzamenti tecnologici, improntata alla gestione del rischio, attraverso una classificazione dei sistemi di intelligenza artificiale su tre livelli:

1. *rischio inaccettabile*, cui è associato il divieto di introduzione dei prodotti sul mercato;
2. *rischio alto*, che comporta l'obbligo per produttori, fornitori e operatori dei sistemi di IA di garantire una serie di requisiti di robustezza, sicurezza, tracciabilità, nonché la mappatura e la gestione continua del rischio;
3. *rischio basso o minimo*, per il quale si pone comunque il rispetto di obblighi di trasparenza.

A titolo esemplificativo, sono considerate oggetto di divieto, salve le eccezioni di legge, le seguenti pratiche.

Pratiche distorsive dei comportamenti delle persone:

- l'uso di tecniche subliminali che agiscono senza che la persona ne sia consapevole;
- lo sfruttamento della vulnerabilità delle persone.

Pratiche classificatorie delle persone fisiche:

- attribuzione di un punteggio sulla base dei comportamenti sociali o di caratteristiche personali fuori dal contesto in cui i dati sono attinti o in via ingiustificata o sproporzionata;
- inferenza, sulla base dei dati biometrici, in merito a razza, opinioni politiche, appartenenza sindacale, convinzioni religiose o filosofiche, vita o orientamento sessuale;
- alimentazione di banche dati di riconoscimento facciale mediante l'indicizzazione automatica non mirata di immagini facciali prese da internet o da filmati di telecamere a circuito chiuso;
- identificazione biometrica remota in spazi accessibili al pubblico per finalità di contrasto;
- profilazione delle caratteristiche delle personalità per finalità predittiva di crimini;
- inferenza delle emozioni di una persona fisica nell'ambito del luogo di lavoro e degli istituti di istruzione.

Al di fuori delle ipotesi di divieto, la logica utilizzata dal legislatore europeo è stata quella di disciplinare da un punto di vista amministrativo e gestionale l'immissione sul mercato, la messa in servizio e l'uso di sistemi di IA, evitando di scendere nel dettaglio della regolamentazione per ambiti applicativi. Tale cornice normativa ha il merito di essere flessibile e adattiva rispetto ad un largo spettro di usi che solo la prassi potrà individuare, ma può risultare eccessivamente formale e non sufficiente ad assicurare livelli adeguati di protezione dei diritti più esposti a compromissione, per i quali sarà necessario intervenire sulle discipline di settore.

Nei prossimi paragrafi sono indagati alcuni ambiti in cui l'introduzione di sistemi IA è particolarmente invasiva.

2.2. Protezione dei dati e riservatezza

L'intelligenza artificiale non può esistere senza i dati, dai quali

dipendono l'addestramento dei sistemi e i risultati delle azioni³⁰. I dati assumono quindi un valore economico; nasce una vera e propria economia legata al loro possesso, e aumentano le richieste di loro donazione, concessione e condivisione.

Ad esempio, in campo medico si è ampiamente diffusa la pratica dell'"altruismo di dati" finalizzata alla ricerca scientifica di nuove cure, mentre nell'ambito della Pubblica Amministrazione il "data driven", ossia il processo decisionale basato sui dati, sta diventando metodo di uso comune considerando l'ingente patrimonio di dati in possesso delle PA. I programmi che finanziano la ricerca hanno introdotto principi di "open science" e "open data" basati sul libero accesso ai dati per la condivisione delle conoscenze nella comunità scientifica globale. L'importanza che sta assumendo il "data management", in funzione del reperimento e dell'elaborazione dei dati, è evidenziata dalle politiche in atto a livello europeo³¹, con una attenzione particolare alle strategie riguardanti la "scienza basata sui dati" e le iniziative volte a migliorarne la reperibilità, l'accessibilità, l'interoperabilità e il riutilizzo dei dati della ricerca scientifica³².

Il fatto è che esiste un rapporto inverso fra la libera disponibilità dei dati per lo sviluppo dei sistemi IA, e la tutela dei diritti di riservatezza e di protezione dei dati personali. I grandi sistemi di raccolta dei dati operano con la collaborazione spesso spontanea degli utilizzatori, alimentando banche dati di enormi dimensioni, con modalità chiaramente proiettate ad una utilizzazione commerciale. Come è stato osservato da alcuni³³, la logica proprietaria alla base della tutela giuridica del dato, non è più rispondente alle esigenze di funzionamento dei sistemi di interazione fra utente e servizi di intelligenza artificiale, in cui il trattamento dei dati non è più di tipo statico, ma dinamico.

Negli Usa ha avuto un ampio sviluppo la pratica del "fair use", ossia la facoltà di utilizzare materiale protetto da copyright per scopi di

³⁰ Libro Bianco sull'intelligenza artificiale - Un approccio europeo all'eccellenza e alla fiducia, Bruxelles, 19.2.2020 COM (2020) 65.

³¹ Data Governance Act (2022), Regolamento (Ue) 2022/868 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2022, testo disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0868>

³² European Open Science Cloud (EOSC), Il cloud europeo per la scienza aperta (EOSC) sostiene la gestione e l'applicazione dei dati di ricerca per una "scienza basata sui dati".

³³ Finocchiaro G. (2024), *Intelligenza artificiale. Quali regole?*, Il Mulino, Bologna.

informazione, di critica o di insegnamento, senza chiedere l'autorizzazione a chi ne detiene i diritti.

In Italia le norme contenute nel D.lgs. n. 196/2003 (testo unico per la protezione dei dati personali) devono fare i conti con nuove fattispecie di conflitto di interessi e prestare, in sede di interpretazione, adeguate soluzioni di contemperamento fra interessi concorrenti. Solo per fare alcuni esempi: il vigente principio di "minimizzazione del trattamento" (non si possono raccogliere più dati di quanti ne siano effettivamente necessari e dar luogo a trattamenti che non siano strettamente indispensabili) è difficilmente conciliabile con i requisiti di automazione dei sistemi di intelligenza artificiale, che per loro natura lavorano con enormi quantità di dati grezzi. La stessa base giuridica del trattamento, ossia il consenso in relazione allo scopo di utilizzo dichiarato, può entrare in conflitto con l'impossibilità dei sistemi IA di pervenire a soluzioni predeterminabili in partenza. Infine, non pochi problemi si pongono sull'individuazione, sempre ai sensi del D.lgs. 196, dei responsabili del trattamento e del titolare dei dati personali ai fini di tutta una serie di obblighi di cura dei dati, di informazione e di tutela verso il titolare degli stessi.

I sistemi IA spesso funzionano come una scatola nera e la spersonalizzazione dei processi e dei risultati ha addirittura sollevato l'interrogativo dell'esistenza di una soggettività giuridica autonoma del sistema di IA. Sul piano della responsabilità giuridica va sempre più profilandosi la necessità di ragionare in termini di allocazione del rischio, indipendentemente dalla ricerca della colpa, per ripartire i costi sui soggetti cui fanno capo gli interessi prevalenti.

Da non confondere con la protezione dei dati personali è il diritto alla riservatezza, che ha un contenuto negativo consistente nella pretesa di escludere terzi dalla propria sfera personale. Il diritto alla riservatezza può essere fortemente compromesso da un uso non controllato dei sistemi di intelligenza artificiale, sia per la capacità di acquisizione dei dati, sia per l'elaborazione induttiva con finalità di profilazione.

Rispetto a questo genere di rischi le misure di divieto devono tendere a salvaguardare la dignità umana con la massima severità al fine di escludere ogni manovra volta alla violazione dell'identità o della libertà delle persone. È per questo che la Legge europea sull'intelli-

genza artificiale, di cui si è detto, annovera fra le pratiche vietate, vari impieghi per finalità classificatorie delle persone fisiche.

2.3. Tutela della proprietà intellettuale

Non diversamente da quanto osservato nel paragrafo precedente, il trattamento dei dati per finalità di training dei sistemi di IA confligge con il diritto all'uso esclusivo dei dati, tutelato dalla proprietà intellettuale nella duplice forma di divieto alla riproduzione delle opere dell'ingegno e divieto di estrazione massiva automatizzata dalle banche dati (data mining).

Per quanto riguarda il copyright sulle opere creative dell'ingegno sono in corso procedimenti giudiziari in cui è contestata la contraffazione ad opera di sistemi di intelligenza artificiale che attingono a contenuti protetti per riprodurne parti significative senza citazione delle fonti o per ricavarne opere derivate³⁴. La contraffazione deve essere valutata in relazione allo scopo che raggiunge ed alla capacità di porsi in concorrenza con l'opera originaria. Poiché il diritto d'autore tutela la forma espressiva rappresentativa della personalità dell'autore, costituiscono opere derivate quelle che presentano un cambiamento della forma o della natura dell'opera originaria (una traduzione, una rappresentazione cinematografica). Non sono in contrasto con il diritto d'autore e costituiscono un "fair use" le opere derivate dotate di creatività propria che conferiscono, quindi, un valore aggiunto allo stato delle conoscenze iniziale.

A valle si pone l'ulteriore problema di stabilire se il prodotto di una intelligenza artificiale possa costituire opera protetta e chi debba esserne riconosciuto autore. Ad oggi, le prime pronunce giurisprudenziali negano il carattere di creatività ad un'opera che sia generata in maniera automatizzata sulla base di algoritmi predittivi. La creatività tutelata è quella che estrinseca un pensiero, che nasce da una volontà espressiva e da un contributo umano riconoscibile. È stata viceversa ritenuta brevettabile una invenzione a condizione che sia indicato

³⁴ Turini L. (2024), *A chi spettano i diritti sulle opere dell'intelligenza artificiale*, Maggioli, Rimini.

come inventore una persona fisica, sulla base dei diritti sui risultati prodotti dal sistema di IA³⁵.

Altro terreno di conflittualità è quello dell'accesso alle banche dati, nella misura in cui il sistema di intelligenza artificiale non si limiti all'analisi dei contenuti, ma le modalità di funzionamento lo portino ad una riproduzione non autorizzata dei contenuti protetti da copyright. In questo ambito sono stati codificati e ammessi alcuni particolari utilizzi finalizzati alla ricerca scientifica condotta senza fini di lucro³⁶.

3. Implicazioni sociali

3.1. Mercato del lavoro e disuguaglianze

Dopo un periodo di fiducia incondizionata nel progresso e nelle capacità umane di poterlo governare, si avverte ora una crescente preoccupazione riguardo la sostenibilità dei modelli di crescita e di sviluppo economico, come testimonia l'impegno preso a livello mondiale per l'attuazione dell'Agenda 2030, che obbliga gli Stati nazionali a conseguire diciassette risultati a tutela delle persone, del pianeta, della prosperità, della pace e della partnership. I costi del progresso, anche quelli ambientali, non sono equamente distribuiti nella società, e gli squilibri costituiscono una grave minaccia per la coesione sociale.

Ogni rivoluzione industriale ha il suo impatto sul mondo del lavoro. La rivoluzione innescata dall'IA ha la caratteristica di essere intervenuta a brevissima distanza dalle altre e di produrre effetti con una accelerazione tale da determinare trasformazioni socioeconomiche non più intergenerazionali, ma riferibili ad una stessa generazione.

Saranno i profili intermedi quelli maggiormente colpiti dall'introduzione dell'intelligenza artificiale, mentre la fascia di professioni più altamente qualificate vedrà aumentare le offerte di impiego rispetto al passato, senza tuttavia riuscire ad assorbire per intero la domanda

³⁵ Ibidem.

³⁶ Il decreto di recepimento della Direttiva Copyright 2019/790/UE. e il d.lgs. 177/2021 che modifica la legge sul diritto d'autore, introducendo nuovi articoli che recepiscono l'eccezione di *Text and Data Mining* (TDM).

complessiva di lavoro. Si consideri, inoltre, che i sistemi di IA si evolveranno verso forme avanzate di automazione con conseguente ulteriore progressiva riduzione dell'intervento umano³⁷.

È questa la grande differenza della nuova rivoluzione rispetto alle precedenti: l'intelligenza artificiale coprirà interamente il ventaglio delle attività lavorative umane. Rimarranno disponibili occupazioni di fascia bassa, meno retribuite e con condizioni lavorative caratterizzate da temporaneità e spersonalizzazione. Alcuni studiosi ricorrono all'immagine della clessidra, per descrivere questo possibile futuro scenario del mercato del lavoro³⁸, in luogo della tradizionale piramide che parte da uno stretto vertice di mansioni apicali per allargarsi verso una base sempre più ampia di lavori meno qualificati e meno retribuiti.

L'automazione dei processi produttivi assicurerà alle imprese una riduzione del costo del lavoro attraverso il taglio delle retribuzioni medio alte, cui corrisponderà l'aumento del costo sociale di riconversione delle competenze e di sostegno per la disoccupazione. Dunque, diminuirà il gettito fiscale su una larga porzione di redditi da lavoro dipendente e crescerà la spesa pubblica, uno scambio evidentemente svantaggioso per le istituzioni pubbliche, che dovranno trovare un equilibrio fra efficienza del sistema produttivo e finalità sociali del mercato del lavoro.

Un altro rischio è rappresentato dalla tendenza, per altro già in atto, di amplificazione delle disuguaglianze, per cui le prospettive di crescita più consistenti interesseranno poche grandi imprese di successo, a discapito di una moltitudine di altre.

Non si escludono equilibri di sistema nel lungo periodo, ma l'accelerazione con la quale sta procedendo l'innovazione tecnologica rende urgente una risposta di adattamento e di resilienza immediata. L'Unione Europea, con lo slogan "non lasciare indietro nessuno"³⁹, ha colto la necessità di orientare le proprie politiche verso uno sviluppo sostenibile (ambientale, sociale ed economico) ed ha avviato, con il

³⁷ Machera S. (2023), *Come l'intelligenza artificiale cambia il mondo. Le promesse e i pericoli le scelte che dobbiamo fare*, FrancoAngeli, Milano.

³⁸ Zamagni S. (2020) *Disuguali. Politica, economia e comunità: un nuovo sguardo sull'ingiustizia sociale*, Aboca edizioni, Sansepolcro (AR).

³⁹ Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema «Non lasciare indietro nessuno nell'attuazione dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile», EESC 2019/02446.

“pilastro europeo dei diritti sociali”⁴⁰, una serie di strategie volte ad assicurare una «transizione equa» ed una «occupabilità continua».

3.2 Relazioni sociali

Le relazioni sociali, in futuro, si arricchiranno di nuove forme di interazione, oltre a quelle già note. Recenti studi sulle reti sociali digitali⁴¹, hanno dimostrato come la comunicazione tra più persone, ciascuna orientata da finalità individuali, abbia trovato negli strumenti di digitali un collante capace di dare vita a movimenti sociali organizzati dal basso: la Primavera Araba ne è stata una testimonianza⁴².

In quei casi in cui la rete sociale ha potuto operare, in maniera non condizionata, su tematiche rilevanti per la popolazione, si è prodotto un valore aggiunto di “intelligenza collettiva”, superiore a quello che si sarebbe ottenuto della sommatoria dei singoli contributi personali. È il concetto di “networking”: una rete organizzata di strutture, processi e attori che, messi in relazione tra loro, determinano una capacità generativa di risultati che le singole componenti del sistema non presentano. L'IA può contribuire alla creazione di queste particolari “macchine sociali”⁴³ capaci di integrare le azioni di una pluralità di individui aggregandole per il conseguimento di scopi collettivi: ciascun individuo dà il suo contributo per ricavarne una propria utilità e il contributo di tutti realizza una utilità di sistema.

Si debbono temere, in questi processi, ricadute negative che potrebbero derivare da alcuni meccanismi critici già osservati nei paragrafi precedenti? Proviamo, ad esempio, a pensare all'utilizzo dei servizi di geolocalizzazione utili a raggiungere una certa destinazione attraverso un percorso consigliato dal sistema di assistenza virtuale. L'utente inserisce la posizione di partenza e quella di arrivo, il sistema stabilisce

⁴⁰ European Pillar of Social Rights (EPSR): <https://www.epr.eu/what-we-do/policy-analysis/european-pillar-of-social-rights/>

⁴¹ Catells M., (2015) *Reti di indignazione e speranza. Movimenti sociali nell'era di internet*, Università Bocconi Editore, Milano.

⁴² Catells M., (2015), *Reti di indignazione e speranza. Movimenti sociali nell'era di internet*, Università Bocconi Editore, Milano.

⁴³ Cristianini N. (2023), *La Scorciatoia, come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano*, ed. Il Mulino, Bologna.

il percorso ottimale registrando tutte le informazioni sugli spostamenti dell'utente, che potrebbero servire per finalità di livello superiore. Le istituzioni pubbliche ne avrebbero utilità, ad esempio, per gestire la mobilità cittadina; i gruppi economici potrebbero studiare i comportamenti delle persone per i propri fini commerciali; ecc. Il singolo individuo non potrà più fare a meno di utilizzare il servizio, perché avrà perso la sua capacità di orientamento, sarà sempre più dipendente dalla tecnologia e non avrà neanche la possibilità di controllare gli effetti a livello superiore che la macchina sociale avrà prodotto (ad esempio sui percorsi consigliati o sui punti di interesse). Un processo nel quale l'apporto dell'individuo è sempre meno creativo, con una vera e propria inversione dei ruoli uomo-macchina.

È chiaro da questo esempio come l'effetto di dipendenza, generato dall'utilizzo di algoritmi di raccomandazione, sia un problema da non sottovalutare. A ciò si aggiunga che l'utente, venendo sistematicamente aiutato a selezionare contenuti confacenti alle proprie inclinazioni, rafforza i suoi convincimenti, riduce la sua capacità critica e la sua autonomia di scelta, esasperando così le divergenze esistenti tra i gruppi sociali. Esattamente il contrario di quell'intelligenza collettiva che, come nel caso appena citato della Primavera Araba, si evolve in "mente estesa"⁴⁴.

3.3 Manipolazione dell'informazione

L'intelligenza artificiale può assumere un ruolo cruciale nella gestione dell'informazione della società del futuro, soprattutto se si considera il pericolo della manipolazione dei flussi, che può manifestarsi in molteplici forme, tra cui la generazione automatica e non controllata di contenuti, la personalizzazione estrema dell'informazione, la creazione di materiali multimediali sintetici come i "deepfakes", e il ricorso a pratiche di influenza dell'opinione pubblica⁴⁵.

⁴⁴ Murphy P.A. (2022). *La mente estesa. Pensare meglio smettendo di usare solo il cervello*, ROI edizioni, Milano.

⁴⁵ Bontridder N., Poulet Y, (2021), "The role of artificial intelligence in disinformation", in *Data & policy*, Vol.3-32, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1017/dap.2021.20>

Per dare una dimensione al fenomeno, si può citare il *Global Risk Report 2024* del World Economic Forum che individua la disinformazione (volontaria o non intenzionale) come il pericolo più grave del XXI secolo insieme ai cambiamenti climatici⁴⁶.

Le cosiddette “fake news” sono caratterizzate dal fatto che le informazioni di interesse pubblico sono concepite per essere totalmente o parzialmente false, manipolate o fuorvianti, oppure veicolate attraverso tecniche di persuasione non etiche. Le fake news sono intese a generare insicurezza, ostilità, nel tentativo di alterare i processi democratici. Di norma vengono diffuse e amplificate mediante strumenti automatici aggressivi, come le Chatbot, spesso allo scopo di accrescere la visibilità pubblica dei contenuti⁴⁷.

Un primo aspetto cruciale è, dunque, la capacità dell'IA di generare contenuti (veri o falsi) in modo autonomo. Modelli di linguaggio avanzati, come quelli basati su architetture di deep learning, ad esempio il Generative Pretrained Transformer (GPT), sono in grado di produrre testi che imitano con sorprendente precisione lo stile e la coerenza di quelli creati da esseri umani.

Ciò ha implicazioni enormi per la produzione di notizie, articoli e post sui social media, permettendo la creazione di contenuti su scala massiva con costi e tempi significativamente ridotti. Tuttavia, tale potenzialità porta con sé il rischio di diffondere disinformazione su larga scala. La capacità dell'IA di generare contenuti verosimili, ma falsi, rappresenta una minaccia per l'attendibilità dell'informazione, complicando ulteriormente la distinzione tra realtà e finzione. Inoltre, poiché i modelli possono essere addestrati su dataset specifici, c'è anche il rischio che i contenuti riflettano pregiudizi o narrative ideologiche, alimentando così la disinformazione in modo mirato⁴⁸.

Un altro fenomeno critico emergente è la personalizzazione dell'informazione, resa possibile dai sofisticati algoritmi di machine learning

⁴⁶ World Economic Forum (2024), *The Global Risk Report – XIX edition*, testo disponibile al sito: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf

⁴⁷ Hajli N., Saeed U., Tajvidi M., Shirazi F. (2022), “Social Bots and the Spread of Disinformation in Social Media: The Challenges of Artificial Intelligence”, in *British Journal of Management*, Vol. 33, pp. 1238-1253, testo disponibile al sito: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1467-8551.12554>

⁴⁸ Battista D. (2024), “Comunicazione politica e intelligenza artificiale: un bilancio tra manipolazione e partecipazione”, in *Rivista di Digital Politics*, vol. 1, pp. 71-90, testo disponibile al sito: <https://www.rivisteweb.it/doi/10.53227/113721>

che analizzano le interazioni e i comportamenti degli utenti sulle diverse piattaforme digitali che usualmente utilizzano. Attraverso la raccolta e l'analisi di dati personali, questi algoritmi sono in grado di costruire profili dettagliati degli utenti, per offrire loro contenuti altamente personalizzati.

Sebbene questa customizzazione possa migliorare l'esperienza utente, presentando contenuti di suo interesse, essa comporta evidenti perplessità sugli effetti del suo utilizzo. La selezione personalizzata dell'informazione può, infatti, rafforzare le convinzioni preesistenti degli utenti, limitando il confronto con idee contrastanti e contribuendo alla formazione delle cosiddette "bolle informative" (filter bubbles). Questi ambienti digitali chiusi, in cui gli utenti sono circondati solo da informazioni che confermano le loro opinioni, favoriscono la polarizzazione sociale e politica, riducono il dialogo con i portatori di opinioni diverse, minando, di fatto, la pluralità di pensiero e la coesione sociale⁴⁹.

La manipolazione dell'informazione non si limita al testo scritto: con l'avvento dei "deepfake", anche i contenuti multimediali sono diventati vulnerabili a sofisticate forme di falsificazione. I deepfake, creati utilizzando le reti neurali, sono tecniche per la sintesi delle immagini umane che possono alterare video, foto e audio, in modo talmente realistico da rendere quasi impossibile il riconoscimento del materiale autentico.

Questa tecnologia permette di creare notizie false o truffe, per compiere atti di cyberbullismo o altri reati informatici di varia natura, ad esempio il discredito di figure pubbliche, la diffusione volontaria di disinformazione a fini politici, fino alla manipolazione dell'opinione pubblica.

Il contrasto ai deepfake rappresenta una delle sfide più insidiose per l'integrità dell'informazione, poiché mette in discussione la fiducia nelle prove visive e audio, elementi tradizionalmente considerati come evidenze indiscutibili dai mezzi di informazione.

⁴⁹ Benkler Y., Faris R., Roberts H. (2018), *Network Propaganda: Manipulation, Disinformation, and Radicalization in American Politics*, Oxford University Press, Oxford, il libro è disponibile al sito: <https://play.google.com/books/reader?id=MVRuD-wAAQBAJ&pg=GBS.PP1&hl=it>

Il quadro etico relativo all'uso dell'intelligenza artificiale nella manipolazione dell'informazione è complesso. Da un lato, le tecnologie basate sull'intelligenza artificiale promettono di rivoluzionare la comunicazione, rendendo la produzione di contenuti più efficiente e accessibile. Dall'altro, l'uso di queste stesse tecnologie per scopi fraudolenti solleva non poche preoccupazioni inerenti alla trasparenza, alla responsabilità e alla protezione dei diritti individuali.

La capacità di un sistema di IA di influenzare le opinioni e i comportamenti umani pone interrogativi profondi, addirittura, sulla natura della libertà di pensiero e sulla possibilità di garantire una sfera pubblica informata e pluralistica. In risposta a queste preoccupazioni, come abbiamo visto in precedenza, è emersa la necessità di una regolamentazione che tenga conto delle potenziali minacce poste dall'IA alla qualità dell'informazione.

Diverse organizzazioni internazionali e governi nazionali stanno lavorando per sviluppare linee guida e normative volte a limitare l'uso malevolo dell'IA, promuovendo allo stesso tempo pratiche di sviluppo etiche e trasparenti. Tuttavia, regolamentare l'IA si è dimostrato essere un compito arduo, data la rapidità con cui queste tecnologie evolvono e la loro capacità di sfuggire ai tradizionali meccanismi di controllo.

La relazione tra IA e manipolazione dell'informazione, con tutte le profonde implicazioni sulla società e sulle democrazie, rappresenta dunque una delle questioni più sfidanti che caratterizzano la nostra Era proiettata verso il progresso tecnologico⁵⁰.

⁵⁰ Hajli N., Saeed U., Tajvidi M. and Shirazi F. (2022), "Social Bots and the Spread of Disinformation in Social Media: The Challenges of Artificial Intelligence", in *British Journal of Management*, vol. 33, pp. 1238-1253, testo disponibile al sito: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1467-8551.12554>

5. Conclusioni

Il viaggio attraverso le pagine di questo libro ci ha portato ad esplorare il complesso rapporto tra intelligenza artificiale e città del futuro, una relazione che non esprime solo un ambito di applicazione tecnologica, ma soprattutto è portatrice di una rivoluzione concettuale nella nostra comprensione delle dinamiche urbane.

Una delle immagini chiave introdotte dal libro è quella di *hypercity*, un'evoluzione della smart city, in cui l'intelligenza artificiale, integrata nei sistemi urbani, ne diventa un elemento fondante capace di apprendere e adattarsi dinamicamente alle esigenze mutevoli della città e dei suoi abitanti.

Da questo lavoro emerge l'idea che l'IA, oltre a ottimizzare tecnicamente i processi esistenti, possa creare le condizioni per una trasformazione più profonda della città, non tanto nella sua forma fisica, quanto piuttosto nei suoi modi di fruizione. L'*hypercity* ridefinisce il concetto stesso di città: un organismo vivente dotato di una sorta di "intelligenza d'insieme" che può gestire la complessità mettendo a sistema tutte le componenti, e migliorare le proprie prestazioni apprendendo dai propri errori. Questo approccio può rendere le città più efficienti, trasformandole in spazi resilienti, capaci di adattarsi ai cambiamenti ambientali, sociali ed economici.

Dal punto di vista ecologico, l'IA offre soluzioni senza precedenti per affrontare le sfide poste dai cambiamenti climatici. La capacità di analizzare ed elaborare enormi quantità di dati in tempo reale consente di prevedere con maggiore precisione gli eventi climatici estremi e prevenire i danni, ottimizzare l'uso delle risorse naturali, rendere più efficienti i processi produttivi e più performanti le infrastrutture di

rete, diminuire le emissioni di gas serra e più in generale l'inquinamento, riducendo così l'impatto ambientale delle attività urbane.

Ma affinché ciò possa avvenire non è sufficiente l'upgrade tecnologico: c'è necessità di una revisione del modello economico, su cui quantomeno i Paesi ad economia avanzata hanno basato il loro sviluppo a partire dal dopoguerra, e di un ripensamento del corrispondente stile di vita consumistico (la "società liquida" di Bauman).

L'approccio depredatorio nei confronti dell'ambiente, che ha guidato la crescita delle economie mondiali negli ultimi decenni, ci ha mostrato il rovescio della medaglia sotto molteplici forme: inquinamenti, carenza idrica, impoverimento e consumo di suolo, rifiuti tossici, emissioni di gas climalteranti, ecc. Non basta esserne consapevoli, è indispensabile essere pronti a cambiare le nostre abitudini quotidiane. L'intelligenza artificiale può effettivamente essere uno strumento potente a supporto di quella che abbiamo definito "transizione ecologica e digitale", ma a monte ci deve essere un salto culturale, individuale e collettivo.

Le sfide etiche e sociali poste dall'intelligenza artificiale richiedono una riflessione profonda che vada oltre l'entusiasmo per le nuove opportunità offerte dal progresso tecnologico. L'integrazione dell'IA nella società solleva questioni fondamentali che toccano il cuore del nostro vivere in comune, come l'uguaglianza, la giustizia e la salvaguardia delle libertà individuali.

In primo luogo, è essenziale riconoscere che l'IA non è neutrale. Le decisioni automatizzate che essa genera sono il risultato di algoritmi che potrebbero servirsi di dati soggetti a pregiudizi intrinseci, il che porterebbe a effetti che amplificano le disuguaglianze esistenti, anziché ridurle. L'automazione su larga scala può destabilizzare mercati del lavoro già fragili, accentuando le disparità economiche e sociali. Il pericolo della disinformazione creata dall'intelligenza artificiale, in modo volontario o meno, rappresenta una spada di Damocle per le nostre democrazie. Pertanto, lo sviluppo di una intelligenza artificiale "affidabile" richiede l'implementazione di principi che assicurino equità, trasparenza e responsabilità.

Non si tratta solo di evitare il danno, ma di progettare sistemi che promuovano il perseguimento del bene comune. È necessario, a tale scopo, un quadro normativo solido e universale, che tuteli i diritti

fondamentali, ma che sia anche in grado di rispondere in modo flessibile agli sviluppi futuri dell'IA. Altrimenti il rischio è che i vantaggi del progresso vengano monopolizzati da una élite ristretta, con l'accentuazione delle diseguaglianze sociali, e con ripercussioni addirittura per le sovranità popolari e le libertà individuali.

Una caratteristica di questo libro risiede proprio nel suo tentativo di offrire una lettura anticipata delle trasformazioni in corso, proponendo un quadro interpretativo che integra le diverse dimensioni della città del futuro: tecnologica, sociale, ambientale. Una visione olistica, dove l'IA non è vista né come la panacea di tutti i mali, né come il male assoluto da cui doversi difendere, ma come una forza catalizzatrice che può accelerare il processo di transizione verso modelli urbani più sostenibili e resilienti. Sempre che si acquisisca piena consapevolezza delle sue prospettive e dei suoi azzardi.

La riflessione che questo libro propone non si limita ad una celebrazione acritica delle capacità dell'IA, ma pone l'accento sulla necessità di una posizione equilibrata, che sappia coniugare innovazione, realismo e responsabilità. L'approccio antropocentrico, il rispetto dei diritti individuali e collettivi, la salvaguardia dell'ambiente, l'attenzione agli impatti sociali dell'automazione, sono tutti aspetti che emergono come cruciali nel contesto di una città del futuro che deve essere assistita e non dominata dall'intelligenza artificiale.

Il contributo che questo libro intende offrire al dibattito scientifico risiede proprio nello sforzo di integrare visioni diverse, proponendo una sintesi che coniuga teoria e pratica, tecnologia e umanesimo. In un campo in cui prevalgono approcci settoriali e ultra-specialistici, questa visione integrata vuole essere un invito per i lettori a considerare l'IA come uno strumento tecnologico multiforme, che interagisce simultaneamente con le dinamiche sociali, economiche e ambientali, avendone la capacità di condizionarle.

Questa prospettiva è fondamentale per comprendere a pieno il potenziale trasformativo dell'IA in ambito urbano, ma anche i rischi connessi a un suo uso indiscriminato o non regolamentato.

Guardando in avanti, appare chiaro che il dibattito sulle relazioni IA-Città sia solo all'inizio. Molti degli interrogativi sollevati in queste pagine rimarranno aperti, richiedendo ulteriori approfondimenti e ricerche. Certo è che la velocità con cui le tecnologie progrediscono e

l'impatto su scala globale che esercitano, sono fattori che mettono in luce come il rapporto tra scienza, tecnica e società sia sempre più complesso e articolato.

Uno dei temi che meriterà certamente ulteriori approfondimenti è la questione della dipendenza tecnologica: come possiamo garantire che le città restino resilienti anche in caso di guasti, malfunzionamenti o attacchi ai sistemi IA? Quali sono le implicazioni di un mondo in cui le decisioni urbane sono delegate a macchine intelligenti? E come possiamo preparare le future generazioni a vivere e lavorare in città sempre più pervase da algoritmi impenetrabili, senza perdere capacità e attitudini di osservazione, analisi e critica?

Le prospettive di ulteriori sviluppi del dibattito scientifico riguardano l'idea di "ipercittà" introdotta da questo libro, che potrebbe essere approfondita e contestualizzata esplorando le sue possibili declinazioni, e ancora di più il concetto di "ipercittadini" di una società composita in cui gli esseri umani interagiscono con robot, esoscheletri, droni, sistemi intelligenti, veicoli a guida autonoma, ecc.

Questo lavoro di ricerca, quindi, non rappresenta la conclusione di un percorso, ma il punto di partenza per un'osservazione multidisciplinare, che ci porti ad essere vigili e proattivi nel monitorare le implicazioni di un'IA che diventerà, e in parte lo è già diventata, parte integrante della nostra vita quotidiana.

L'auspicio, pertanto, è di stimolare studiosi, cittadini e amministratori ad una riflessione collettiva che riguarda il futuro delle nostre città e, in ultima analisi, della nostra civiltà.

Appendice

FrancoAngeli

FrancoAngeli

Digital Twin

di Lorenzo Massimiano

1. Significato di “Gemello digitale”

Il desiderio di rappresentare integralmente il territorio ha affascinato filosofi, scrittori e scienziati per secoli.

Nel 1893 Lewis Carrol scrisse il suo ultimo romanzo *Sylvie and Bruno*, nel tentativo di ripetere il successo di *Alice nel Paese delle Meraviglie*. Nel capitolo XI, il personaggio Mein Herr racconta al protagonista di un Paese in cui i cartografi erano riusciti a creare una mappa del territorio così precisa da essere rappresentata in scala 1:1, per poi però proseguire dicendo che: «fino ad oggi, non è ancora mai stata aperta. I contadini dicono che coprirebbe l'intero paese togliendogli la luce del sole! Quindi per ora usiamo il paese stesso come mappa, e posso assicurarvi che funziona piuttosto bene»¹.

Circa cinquanta anni dopo Jorge Luis Borges, estimatore e studioso di Carrol, riprenderà questo paradosso in un uno dei suoi racconti, “Del rigore nella scienza”². Dopo aver descritto come i cartografi abbiano creato una mappa in scala 1:1 che coincide esattamente con il territorio dell'impero, il racconto si conclude osservando che le generazioni successive decisero che una mappa di tali dimensioni era

¹ Carrol L. (1893), *Sylvie and Bruno*, MacMillan and Co., Londra, testo originale disponibile al sito: <https://dn790006.ca.archive.org/0/items/sylviebrunoconcl00carriala/sylviebrunoconcl00carriala.pdf>

² Borges J. L. (2020), “Del rigore nella scienza”, contenuto in *Racconti brevi e straordinari*, a cura di Scarano T., Adelphi, Milano.

inutile e ingombrante. La mappa fu quindi abbandonata e lasciata a deteriorarsi nel deserto, sotto il sole e la pioggia.

Ai giorni nostri l'idea di elaborare una rappresentazione del territorio così dettagliata da poter combaciare con la realtà stessa non sembra più così surreale. Soprattutto se a proporlo non sono degli artisti, ma la Commissione Europea, che nel 2022 lancia l'iniziativa DestinE (abbreviazione di *Destination Earth*), un progetto che mira a sviluppare una rappresentazione dell'intero pianeta sfruttando l'intelligenza artificiale e le più avanzate tecnologie di calcolo. L'obiettivo è realizzare un "gemello digitale" della Terra³. Il progetto si inserisce all'interno delle misure per la transizione ecologica e digitale promossa dall'Unione Europea attraverso il Green Deal EU e la EU's Digital strategy, ed è finalizzato a far ulteriormente progredire l'Europa dal punto di vista della sostenibilità ambientale e dell'innovazione tecnologica. L'ambizione di DestinE è di ottenere un modello che possa monitorare e simulare le interazioni tra i fenomeni naturali e le attività umane, in modo da prevedere e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici, gestire le risorse ambientali e rispondere in maniera efficace ai rischi da catastrofe naturale. A ciò si aggiunge la possibilità di avere un'unica piattaforma digitale di riferimento, che possa permettere agli utenti di elaborare simulazioni, creare i propri strumenti di analisi e osservare i dati prodotti dalle moderne infrastrutture di calcolo europee senza preoccuparsi delle architetture tecniche sottostanti⁴. L'uscita delle prime funzionalità di "DestinE" è prevista per la fine del 2024.

A questo punto viene da chiedersi: in cosa consiste il cosiddetto "gemello digitale"? Quali sono le caratteristiche che lo distinguono dai modelli digitali del passato? E in che modo questa innovazione può contribuire ad aumentare la capacità di gestione delle nostre città? Cercheremo di dare risposta a queste domande tracciando innanzitutto i confini scientifici del concetto di "Digital Twin" (DT), attraverso: una ricostruzione dell'evoluzione del termine, una disambiguazione rispetto ad altri concetti come Digital Model e Digital Shadow e proponendo alcune delle definizioni più pertinenti. Successivamente,

³ UE (2024), *Destinazione Terra: plasmare il futuro digitale dell'Europa*, testo disponibile al sito <https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/policies/destination-earth>

⁴ Hoffmann, J., Bauer, P., Sandu, I., Wedi, N., Geenen, T., & Thiemert, D. (2023), "Destination Earth – A digital twin in support of climate services", in *Climate Services*, vol. 30, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100394>

vedremo un'analisi delle diverse definizioni esistenti di Digital Twin, mettendone in luce le caratteristiche principali. Questa analisi servirà per comprendere come i DT operano, quali componenti li identificano, e come i Digital Twin possono essere declinati in campo urbanistico.

2. Evoluzione del concetto di DT

A differenza di altri termini diventati di uso comune di cui non si conosce con precisione l'origine, come ad esempio smart city, il concetto di DT ha una genesi chiara e può essere attribuito a Michael Grieves, che lo introduce per la prima volta nel 2003 durante i suoi corsi di Product Lifecycle Management alla Michigan University⁵. Il termine nasce da una collaborazione che lo stesso Grieves ha con John Vickers, ingegnere della NASA, con cui lavora per studiare le applicazioni dei modelli digitali in ambito aerospaziale. Nonostante in quegli anni le rappresentazioni digitali fossero ancora allo stato embrionale, Grieves e Vickers ne intuiscono le potenzialità.

Inizialmente il concetto di Digital Twin era circoscritto all'ambito dell'ingegneria industriale. Grieves lo descrive come l'insieme di tre componenti: 1) un prodotto fisico esistente in uno spazio reale; 2) un prodotto virtuale inserito in uno spazio virtuale; 3) la connessione di dati e informazioni che collegano il prodotto fisico e il prodotto virtuale. Si potrebbe dunque semplificare dicendo che un DT è la riproduzione digitale di un prodotto fisico. Se però ci si limitasse a questa definizione, non ci sarebbe differenza tra un DT e un modello 3D ordinario. L'elemento discriminante va individuato nel terzo aspetto, cioè nel tipo di relazione che si instaura tra l'elemento fisico e quello virtuale. Lo studio condotto da Kritzinger et al. sulla letteratura legata al Digital Twin chiarisce questo concetto, proponendo una

⁵ Grieves M. (2014), *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*, testo disponibile al sito: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication

classificazione che si basa sul livello di integrazione del rapporto tra oggetto fisico e oggetto digitale⁶.

Al livello più basso di integrazione si pone il cosiddetto *Digital Model*: una rappresentazione virtuale del prodotto fisico in cui lo scambio di dati e di informazioni tra i due elementi avviene in maniera esclusivamente manuale. È il caso dei comuni modelli virtuali 2D o 3D che si adoperano per le rappresentazioni architettoniche, in cui l'aggiornamento delle informazioni viene eseguita tramite interventi manuali da parte degli operatori, spesso basandosi su dati raccolti offline per mezzo di misurazioni empiriche. Ad esempio, la lunghezza di un muro viene rilevata manualmente per poi essere inserita, sempre manualmente, nel programma di CAD o nel software di modellazione 3D.

Per poter aggiornare il modello è necessario ripetere l'operazione. Pertanto, i modelli risultanti da questo procedimento sono statici e non riflettono in tempo reale le condizioni del prodotto fisico. Questo aspetto va, evidentemente, a limitare la capacità del modello o dell'oggetto rappresentato di rispondere ai cambiamenti, che dipenderanno sempre dall'intervento dell'operatore. A seconda poi del punto di partenza e di arrivo delle informazioni, si avrà un Digital Model con finalità differenti: se l'interazione scaturisce dal modello fisico per trasformare quello virtuale, allora il modello digitale fungerà da rappresentazione dell'oggetto reale, utile per la ricostruzione, il rilievo, il monitoraggio, le analisi, etc.; è il caso, ad esempio, dei modelli tridimensionali che riproducono fedelmente edifici esistenti. Al contrario, se l'interazione parte dal modello virtuale per influenzare il modello fisico, il Digital Model sarà utilizzato principalmente per la progettazione e la simulazione, con lo scopo di testare configurazioni e scenari prima di applicarli nella realtà. In ambito architettonico appartengono a questa categoria i modelli e i rendering di progetto, che dopo essere stati realizzati in un ambiente virtuale sono utilizzati come base di informazioni per la costruzione del modello fisico.

Salendo di un livello di integrazione, si passa al concetto di *Digital Shadow*. Qui il flusso di informazioni avviene invece in maniera

⁶ Kritzinger W., Karner M., Traar G., et.al. (2018), "Digital Twin in manufacturing: a categorical literature review and classification", in *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 1016-1022, testo disponibile al sito <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2018.08.474>

automatica, ma solo nella direzione che va dal prodotto fisico a quello virtuale. Ne consegue che il modello virtuale risultante si configura come una copia dinamica dell'oggetto fisico, riflettendone gli stati e i comportamenti nel corso del tempo, con un aggiornamento che, nei casi ottimali, avviene in tempo reale. A differenza del precedente Digital Model, dove le informazioni vengono inserite manualmente, il Digital Shadow permette di sincronizzare automaticamente i dati grazie a sensori e dispositivi con tecnologia IoT installati sull'oggetto fisico. Questo aspetto amplia le possibilità del modello virtuale, poiché consente di monitorare continuamente le condizioni operative, di identificare anomalie e prevenire eventuali disfunzioni prima che si verifichino. In un contesto industriale, ad esempio, il Digital Shadow può essere utilizzato per riprodurre i macchinari di una catena di montaggio, in modo che gli operatori possano monitorarli a distanza, tenerne sotto controllo i valori di soglia e simulare eventuali anomalie come l'usura dei componenti.

All'apice dell'evoluzione dei modelli digitali c'è il Digital Twin in cui i flussi di dati scorrono in entrambe le direzioni, dal modello fisico a quello digitale e viceversa, in maniera del tutto automatizzata. Questo livello di integrazione permette una sinergia completa tra i due modelli, che si completano e aggiornano, influenzandosi reciprocamente. È soltanto a questo punto che entra in gioco il concetto di "gemello". Nel Digital Twin si realizza un circolo virtuoso in cui fasi di monitoraggio, di simulazione, di ottimizzazione, si avvicendano continuamente, passando dall'ambiente fisico a quello virtuale e viceversa, in un flusso dinamico finalizzato ad ottimizzare forme, comportamenti e processi.

Nonostante tutto ciò possa quasi sembrare fantascientifico, l'impiego di Digital Twin è già una realtà operativa in diversi processi industriali. Tesla, ad esempio, utilizza i DT per perfezionare i suoi veicoli e migliorare il servizio clienti⁷: per ogni auto prodotta sviluppa una copia digitale e, grazie ai sensori presenti sui veicoli, i dati vengono trasmessi al gemello digitale e analizzati tramite algoritmi di intelligenza artificiale. Questo metodo consente una gestione ottimizzata

⁷ Crisantemi M. (2023), *Digital Twin: che cos'è, come funziona e quali sono i vantaggi del gemello digitale*, testo disponibile al sito: <https://www.innovationpost.it/tecnologie/industrial-it/digital-twin-che-cos-e-come-funziona-e-quali-sono-i-vantaggi-del-gemello-digitale/>

del monitoraggio delle autovetture, potendone simulare le prestazioni, verificarne i malfunzionamenti e individuarne previamente le necessità di manutenzione, che per taluni interventi può addirittura avvenire a distanza, ad esempio per la regolazione del sistema idraulico di chiusura delle portiere.

Sebbene gli studi scientifici distinguano i Digital Model dai Digital Shadow e dai Digital Twin, è consuetudine utilizzare il termine DT in modo generico per riferirsi indistintamente a uno qualsiasi di questi concetti. Tale prassi, insieme alla relativa novità dell'argomento, ha generato nel tempo una certa confusione. La definizione di DT fornita dagli stessi ideatori, Grieves and Vickers, risulta anch'essa parziale essendo legata all'ambito dell'ingegneria meccanica: «un insieme di costrutti di informazioni virtuali che descrivono completamente un prodotto fisico, potenziale o reale, dal livello micro-atomico al livello macro-geometrico. Nella migliore delle ipotesi, qualsiasi informazione che potrebbe essere ottenuta ispezionando un prodotto fisico fabbricato, può essere ottenuta dal suo Digital Twin»⁸.

Più convincente, invece, appare la definizione di Riaz et al., per i quali «un Digital Twin è una rappresentazione digitale di un'entità fisica che include una mappatura dinamica e bidirezionale tra l'oggetto reale e il suo modello digitale»⁹. Qui, infatti, viene evidenziata l'importanza della relazione bidirezionale che caratterizza e distingue i DT dagli altri modelli. Inoltre, questa visione amplia l'applicabilità del Digital Twin oltre i confini dell'ingegneria meccanica, permettendone l'estensione in settori come la sanità, l'architettura, la gestione delle risorse naturali, etc.

3. DT nella disciplina urbanistica

Il successo del DT nel mondo del *product design* ha stimolato un notevole interesse per la sua applicazione in altri settori, tra cui

⁸ Grieves M., Vickers J. (2017), “Digital Twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems”, in *Transdisciplinary perspectives on complex systems*, pp. 85-113, Springer.

⁹ Riaz K., McAfee M., Gharbia S. (2023), “Management of climate resilience: exploring the potential of digital twin technology, 3d city modelling, and early warning systems”, in *Sensors*, Vol. 23-5, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/s23052659>

l'urbanistica. Il DT più che essere definito come una tecnologia autonoma, deve essere inteso come l'integrazione di diverse tecnologie orientate al rilevamento e alla simulazione di elementi fisici e virtuali¹⁰. Le tecnologie più comunemente integrate nei DT comprendono¹¹: Internet of Things (IoT), sistemi di comunicazione wireless, RFID, connessioni ethernet, cloud computing, database, sensori, piattaforme web, e avanzati processi di machine learning. Tutte queste componenti lavorano sinergicamente per creare rappresentazioni digitali dinamiche che possono migliorare la comprensione, la gestione e la pianificazione di sistemi complessi, come, ad esempio, quelli urbani. Di fatto, gli stessi strumenti che permettono di modellare un motore o monitorare in tempo reale una turbina, possono essere applicati a componenti più grandi e complessi, come edifici, reti di trasporto, sistemi infrastrutturali di interesse città.

Uno dei primi esperimenti di Digital Twin urbano è stato "Virtual Singapore", un progetto innovativo lanciato dal governo di Singapore nel 2014 e divenuto operativo nel 2022, con l'obiettivo di creare una replica digitale tridimensionale della città¹². Il progetto fa parte del programma "Singapore's Smart Nation" e nasce dall'esigenza di far fronte alle sfide contemporanee del territorio, soprattutto quelle legate alle conseguenze negative dei cambiamenti climatici. Nello specifico, Virtual Singapore è stato concepito per fornire una piattaforma digitale che permettesse di visualizzare e analizzare l'intero ambiente urbano in modo interattivo e dinamico. Il modello 3D di Virtual Singapore è stato realizzato grazie alla collaborazione tra agenzie governative, università e aziende tecnologiche, utilizzando immagini satellitari e una vasta gamma di dati provenienti da sensori distribuiti in tutta la città. Questi dati sono stati integrati per creare una rappresentazione precisa e aggiornata delle infrastrutture, degli edifici, delle strade e

¹⁰ Liu M., Fang S., Dong H., Xu C. (2021), "Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications", in *Journal of Manufacturing Systems*, testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612520301072>

¹¹ Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B. (2020), "Characterising the Digital Twin: A systematic literature review", in *Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 29, pp. 36-52, testo disponibile al sito <https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2020.02.002>

¹² Pereira D., (2023), *Speculative design: virtual Singapore is a massive, fully functional digital twin of the asian city-state*, testo disponibile al sito: <https://www.oodalooop.com/archive/2023/05/23/speculative-design-virtual-singapore-is-a-massive-fully-functional-digital-twin-of-the-asian-city-state/>

degli spazi verdi, ottenendo così un prototipo su cui eseguire simulazioni di scenari urbani, come la gestione del traffico, l'ottimizzazione dell'approvvigionamento dell'energia e la risposta a eventi meteorologici estremi.

Anche la capitale della Nuova Zelanda, Wellington¹³, ha sviluppato il proprio DT, al fine di migliorare la gestione del territorio soprattutto dal punto di vista della mobilità sostenibile. Il modello digitale è stato realizzato da una società specializzata, Buildmedia, che ha sfruttato le potenzialità del motore grafico Unreal Engine per creare un modello dinamico della città, combinando informazioni geospaziali e dati provenienti da sensori sistemati in diversi punti del tessuto urbano. Si è partiti da piccole aree con un alto livello di dettaglio, per poi ampliarle progressivamente fino a coinvolgere l'intero territorio di Wellington. La forma del terreno è stata generata utilizzando le curve di livello delle cartografie tradizionali, mentre il rilievo dell'edificato è stato fornito dal Wellington City Council, proprietario di un database di 18.000 edifici modellati in 3D. Il Digital Twin è stato poi integrato con sensori IoT distribuiti in tutta la città che monitorano vari parametri (traffico, flussi pedonali, spostamenti in bici, livelli di inquinamento, temperatura, condizioni meteorologiche, etc.), creando un flusso costante di informazioni proveniente dal territorio capace di aggiornare il modello in tempo reale. Il modello è ancora in fase sperimentale, ma offre già informazioni utili per migliorare il funzionamento urbano.

Come nel caso precedente, anche il DT di Wellington è stato realizzato con l'obiettivo di supportare la municipalità nelle decisioni complesse e nell'analisi dei fenomeni che comprendono un'ampia gamma di parametri da considerare, come quelli legati al cambiamento climatico e allo sviluppo economico. Inoltre, il DT è utilizzato come strumento di partecipazione per le consultazioni di cittadini e stakeholder. La rappresentazione degli scenari futuri e l'integrazione di tutte le informazioni in un'unica piattaforma facilita il processo decisionale, permettendo di mantenere uno storico delle proposte e dei feedback ricevuti.

Nonostante i casi descritti siano riconosciuti nella letteratura scientifica come best practice di Digital Twin, in essi non viene esplicitata

¹³ Un approfondimento sul Digital Twin di Wellington è disponibile al sito <https://www.the-boundary.com/work/wellington-digital-twin>

la presenza di un flusso di dati che, partendo dal modello digitale, influenzi direttamente il modello fisico. Mentre è chiaro l'impiego del DT per il monitoraggio, la simulazione e la visualizzazione in tempo reale, manca la fase successiva, ossia l'integrazione di sistemi di attuazione che possano rispondere agli stimoli provenienti dal modello digitale e influenzare le decisioni in ambito urbano. Una implementazione di questo tipo consentirebbe, ad esempio, di attivare automaticamente sistemi di controllo del traffico, di regolare l'illuminazione pubblica in un'ottica di risparmio energetico, o anche di innescare sistemi di emergenza in caso di calamità, etc. Allo stato attuale, dunque, almeno per i casi di studio citati, sarebbe più corretto parlare di Digital Shadow piuttosto che di Digital Twin.

La transizione del Digital Twin dal Product Design ad altri campi applicativi, ad esempio l'Urbanistica, ha rappresentato un'evoluzione naturale, in cui i vantaggi del DT si sono estesi dall'ottimizzazione dei prodotti alla gestione delle complessità urbane. Questo passaggio ha aperto nuove opportunità nel tentativo di creare città più efficienti, sostenibili e resilienti, sperimentando le possibilità di un simile strumento di poter contribuire ad affrontare le sfide dei nostri tempi, a cominciare dall'adattamento ai cambiamenti climatici.

Come tutte le tecnologie che non si limitano a migliorare i sistemi esistenti, ma li rivoluzionano creando nuove opportunità, anche i DT presentano diverse criticità, non solo di natura tecnica. Il termine gemello digitale, sebbene sia molto evocativo, suggerisce una perfetta corrispondenza tra entità fisica e modello virtuale che tuttavia risulta fuorviante rispetto alle attuali possibilità. Tra i due elementi esiste un divario che va amplificandosi con l'aumentare della complessità e delle dimensioni della rappresentazione. Il Digital Twin di un'intera città, pertanto, sarà necessariamente incompleto, sia a causa dell'irreperibilità di alcuni dati, sia per le limitazioni tecniche legate all'archiviazione, gestione ed elaborazione dei dati e delle informazioni. La creazione e la gestione di un DT urbano su larga scala richiede competenze avanzate in molteplici discipline, il che rende il processo molto complesso e costoso, quindi inaccessibile per molte amministrazioni. Lo stesso si può dire per l'elevata potenza computazionale necessaria a elaborare i dati in tempo reale, la quale, se non viene raggiunta, può ostacolare le prestazioni complessive di un DT.

Come è successo in passato per altri strumenti che inizialmente sembravano avere difficoltà insormontabili, si pensi ad esempio all'introduzione dei primi computer, alcuni di questi aspetti saranno risolti con il tempo e con la naturale evoluzione delle tecnologie. Tuttavia, è prudente mantenere un approccio consapevole dei limiti del DT, gestendo le aspettative in modo realistico e considerando il DT come strumento complementare, piuttosto che sostitutivo del modo tradizionale di pianificare e di gestire la città. È necessario, quindi, non lasciarsi eccessivamente sedurre dalle narrazioni promozionali dei Digital Twin, spesso promosse dalle stesse aziende produttrici delle piattaforme software su cui si basano, ma seguirne con interesse scientifico l'evoluzione delle sue possibili applicazioni.

FrancoAngeli

City Brain

di Maura Mantelli

1. Significato di “Cervello Urbano”

Nel contesto delle città iperconnesse del futuro, il concetto di *City Brain* (CB) rappresenta una delle innovazioni forse più interessanti per la gestione complessiva delle attività urbane. Questa tecnologia, sviluppata inizialmente dal colosso tecnologico cinese Alibaba Cloud¹, si serve di un sistema integrato che utilizza algoritmi di machine learning, analisi big data e altri sistemi avanzati per elaborare informazioni provenienti da una vasta gamma di fonti distribuite in città, come telecamere di sorveglianza, sensori di traffico, social media e reti di telecomunicazioni. Questi dati vengono analizzati in tempo reale, con l'obiettivo di una gestione efficace delle risorse urbane, una risposta rapida alle emergenze e una pianificazione urbana intelligente.

Il cuore del City Brain è rappresentato da una piattaforma software centralizzata, in genere ospitata su cloud, che funziona da centro di raccolta e analisi dei dati. L'architettura del sistema si basa su tre componenti principali:

1. *sensori e raccolta dati*: una rete distribuita di sensori raccoglie in continuazione dati su vari aspetti della vita urbana, inclusi traffico, qualità dell'aria, consumo energetico, movimenti della popolazione, ecc.;

¹ Alibaba Cloud (2018), *How ET City Brain Is Transforming the Way We Live – One City at a Time*, Alibaba blog, testo disponibile al sito: https://www.alibabacloud.com/blog/how-et-city-brain-is-transforming-the-way-we-live-one-city-at-a-time_593745

2. *piattaforma di analisi*: i dati raccolti vengono inviati a una piattaforma centralizzata, dove sono processati da algoritmi di IA per identificare pattern, fare previsioni e ottimizzare le operazioni urbane;
3. *interfaccia e attuatori*: i risultati dell'analisi vengono tradotti in azioni concrete, come l'ottimizzazione dei sistemi semaforici, la gestione dell'energia o l'intervento in caso di emergenze per la salute pubblica, attraverso interfacce utente e sistemi di controllo automatizzati.

L'idea di fondo del City Brain è quella di creare una sorta di vero e proprio "cervello urbano" che, attraverso una fitta rete di sensori, videocamere e dispositivi digitali interconnessi, acquisisca una mole considerevole di informazioni, le elabori in tempo reale attraverso algoritmi di intelligenza artificiale, e intervenga in modo autonomo provvedendo a risolvere anomalie o criticità, con l'intento di migliorare l'efficienza e la sostenibilità complessiva della città.

Vediamo alcune delle applicazioni più interessanti del City Brain.

Gestione del traffico. Una delle applicazioni più distintive del CB riguarda l'ottimizzazione del traffico urbano. Attraverso l'analisi dei dati in tempo reale provenienti dalle stazioni di rilevamento fisso o dalle informazioni provenienti dai veicoli autonomi in movimento, il sistema è in grado di regolare i semafori in modo dinamico, al fine di ridurre la congestione e migliorare la fluidità del traffico.

Gestione delle emergenze. Il CB consente una risposta rapida e coordinata in situazioni di emergenza. Ad esempio, in caso di incendio o disastro naturale, il sistema può analizzare i dati in tempo reale per ottimizzare i percorsi di evacuazione, coordinare le squadre di soccorso e gestire le risorse di emergenza in modo efficace.

Ottimizzazione energetica. Attraverso il monitoraggio continuo del consumo energetico e l'analisi predittiva, il CB può contribuire a ridurre gli sprechi energetici e ottimizzare la distribuzione dell'energia. Ad esempio, il sistema può regolare l'illuminazione pubblica in base all'affluenza di persone in una determinata area o gestire la domanda energetica in modo dinamico per evitare sovraccarichi.

Monitoraggio ambientale e salute pubblica. Il CB può monitorare la qualità dell'aria, il livello del rumore e altre variabili ambientali, fornendo informazioni utili per la tutela della salute pubblica. Inoltre,

attraverso l'integrazione con dati provenienti dai sistemi sanitari, può contribuire all'individuazione dei focolai di malattie e coordinare le operazioni sanitarie di intervento.

Pianificazione urbana. Grazie alla capacità di elaborare grandi quantità di dati storici e dati in tempo reale, il CB può supportare la pianificazione urbana attraverso simulazioni avanzate e modelli predittivi che consentono di comparare scenari diversi, prima ancora della realizzazione degli interventi.

Il City Brain, quindi, si identifica come una sorta di “centrale di controllo” dei sistemi urbani, che ne monitora il funzionamento e che interviene in modo autonomo in caso di necessità. Detta in questi termini è chiaro che si pongano grandi aspettative per gli sviluppi futuri di questa tecnologia, sia per la gestione di problematiche quotidiane come il traffico o la distribuzione dell'energia, sia per affrontare questioni più complesse e meno prevedibili come le catastrofi naturali o le emergenze sanitarie.

Di seguito cercheremo di verificare lo stato dell'arte di questa tecnologia, analizzando alcune piattaforme di City Brain realizzate in diverse città nel mondo.

2. Alcune applicazioni significative

Hangzhou – Una panoramica di città che hanno adottato piattaforme di City Brain, non può che iniziare da Hangzhou, metropoli cinese con oltre dieci milioni di abitanti. È stata una delle prime sperimentazioni su vasta scala della piattaforma sviluppata da Alibaba. L'obiettivo principale del progetto era migliorare la gestione del traffico, uno dei principali problemi urbani più urgenti di Hangzhou. La piattaforma CB raccoglie dati provenienti da una vasta rete di telecamere, sensori di traffico, veicoli connessi e dispositivi IoT (Internet of Things). Attraverso l'analisi in tempo reale dei dati, il sistema è in grado di regolare i semafori dinamicamente, ottenendo una sensibile riduzione dei tempi di attesa e la fluidificazione dei movimenti vei-

colari. Secondo alcuni rapporti ufficiali², questa tecnologia ha contribuito a ridurre il tempo di percorrenza medio del 15% su alcuni tratti autostradali particolarmente congestionati e ha aumentato la velocità media di percorrenza del traffico cittadino di circa il 10%. Il sistema è impiegato anche per coordinare le risposte alle emergenze, come incidenti stradali e incendi. Grazie all'analisi dei dati, le autorità possono individuare l'esatta posizione dell'incidente e inviare le unità di soccorso più vicine, che avranno percorsi privilegiati da sistemi semaforici automatizzati, riducendo significativamente i tempi di intervento. L'integrazione all'interno del CB di alcune attività dell'aeroporto internazionale di Hangzhou-Xiaoshan è riuscita a migliorare l'efficienza delle operazioni di imbarco, la gestione del rifornimento carburante dei velivoli e l'organizzazione del catering di bordo. Un'altra applicazione rilevante è il monitoraggio ambientale. Il CB raccoglie dati sulla qualità dell'aria e sul livello di inquinamento, fornendo alle autorità locali informazioni utili per l'attuazione di politiche ambientali e per informare la popolazione sui rischi per la salute. Dopo alcuni anni di introduzione a Hangzhou si può fare un primo bilancio e si può affermare che il CB ha dato buoni risultati per il miglioramento di alcune funzioni urbane, il traffico innanzitutto, contribuendo a rendere la città più vivibile e a ridurre sensibilmente le emissioni di anidride carbonica³.

Kuala Lumpur – La capitale della Malesia con quasi due milioni di abitanti, è una delle città del Sud-Est asiatico che hanno intrapreso un percorso di trasformazione digitale attraverso l'adozione di tecnologie di City Brain. In collaborazione con Alibaba Cloud, la città ha lanciato il progetto "Malaysia City Brain"⁴ nel 2018, con l'obiettivo di migliorare la gestione urbana e promuovere lo sviluppo sostenibile. Il progetto è parte della più ampia iniziativa nazionale malese "smart city

² Alizila Staff (2018), *Alibaba Cloud Launched 'ET City Brain 2.0' in Hangzhou*, Alibaba Group, Settembre, testo disponibile al sito: <https://www.alizila.com/alibaba-cloud-launched-city-brain-2-0-hangzhou/>

³ Caprotti F., Dong L. (2020), *Platform urbanism and the Chinese smart city: the co-production and territorialisation of Hangzhou City Brain*, Springer Nature, NY, testo disponibile al sito: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10708-020-10320-2.pdf>

⁴ Alibaba Cloud (2018), *Alibaba Cloud Launches Malaysia City Brain to Enhance City Management*, testo disponibile al sito: <https://ali-home-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/ecms-files/1532295521/4aca40b8-d0f1-431b-a772-a9944d28be91.pdf>

Framework”⁵, che mira a digitalizzare le infrastrutture urbane e più in generale a migliorare la qualità della vita dei cittadini attraverso l’innovazione tecnologica. Come altre città che hanno implementato piattaforme CB, Kuala Lumpur ha focalizzato gran parte del suo progetto sull’ottimizzazione del traffico. La città soffre di congestionamenti significativi, che specialmente durante le ore di punta, paralizzano le principali arterie viabilistiche. Il CB di Kuala Lumpur utilizza un sistema avanzato di gestione del traffico basato sull’intelligenza artificiale per monitorare in tempo reale il flusso di veicoli. Il sistema analizza dati provenienti da telecamere di sorveglianza, sensori di traffico e GPS, per regolare i tempi dei semafori e deviare il traffico in modo dinamico. Un’altra funzione del CB di Kuala Lumpur è la capacità di anticipare i congestionamenti grazie all’analisi predittiva. Il sistema utilizza modelli di machine learning per analizzare i dati storici del traffico e prevedere i periodi e le aree a rischio di congestione, permettendo alle autorità di intervenire preventivamente. Per quanto riguarda il tema della sicurezza urbana, anch’esso molto sentito dagli abitanti della capitale malese, il CB è integrato con le reti di sorveglianza della città, permettendo un monitoraggio costante della sicurezza pubblica. Il sistema è in grado di rilevare comportamenti anomali o situazioni di rischio attraverso algoritmi di riconoscimento delle immagini e può allertare immediatamente le forze dell’ordine. In caso di incidenti o disastri naturali, il CB fornisce un supporto logistico nel coordinamento delle operazioni di soccorso. Analizza i dati per ottimizzare i percorsi di evacuazione e indirizzare le risorse di emergenza verso le aree più colpite, con l’obiettivo di ridurre i tempi di intervento dei soccorritori. Anche il CB di Kuala Lumpur include moduli per il monitoraggio ambientale, in particolare per la qualità dell’aria. La città, come molte altre metropoli asiatiche, in questi anni sta combattendo una aspra battaglia contro l’inquinamento dovuto all’elevato traffico e alle attività industriali. Sensori distribuiti in città raccolgono dati sulla presenza di sostanze inquinanti, che vengono analizzati per fornire informazioni e per lanciare allarmi tempestivi in caso del superamento dei valori soglia. Kuala Lumpur ha anche integrato un sistema di gestione

⁵ Boon Lim S., Abdul Malek J., Yusof Hussain M., Tahir Z. (2021), “Malaysia smart city Framework: A Trusted Framework for Shaping Smart Malaysian Citizenship”, in AA.VV. *Handbook of Smart Cities*, pp.515-538, Springer Switzerland.

delle risorse idriche nella piattaforma CB. Questo sistema monitora l'approvvigionamento e il consumo di acqua, contribuendo a prevenire sprechi e a gestire le risorse in modo sostenibile, specialmente durante i periodi di siccità. Il City Brain viene utilizzato anche per promuovere il turismo, un settore chiave per Kuala Lumpur. Analizzando i dati sui flussi turistici e sulle preferenze dei visitatori, il sistema suggerisce itinerari personalizzati e indirizza il flusso di turisti verso le attrazioni che prevede non siano eccessivamente affollate in quel momento. Questo non solo migliora l'esperienza dei visitatori, ma contribuisce anche a evitare il sovraffollamento e a preservare le risorse culturali e naturali.

Singapore - Nota per la sua leadership nell'innovazione tecnologica, la capitale dell'omonima Repubblica, con i suoi sei milioni di abitanti, ha implementato una serie di iniziative, tra cui il progetto "Virtual Singapore"⁶, una piattaforma di simulazione 3D che integra il concetto di City Brain. Questo progetto è parte di una visione più ampia per trasformare Singapore in una città intelligente e sostenibile. La piattaforma Virtual Singapore consente di creare modelli digitali tridimensionali della città, che possono essere utilizzati nel campo della pianificazione urbana per simulare scenari alternativi e testare politiche urbanistiche prima della loro attuazione (vedi a questo proposito il precedente approfondimento sui Digital Twin). Singapore ha implementato tecnologie di IA anche per monitorare e gestire le risorse idriche, un settore critico per una città con limitate risorse naturali. Il sistema di gestione delle acque utilizza sensori per monitorare i livelli dei bacini idrici, la qualità dell'acqua e le condizioni delle infrastrutture idrauliche. I dati raccolti vengono processati per ottimizzare l'uso delle risorse e prevenire possibili crisi idriche. Il CB di Singapore integra anche un sistema avanzato di sorveglianza che utilizza telecamere intelligenti e algoritmi di riconoscimento facciale per garantire la sicurezza pubblica. Il sistema è in grado di rilevare attività

⁶ Ignatius M., Hien Wong N., Martin M., Chen S. (2019), *Virtual Singapore integration with energy simulation and canopy modelling for climate assessment*, Department of Building, National University of Singapore, paper open access, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., testo disponibile al sito: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/294/1/012018/meta>.

sospette e inviare allarmi alle autorità competenti in tempo reale, migliorando la percezione di sicurezza da parte dei cittadini.

Dubai - La capitale dell'omonimo Stato con i suoi tre milioni e mezzo di abitanti è una delle città degli Emirati Arabi più all'avanguardia sotto il profilo tecnologico. La città ha adottato una piattaforma CB nell'ambito della sua visione "Smart Dubai 2021"⁷ che ha come obiettivo dichiarato il volersi qualificare come una delle capitali mondiali per l'utilizzo dell'intelligenza artificiale in ambito urbano. Il CB di Dubai gestisce un sistema di trasporto pubblico intelligente che include autobus, metropolitane e taxi. Utilizzando dati in tempo reale provenienti da sensori e GPS, il sistema ottimizza le rotte dei trasporti pubblici, riducendo i tempi di attesa e migliorando la puntualità dei servizi. Inoltre, la piattaforma è integrata con i veicoli autonomi, che rappresentano una parte crescente della strategia di mobilità della città. Un'applicazione innovativa è la gestione dei rifiuti, dove il CB utilizza sensori per monitorare i livelli di riempimento dei cassonetti e ottimizzare i percorsi di raccolta. Questo approccio ha consentito di ridurre i costi operativi e di migliorare l'efficienza complessiva del servizio, contribuendo a rendere la città più pulita. Dubai ha anche integrato tecnologie blockchain nel suo City Brain per migliorare la trasparenza e la sicurezza delle operazioni urbane. Ad esempio, i contratti "intelligenti" (smart contract) basati su blockchain vengono utilizzati per gestire le transazioni immobiliari e altre operazioni commerciali.

Amsterdam - La capitale dei Paesi Bassi, con il suo poco meno di un milione di abitanti, ha predisposto il progetto "Amsterdam smart city"⁸, che integra diverse soluzioni tecnologiche per affrontare questioni legate alla sostenibilità, alla mobilità e più in generale alla qualità della vita. Importante, in tal senso, è ad esempio l'obiettivo di promuovere la mobilità sostenibile, in particolare quella ciclabile, attività

⁷ Gugler P., Alburai M., Stalder L. (2021), *smart city Strategy of Dubai*, paper open access, testo disponibile al sito: https://www.unifr.ch/competitiveness/en/assets/public/Smart_Dubai.pdf

⁸ M. Somaya, R. Ramaswamy (2016), *Amsterdam smart city: from fishing village to sustainable city*, WIT Transactions on Ecology and The Environment, vol. 204, WIT Press, India, testo disponibile al sito: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SC16/SC16068FU1.pdf>

tradizionalmente molto sentita dai suoi abitanti. Il sistema CB raccoglie e analizza dati sul traffico, sui parcheggi e sull'uso delle biciclette, ottimizzando l'infrastruttura per incoraggiare il trasporto ecologico. La città ha sviluppato un sistema di parcheggio intelligente che guida i conducenti verso i parcheggi disponibili, riducendo il traffico e l'inquinamento causato dalla ricerca di parcheggio. Un altro campo di applicazione del CB olandese è la gestione energetica. Amsterdam ha implementato una rete intelligente (smart grid) che utilizza l'intelligenza artificiale per ottimizzare il consumo energetico e integrare fonti di energia rinnovabile. Il sistema bilancia in modo dinamico l'offerta e la domanda di energia, contribuendo alla riduzione delle emissioni di CO2. Sempre sottolineando l'importanza dell'impronta ambientale, il CB supporta anche iniziative di economia circolare, monitorando il ciclo di vita dei prodotti e dei materiali all'interno della città. Questo approccio aiuta a ridurre gli sprechi e a promuovere il riciclo, con un impatto positivo sull'ambiente e sull'economia locale.

Toronto - Il capoluogo della Provincia dell'Ontario (Canada), con i suoi quasi tre milioni di abitanti, è stata selezionata come sede di uno dei progetti più ambiziosi di smart city al mondo, "Sidewalk Toronto"⁹ un'iniziativa di Sidewalk Labs, una sussidiaria di Alphabet Inc. Il progetto ha cercato di integrare una piattaforma City Brain per sperimentare nuove tecnologie nella pianificazione urbanistica, con un focus specifico sulla sostenibilità e sull'innovazione sociale. Il progetto Sidewalk Toronto consiste nella realizzazione di un nuovo quartiere, Quayside, che viene utilizzato come laboratorio per l'innovazione urbana. Il CB gestisce ogni aspetto del quartiere: dalla distribuzione dell'energia alla gestione del traffico, dallo smaltimento dei rifiuti alla sicurezza urbana. La gestione energetica include un sistema di riscaldamento e raffreddamento centralizzato basato su energie rinnovabili, con monitoraggio continuo per ottimizzare l'efficienza del sistema. Un'idea innovativa è stata la progettazione di edifici modulari e adattabili, che possono essere riconfigurati in base alle esigenze della

⁹ Van Winden W. et al. (2016), *Organising smart city Projects: Lesson from Amsterdam*, Amsterdam University of Applied Sciences, paper open access, testo disponibile al sito: https://www.amsterdamuas.com/binaries/content/assets/subsites/kc-be-carem/assets_11/organising_smart_city_projects.pdf

comunità suggerite dal CB, che monitora l'uso degli spazi e fornisce dati per ottimizzare la disposizione degli edifici e delle infrastrutture. Il progetto ha anche cercato di dare soluzione ad uno degli elementi critici della diffusione dell'IA nella gestione urbana: la privacy dei suoi cittadini. Il City Brain di Toronto è stato progettato (almeno secondo i documenti ufficiali) con l'obiettivo di garantire che i dati raccolti fossero gestiti in modo trasparente e sicuro, assicurando la privacy dei residenti. Proprio questo elemento, la privacy, ha rappresentato una prima criticità evidenziata dai residenti, a cui successivamente se ne sono aggiunte altre fino ad assumere i contorni del vero e proprio fenomeno NIMBY che ha ostacolato la definitiva realizzazione del progetto¹⁰. Nonostante, quindi, il progetto Sidewalk Toronto non possa essere indicato come un caso di successo dal punto di vista della sua realizzazione, rimane comunque un esempio interessante di utilizzo dell'intelligenza artificiale per la progettazione complessiva di un nuovo quartiere.

L'elenco appena fornito ha chiaramente valore esemplificativo.

Sperimentazioni di City Brain sono state adottate di recente anche in molte altre città del mondo, con una interessante concentrazione in Cina e in Estremo Oriente: Shanghai, Chongqing, Suzhou, Haikou, Pechino, Chengdu, Quzhou, Jiaxing, Macao, ecc.¹¹. L'adozione di sistemi di intelligenza artificiale che gestiscono in modo autonomo le diverse funzioni urbane, offre una visione suggestiva della città del futuro e apre prospettive di utilizzo pressoché illimitate: dal funzionamento delle reti primarie di approvvigionamento, ai servizi pubblici, alla sicurezza urbana, fino ad abbracciare molte delle tematiche connesse all'ambiente e ai cambiamenti climatici, che abbiamo visto nei capitoli precedenti.

¹⁰ Shimizu Y., Osaki S., Hashimoto T., Karasawa K. (2022), *Social Acceptance of smart city Projects: Focus on the Sidewalk Toronto Case*, in "Frontiers in Environmental Science" vol. 10, Tokio University, paper open access, testo disponibile al sito: https://www.researchgate.net/publication/360837275_Social_Acceptance_of_Smart_City_Projects_Focus_on_the_Sidewalk_Toronto_Case

¹¹ Zhang J. et al. (2019), *City brain: practice of large-scale artificial intelligence in the real world*, IET Journals, open access paper, testo disponibile al sito: <https://iet-research.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/iet-smc.2019.0034>

3. Dipendenza tecnologica

Non ci sono dubbi, quindi, sulle potenzialità dello sviluppo di sistemi di CB di questo tipo nella gestione delle città del futuro. Va detto però che il concetto di gestione urbana intelligente non può essere considerato esclusivamente sotto il profilo dello sviluppo tecnologico, poiché mette in gioco implicazioni sociali, posizioni culturali, questioni etiche, ecc. che abbiamo ben descritto nel quarto capitolo.

In particolare, uno degli aspetti più controversi riguarda proprio la diffusione generalizzata della tecnologia che, oltrepassata una certa soglia, può addirittura creare dipendenza. Klaus R. Kunzmann ci avverte che «prima o poi la società non riuscirà più a vivere senza i servizi basati sulle ICT. I cittadini si ammaleranno se l'accesso ai servizi intelligenti verrà interrotto, dimenticheranno come sopravvivere nelle città, qualora le tecnologie non dovessero essere, per un qualche motivo, più disponibili»¹².

Questo aspetto non è di poco conto, evidenzia la fragilità del modello rispetto alla dipendenza dall'utilizzo dei sistemi di IA, in relazione anche ai possibili guasti o malfunzionamenti. E non è solo questo a destare perplessità sull'introduzione massiva di sistemi centralizzati di controllo delle funzioni urbane.

La raccolta diffusa di dati personali solleva interrogativi riguardo la privacy dei cittadini e il rischio di sorveglianza occulta. In un contesto in cui ogni movimento individuale e ogni interazione sociale possono essere tracciati ed analizzati, esiste un pericolo di limitazione delle libertà individuali. Inoltre, la gestione di una quantità così vasta di dati sensibili può portare a una pericolosa concentrazione del potere nelle mani di poche entità tecnologiche o governative.

Queste sono le preoccupazioni che, oramai abbiamo imparato, accompagnano le prospettive di sviluppo e diffusione delle tecnologie basate sul deep learning. Però nel caso del City Brain c'è un'aggravante determinata dal carattere centralizzato delle funzioni, che rende maggiormente integrate le strategie che possono essere attuate, ma al tempo stesso rende il sistema particolarmente esposto ai rischi di malfunzionamenti o addirittura di azioni fraudolente o criminali.

¹² Kunzmann K.R. (2014), "Smart cities: A new paradigm of urban development", in *Crios Critica degli ordinamenti spaziali*, vol. 1, pp. 9-20.

Riferimenti bibliografici

- Abbà M. (2024), *AI e consumi energetici: chi punta il dito, chi guarda il dito e non la luna*, Network Digital360, marzo 2024, testo disponibile al sito: <https://www.zerounoweb.it/analytics/cognitive-computing/ai-e-consumi-energetici-chi-punta-il-dito-e-chi-guarda-il-dito-e-non-la-luna/>
- Alibaba Cloud (2018), *Alibaba Cloud Launches Malaysia City Brain to Enhance City Management*, testo disponibile al sito: <https://ali-home-data.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/ecms-files/1532295521/4aca40b8-d0f1-431b-a772-a9944d28be91.pdf>
- Alibaba Cloud (2018), *How ET City Brain Is Transforming the Way We Live – One City at a Time*, Alibaba blog, testo disponibile al sito: https://www.alibabacloud.com/blog/how-et-city-brain-is-transforming-the-way-we-live-one-city-at-a-time_593745
- Alizila Staff (2018), *Alibaba Cloud Launched 'ET City Brain 2.0' in Hangzhou*, Alibaba Group, Settembre, testo disponibile al sito: <https://www.alizila.com/alibaba-cloud-launched-city-brain-2-0-hangzhou/>
- Amigoni F., Schiaffonati V., Somalvico M. (2008), *Intelligenza artificiale*, in Enciclopedia della scienza e della tecnica Treccani, testo disponibile al sito: [https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_\(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale_(Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica)/)
- Anywhere (EnhANCing emergencY management and response to extreme WeatHER and climate Events); Horizon 2020 Programme, piattaforma disponibile al sito: <http://anywhere-h2020.eu/>
- Ayres R.U. (1994), "Industrial metabolism: Theory and policy", in R.U. Ayres, U.K., Simonis, edited by, *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*, United Nations University Press, Tokyo, pp. 3-20.
- Bappee F.K., Soares Júnior A., Matwin S., (2018), "Predicting Crime Using Spatial Features", in Bagheri E., Cheung J. edited by, *Advances in Artificial Intelligence, Conference paper in Computer Science*, vol. 10832, Springer, testo disponibile al sito: https://doi.org/10.1007/978-3-319-89656-4_42
- Barns S. (2020), *Platform Urbanism, negotiating platform ecosystems in connected cities*, Springer, Berlin.
- Bastardi J. (2018), *The Climate Chronicles: Inconvenient revelations you won't hear from Al Gore and others*, WND Books, South Carolina.

- Battista D. (2024), "Comunicazione politica e intelligenza artificiale: un bilancio tra manipolazione e partecipazione", in *Rivista di Digital Politics*, vol. 1, pp. 71-90, testo disponibile al sito: <https://www.rivisteweb.it/doi/10.53227/113721>
- Batty M. (2018), *The new science of cities*, MIT Press, Cambridge.
- Bawack, R.E., Wamba, S.F., Carillo, K.D.A. et al. (2022), "Artificial intelligence in E-Commerce: a bibliometric study and literature review", in *Electron Markets* 32, pp. 297-338, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s12525-022-00537-z>
- Benkler Y., Faris R., Roberts H. (2018), *Network Propaganda: Manipulation, Disinformation, and Radicalization in American Politics*, Oxford University Press, Oxford, il libro è disponibile al sito: <https://play.google.com/books/reader?id=MVRuD-wAAQBAJ&pg=GBS.PP1&hl=it>
- Bontridder N., Poulet Y. (2021), "The role of artificial intelligence in disinformation", in *Data & policy*, Vol.3-32, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1017/dap.2021.20>
- Boon Lim S., Abdul Malek J., Yusof Hussain M., Tahir Z. (2021), "Malaysia smart city Framework: A Trusted Framework for Shaping Smart Malaysian Citizenship", in AA.VV., *Handbook of Smart Cities*, pp. 515-538, Springer.
- Borges J. L. (2020), "Del rigore nella scienza", contenuto in Scarano T. a cura di, *Racconti brevi e straordinari*, pp. 142-143, Adelphi, Milano.
- Capasso M., Santoni De Sio F. (2024), "IA e politica tra libertà lavoro e design", in Galletti M., Zipoli Caiani S. a cura di, *Filosofia dell'intelligenza artificiale sfide etiche e teoriche*, Il Mulino, Bologna.
- Capasso M., Santoni De Sio F. (2024), "IA e politica tra libertà lavoro e design", in *Filosofia dell'intelligenza artificiale sfide etiche e teoriche*, a cura di Galletti M., Zipoli Caiani S., Il Mulino, Bologna.
- Caprotti F., Dong L. (2020), *Platform urbanism and the Chinese smart city: the co-production and territorialisation of Hangzhou City Brain*, Springer Nature, New York, testo disponibile al sito: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10708-020-10320-2.pdf>
- Carr N. (2015), *La gabbia di vetro: prigionieri dell'automazione*, Raffaello Cortina Editore, Milano.
- Carrol L. (1893), *Sylvie and Bruno*, MacMillan and Co., Londra, testo originale disponibile al sito: <https://dn790006.ca.archive.org/0/items/sylviebrunoconcl00carriala/sylviebrunoconcl00carriala.pdf>
- Carter W.D., Paulson R.W. (1978), "Introduction to Monitoring Dynamic Environmental Phenomena of the World Using Satellite Data Collection Systems", in *Geological Survey circular*, vol. 803, U.S. Geological Survey, testo disponibile al sito: <https://play.google.com/books/reader?id=P0slQpdA-6kC&pg=GBS.PP4&hl=it>
- Caserini S. (2016), "Riscaldamento globale e negazionismo", in *Scienza & Società*, vol. 25/26, pp. 47-59.
- Catells M., (2015) *Reti di indignazione e speranza. Movimenti sociali nell'era di internet*, Università Bocconi Editore, Milano.
- Ceruti M., Bellusci F. (2023), *Umanizzare la Modernità, un modo nuovo di pensare il futuro*, Raffaello Cortina Editore, Milano.
- Céspedes Restrepo J.D., Morales-Pinzón T. (2018), "Urban metabolism and sustainability", in *Resources, Conservation and Recycling*, Science Direct, Vol. 131, pp. 216-224, testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917304615?via%3Dihub>

- Chackravarty S., Schmitt S., Yang L. (2018), "Intelligent Crime Anomaly Detection in Smart Cities Using Deep Learning", in *IEEE 4th International Conference on Collaboration and Internet Computing (CIC)*, Philadelphia, pp. 399-404, testo disponibile al sito: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8537858>
- Chen S., Xu J., He Y., Luan W. (2019), "City Brain in Hangzhou: A Big Data-Enabled Urban Governance System", in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6-1, pp. 1051-1060.
- Chien F., Anwar A., Hsu CC. et. al. (2021), "The role of information and communication technology in encountering environmental degradation: Proposing an SDG framework for the BRICS countries", in *Technology in Society*, Vol. 65, pp. 168-174, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101587>
- Columbro D. (2024), *Quando i dati discriminano*, Il Margine, Trento.
- Copeland B.J. (2024), *Artificial Intelligence*, in *Encyclopedia Britannica*, testo disponibile al sito: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>
- Covenant of Mayors (2008), European Commission, testo disponibile al sito: <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/home>
- Crisantemi M. (2023), *Digital Twin: che cos'è, come funziona e quali sono i vantaggi del gemello digitale*, testo disponibile al sito: <https://www.innovationpost.it/tecnologie/industrial-it/digital-twin-che-cos-e-come-funziona-e-quali-sono-i-vantaggi-del-gemello-digitale/>
- Cristianini N. (2023), *La Scorciatoia, come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano*, Il Mulino, Bologna.
- Dastin J. (2020), *Rite Aid deployed facial recognition systems in hundreds of U.S. stores*, *Reuters Investigation*, testo disponibile al sito: <https://www.reuters.com/investigates/special-report/usa-riteaid-software/>
- Data Governance Act (2022), Regolamento (Ue) 2022/868 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2022, testo disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R0868>
- De Vries A. (2023), *The growing energy footprint of artificial intelligence*, *Joule*, vol.7-10, pp. 2191-2194, testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435123003653>
- Digital Blue Foam, piattaforma disponibile al sito: <https://www.digitalbluefoam.com/>
- Erkinay Ozdemir M., Ali Z., Subeshan B. (2021), "Applying machine learning approach in recycling", in *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 23-3, pp. 855-871, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01182-y>
- European Climate Adaption Platform (2012), European Commission, testo disponibile al sito: <https://climate-adapt.eca.europa.eu/>
- European Climate Law (2021), European Commission, testo disponibile al sito: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en
- European Commission (2014), *Urbact Programme*, testo disponibile al sito: <https://urbact.eu>
- European Green Deal (2019), European Commission, disponibile al sito: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it
- European Pillar of Social Rights (2017): <https://www.epr.eu/what-we-do/policy-analysis/european-pillar-of-social-rights/>
- European Smart Cities (2015), studio disponibile al sito: <https://smartcity-ranking.org/>
- Finocchiaro G. (2024), *Intelligenza artificiale. Quali regole?*, Il Mulino, Bologna.

- Fire Hub, Beyond Centre of EO Research & Satellite Remote Sensing, la piattaforma è disponibile al sito: <http://beyond-eocenter.eu/index.php/web-services/firehub>
- Fit for 55 (2021), European Council, testo disponibile al sito: <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- Flood Hub (2024), Google, piattaforma disponibile al sito: <https://sites.research.google/floods>
- Floridi L. (2022), *Etica dell'intelligenza artificiale. Sviluppi, opportunità, sfide*, Raffaello Cortina editore, Milano.
- Foy K. (2023), "New tools are available to help reduce the energy that AI models devour", in *MIT Office of Sustainability*, MIT, Cambridge, testo disponibile al sito: <https://sustainability.mit.edu/article/new-tools-are-available-help-reduce-energy-ai-models-devour>
- Fusero P. (2009), *E-City Digital Networks and Cities of the Future*, List, Barcellona.
- Galletti G. (2024), "Quando l'IA incontra le scienze comportamentali. Una riflessione sui valori morali", in Galletti M. e Zipoli Caiani S. a cura di, *Filosofia dell'intelligenza artificiale sfide etiche e teoriche*, il Mulino, Bologna.
- Gardner H. (1983), *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*, Basic Books, New York.
- Ghisleni C. (2024), "Artificial Intelligence and Urban Planning", in *Archdaily*, testo disponibile al sito: <https://www.archdaily.com/1012951/artificial-intelligence-and-urban-planning-technology-as-a-tool-for-city-design>
- Giffinger R., Haindlmaier G. (2010), "Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities?", in *ACE: Architecture, City and Environment*, vol. 4-12, pp. 7-26, testo disponibile al sito: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/8550>
- Giorgi F. (2022), *L'Uomo e la Farfalla: sei domande su cui riflettere per comprendere i cambiamenti climatici*, FrancoAngeli, Milano.
- Girardet H., *Creating Sustainable Cities: Cities are wasteful superorganisms that need a better understanding of how to develop a circular metabolism*, Green Books, Roma.
- Goldin I., Cameron G., Balarajan M. (2011), *Exceptional People: how Migration Shaped Our World and Will Define Our Future*, Princeton University Press, Princeton.
- Goodell J.W., Kumar S., Lim W.M., Pattnaik D. (2021), "Artificial intelligence and machine learning in finance: identifying foundations, themes, and research clusters from bibliometric analysis", in *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, Vol. 32, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100577>
- Google (2024), *Google Environmental Sustainability Report 2022*, testo disponibile al sito: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2022-environmental-report.pdf>
- Grieves M. (2014), *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*, testo disponibile al sito: https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication
- Grieves M., Vickers J. (2017), "Digital Twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems", in Kalhen F.J., Flumerfelt S., Alves A. edited by, *Transdisciplinary perspectives on complex systems*, pp. 85-113, Springer.
- Grimm N. B., Foster D., Groffman P. (2008), "The changing landscape: Ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients", in *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 6, pp. 264-272.
- Gugler P., Alburai M., Stalder L. (2021), *smart city Strategy of Dubai*, paper open access, testo disponibile al sito: https://www.unifr.ch/competitiveness/en/assets/public/Smart_Dubai.pdf

- Hajli N., Saeed U., Tajvidi M. and Shirazi F. (2022), "Social Bots and the Spread of Disinformation in Social Media: The Challenges of Artificial Intelligence", in *British Journal of Management*, vol. 33, pp. 1238-1253, testo disponibile al sito: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1467-8551.12554>
- Hajli N., Saeed U., Tajvidi M., Shirazi F. (2022), "Social Bots and the Spread of Disinformation in Social Media: The Challenges of Artificial Intelligence", in *British Journal of Management*, Vol. 33, pp. 1238-1253, testo disponibile al sito: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1467-8551.12554>
- Hanlon B., Vicino T. (2014), *Global Migrations: The Basics*, Routledge, London.
- Hennen L., Van Keulen I., Korthagen I., et al. (2020), *European E-Democracy in Practice*, Springer Nature, Cham.
- Herweijer C. Waughray D. (2018), *Harnessing Artificial Intelligence for the Earth*, *World Economic Forum*, testo disponibile al sito: https://www3.weforum.org/docs/Harnessing_Artificial_Intelligence_for_the_Earth_report_2018.pdf
- Hodges A., Turing A. (2014), *Storia di un enigma*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Hoffmann, J., Bauer, P., Sandu, I., Wedi, N., Geenen, T., & Thiemert, D. (2023), "Destination Earth – A digital twin in support of climate services", in *Climate Services*, vol. 30, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100394>
- Horizon Programme (2020), European Commission, testo disponibile al sito: <https://horizon2020.apre.it/>
- Horizon Programme (2021-27), European Commission, testo disponibile al sito: <https://horizon2020.apre.it/>
- Hua Yu K., Zhang Y., Li D., et.al. (2021), "Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence", in *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 86, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106492>
- Ignatius M., Hien Wong N., Martin M., Chen S. (2019), *Virtual Singapore integration with energy simulation and canopy modelling for climate assessment*, Department of Building, National University of Singapore, paper open access, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., testo disponibile al sito: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/294/1/012018/meta>
- Ildikò Leete R. (2022), "What is a Digital Twin", in *Archdaily*, testo disponibile al sito: <https://www.archdaily.com/975256/what-is-a-digital-twin>
- Innocenzi P.M. (2023), "Una Mappa dei rischi sociali, ecco i pericoli che corriamo", in *Agenda Digitale*, testo disponibile al sito: <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/ia-una-mappa-dei-rischi-sociali-ecco-i-pericoli-che-corriamo/>
- IPCC (2022), *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Report scaricabile al sito: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Istituto nazionale di statistica (2019), *Conoscere il mondo della disabilità: persone, relazioni e istituzioni*, testo disponibile al sito: <https://www.istat.it/wp-content/uploads/2019/12/Disabilita.pdf>
- Jonas H. (2009), *Il principio responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica*, Piccola Biblioteca Einaudi, Bologna.
- Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B. (2020), "Characterising the Digital Twin: A systematic literature review", in *Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 29, pp. 36-52, testo disponibile al sito <https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2020.02.002>

- Jungherr A. (2023), "Artificial Intelligence and Democracy: A Conceptual Framework", in *Social Media + Society*, Vol. 9-3, testo disponibile al sito: <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/20563051231186353>
- Karunathilake E., Le A.T., Heo S., Chung Y.S., Mansoor S. (2023), "The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture", in *Agriculture*, vol. 13, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081593>
- Keleko A.T., Kamsu-Foguem B., Ngouna R.H. et al. (2022), "Artificial intelligence and real-time predictive maintenance in industry 4.0", in *AI Ethics*, vol. 2, pp. 553-577, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00132-6>
- Kennedy C., Cuddihy J., Engel-Yan J. (2007), "The changing metabolism of cities", in *Journal of Industrial Ecology*, Vol 11-2, pp. 43-59, Yale University, New Haven.
- Kissinger H., Huttenlocher D., Schmidt H. (2023), *L'era dell'intelligenza artificiale. Il futuro dell'identità umana*, Mondadori, Milano.
- Klein N. (2015), *This Changes Everything: Capitalism vs. the Climate*, Penguin, London.
- Kozioł M. (2019), IEEE Spectrum, *On the Road to Self-Driving Cars, 5G Will Make Us Better Drivers*, testo disponibile al sito: <https://spectrum.ieee.org/mwc-barcelona-2019-on-the-road-to-selfdriving-cars-5g-will-make-us-better-drivers>
- Kritzinger W., Karner M., Traar G., et.al. (2018), "Digital Twin in manufacturing: a categorical literature review and classification", in *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), pp. 1016-1022, testo disponibile al sito <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Kunzmann K.R. (2014), "Smart cities: A new paradigm of urban development", in *Crios Critica degli ordinamenti spaziali*, vol. 1, pp. 9-20.
- Le T.D.N. (2020), "Climate change adaptation in coastal cities of developing countries: characterizing types of vulnerability and adaptation options", in *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 25, pp. 739-761, testo disponibile al sito: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-019-09888-z>
- Li J., Herdem M.S., Nathwani J., Wen J.Z. (2023), "Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management", in *Energy and AI*, Vol. 11, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2022.100208>
- Life Programme, European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (2014), testo disponibile al sito: https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life_en
- Liu M., Fang S., Dong H., Xu C. (2021), "Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications", in *Journal of Manufacturing Systems*, testo disponibile al sito: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612520301072>
- Luccioni A.S., Jernite Y., Strubell E. (2023), *Power Hungry Processing: Driving the Cost of Deployment?*, testo disponibile al sito: <https://arxiv.org/pdf/2311.16863v1.pdf>
- M. Somaya, R. Ramaswamy (2016), *Amsterdam smart city: from fishing village to sustainable city*, WIT Transactions on Ecology and The Environment, vol. 204, WIT Press, India, testo disponibile al sito: <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SC16/SC16068FU1.pdf>
- Machera S. (2023), *Come l'intelligenza artificiale cambia il mondo. Le promesse i pericoli le scelte che dobbiamo fare*, FrancoAngeli, Milano.
- Machera S. (2024), *Come l'intelligenza artificiale cambia il mondo*, FrancoAngeli, Milano.
- Maiolini R., Petti E., Rullani F. (2018), "L'innovazione dei modelli di business nella sharing economy: il caso italiano del car sharing", in *Sinergie: italian journal of management*,

- vol. 36-106, pp. 203-223, testo disponibile al sito: <https://ojs.sijm.it/index.php/sinergie/article/download/246/13>
- Makridis M., Mattas K., Ciuffo B. et. al. (2018), "Connected and Automated Vehicles on a freeway scenario. Effect on traffic congestion and network capacity", in *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA*, Vienna, testo disponibile al sito: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/documents/portlet_file_entry/20125/connected-automated-vehicles-traffic-congestion-network-capacity_111621.pdf/a5b681e2-3737-2663-eb16-e3b845aab9a8
- Manuelli R. (2024), *L'IA rende smart la supply chain*, Agenda Digitale, Marzo, Milano, testo disponibile al sito: <https://www.agendadigitale.eu/industry-4-0/ia-rende-smart-la-supply-chain-cosi-le-aziende-diventano-piu-efficienti/>
- Masini B.M. (2020), *Veicoli autonomi e connessi, verso la mobilità del futuro*, CNRR IEIIT, video disponibile al sito: <https://www.youtube.com/watch?v=V41Ig8DUA-U>
- McCarthy J., Minsky M., Rochester N., Shannon C., (1955), *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>
- McDonough W., Braungart M. (2022), *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, Tucson, Arizona.
- Microsoft Environmental Sustainability Report (2022), Microsoft, testo disponibile al sito: <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RW15mgm>
- Minsky M. e Papert S. (1969), *Perceptrons: An Introduction to computational Geometry*, MIT Press, Cambridge.
- Mitchell M. (2022), *L'intelligenza artificiale. Una guida per esseri umani pensanti*, Einaudi, Bologna.
- Mitchell W.J. (1995), *City of bits*, MIT Press, Cambridge
- Mitchell W.J. (1999), *E-topia*, MIT Press, Cambridge
- Mitchell W.J. (2003), *Me++ Networked City*, MIT Press, Cambridge
- Morano M. (2018), *The Politically Incorrect Guide to Climate Change*, Regnery Publishing, New York.
- Murphy P.A. (2022), *La mente estesa. Pensare meglio smettendo di usare solo il cervello*, ROI edizioni, Milano.
- Musacchio N., Guaita G., Ozzello A., et. al. (2018), "Intelligenza Artificiale e Big Data in ambito medico: prospettive, opportunità, criticità", in *JAMD*, Vol. 21-3, pp. 204-218.
- Natale S. (2022), *Macchine ingannevoli. Comunicazione, tecnologia, intelligenza artificiale*, Einaudi, Bologna.
- National Highway Traffic Safety Administration (2022), *Summary Report: Standing General Order on Crash Reporting for Level 2 Advanced Driver Assistance Systems*, testo disponibile al sito: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2022-06/ADS-SGO-Report-June-2022.pdf>
- New European Bauhaus (2021), European Commission, testo disponibile al sito: https://new-european-bauhaus.europa.eu/index_en
- NextGenerationEU (2020), European Commission, testo disponibile al sito: https://next-generation-eu.europa.eu/index_en
- Nikitas A., Michalakopoulou K., Tchouamou Njoya., Karampatzakis (2020), "Artificial Intelligence, Transport and the smart city: Definitions and Dimensions of a New Mobility

- Era”, in *Sustainability*, vol. 12, Issue 7, testo disponibile al sito: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2789#>
- Nishant R., Kennedy M., Corbett J. (2020), “Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda”, in *International Journal of Information Management*, Vol. 53, p. 102104, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102104>
- O’Brian M., Fingerhut H. (2023), Apnews.com, September 2023, testo disponibile al sito: <https://apnews.com/article/chatgpt-gpt4-iowa-ai-water-consumption-microsoft-f551fde98083d17a7e8d904f8be822c4>
- Paone S., Petrillo A., Chioldelli F. (2017), *Governare l’ingovernabile. Politiche degli slum nel XXI secolo*, Edizioni ETS, Pisa.
- Pereira D., (2023), *Speculative design: virtual Singapore is a massive, fully functional digital twin of the asian city-state*, testo disponibile al sito: <https://www.oodalooop.com/archive/2023/05/23/speculative-design-virtual-singapore-is-a-massive-fully-functional-digital-twin-of-the-asian-city-state/>
- Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (2021), Governo italiano, testo disponibile al sito: <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- Pluchino P. (2019), *La città vivente*, Malcor D’ ed., Catania.
- Pluchino P. (2021), “Metabolismo urbano: storia, framework e applicazioni di un approccio sistemico alle città”, in *Materia Rinnovabile* n. 36.
- Progress on climate action (2023), European Commission, testo disponibile al sito: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/progress-climate-action_en
- Report from the Commission to the European Parliament and the Council EU Climate Action Progress Report (2023), testo disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52023DC0653>
- Riaz K., McAfee M., Gharbia S. (2023), “Management of climate resilience: exploring the potential of digital twin technology, 3d city modelling, and early warning systems”, in *Sensors*, Vol. 23-5, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/s23052659>
- Rinaldi A. (2023), *Donne pagate meno degli uomini?* Econopoly, Sole 24 ore, 12/10/23.
- Romero D., Salamea C. (2019), “Convolutional models for the detection of firearms in surveillance videos”, in *Applied Sciences*, vol. 9-15.
- Roncaglia G. (2023), *L’architetto e l’oracolo. Forme digitali del sapere da Wikipedia a ChatGPT*, Laterza, Bari.
- Rosenblatt F. (1962), *Principles of neurodynamics, perceptrons and the theory of brain mechanisms*, Spartan Books, Washington, testo disponibile al sito: <https://hdl.handle.net/2027/mdp.39015039846566>
- Ruggero N. (2024), *Ma quanta energia consuma l’IA?* Agenda Digitale, aprile 2024, testo disponibile al sito: <https://www.agendadigitale.eu/smart-city/ma-quanta-energia-consuma-lai-strategie-per-renderla-piu-sostenibile/>
- Sancassani S. (2023), “L’Intelligenza Artificiale tra nuovi obiettivi della formazione e nuovi paradigmi per l’apprendimento”, in *For: rivista per la formazione*, 3/2023, pp.18-21
- Santoro E., Gatta R. (2023), *Intelligenza artificiale in medicina: quale è il suo impatto?* Istituto Mario Negri Magazine, testo disponibile al sito: <https://www.marionegri.it/magazine/intelligenza-artificiale-medicina>
- Sepasgozar S., Karimi R., Farahzadi L., et. al. (2020), “A Systematic Content Review of Artificial Intelligence and the Internet of Things Applications in Smart Home”, in *Applied Sciences*, vol. 10-9, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/app10093074>

- Shimizu Y., Osaki S., Hashimoto T., Karasawa K. (2022), "Social Acceptance of smart city Projects: Focus on the Sidewalk Toronto Case", in *Frontiers in Environmental Science*, vol. 10, Tokio University, testo disponibile al sito: https://www.researchgate.net/publication/360837275_Social_Acceptance_of_Smart_City_Projects_Focus_on_the_Sidewalk_Toronto_Case
- Shlomo A. (2012), *Planet of cities*, Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge Massachusetts.
- Society of Automotive Engineers (2021), *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, testo disponibile al sito: https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- Sunghetha A., Sharma R. (2020), "Real Time Monitoring and Fire Detection using Internet of Things and Cloud based Drones", in *JSCP*, Vol. 2-3, pp. 168-174, testo disponibile al sito: https://www.researchgate.net/publication/343233891_Real_Time_Monitoring_and_Fire_Detection_using_Internet_of_Things_and_Cloud_based_Drones
- Tadei R. (2021), *Intelligenza Artificiale e città: la Artificially Intelligent City*, Il BoLive Università di Padova, testo disponibile al sito: <https://ilbolive.unipd.it/it/news/intelligenza-artificiale-citta-artificially>
- Toorajipour R., Sohrabpour V., Nazarpour A. et al. (2021), "Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review", in *Journal of Business Research*, Volume 122, pp. 502-517, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
- Turing A. (1950), "Computing machinery and intelligence", in *Mind* vol. 59, pp. 433-460.
- Turini L. (2024), *A chi spettano i diritti sulle opere dell'intelligenza artificiale*, Maggioli, Rimini.
- UE (2024), *Destinazione Terra: plasmare il futuro digitale dell'Europa*, testo disponibile al sito <https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/policies/destination-earth>
- Ullo S.L., Sinha G.R. (2020), "Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors", in *Sensors*, vol. 20-11, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.3390/s20113113>
- UN Environmental Programme (2022), *Global Status Report for Buildings and Construction*, report è disponibile al sito: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- Van Winden W. et al. (2016), *Organising smart city Projects: Lesson from Amsterdam*, Amsterdam University of Applied Sciences, paper open access, testo disponibile al sito: https://www.amsterdamuas.com/binaries/content/assets/subsites/kc-be-carem/assets_11/organising_smart_city_projects.pdf
- Vinge V. (1993), *The Coming Technological Singularity: how to survive in the post-human era*, paper presentato al Vision-21 Symposium, NASA Lewis Research Center and the Ohio Aerospace Institute, 30-31 Marzo, testo disponibile al sito: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19940022856/downloads/19940022856.pdf>
- Wang L., Liu Z., Liu A. et al. (2021), "Artificial intelligence in product lifecycle management", in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.114, pp. 771-796, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06882-1>
- Wang L., Liu Z., Liu, A. et al. (2021), "Artificial intelligence in product lifecycle management", in *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 114, pp. 771-796, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06882-1>

- Wigner E.P. (2017), *L'irragionevole efficacia della matematica nelle scienze naturali*, Adelphi edizioni, Milano.
- Wolman A. (1965), "The metabolism of cities", in *Scientific American*, vol. 213-3, pp. 179-190.
- World Economic Forum (2024), *The Global Risk Report – XIX edition*, testo disponibile al sito: https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf
- Yang X.X. edited by (2022), *Urban remote sensing: monitoring, synthesis and modeling in the urban environment*, Wiley Blackwell, Usa
- Yigitcanlar T., Butler L., et.al., (2020), *Can Building Artificially Intelligent Cities Safeguard Humanity from Natural Disasters, Pandemics, and Other Catastrophes?*, testo disponibile al sito: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/10/2988#metrics>
- Zamagni S. (2020) *Disuguali. Politica, economia e comunità: un nuovo sguardo sull'ingiustizia sociale*, Aboca edizioni, Sansepolcro (AR).
- Zhan Z., Cantono M., Kamalov V., et. al. (2021), "Optical polarization-based seismic and water wave sensing on transoceanic cables", in *Science*, vol. 371-6532, testo disponibile al sito: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abe6648>
- Zhang J. et al. (2019), "City brain: practice of large-scale artificial intelligence in the real world", in *IET Journals*, testo disponibile al sito: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/iet-smc.2019.0034>
- Zheng Y., Lin Y., Zhao L., et. al. (2023), "Spatial planning of urban communities via deep reinforcement learning", in *Nature Computational Science*, vol. 3, pp. 748-762.
- Zuliello M., Ceccobelli D. (2020), "Don't Call it Climate Populism: On Greta Thunberg's Technocratic Ecocentrism", in *The Political Quarterly*, vol. 91-3, pp. 623-631, testo disponibile al sito: <https://doi.org/10.1111/1467-923X.12858>