

**HUMAN FACTORS &  
TECHNOLOGICAL DESIGN INNOVATION  
3**

ATTI DEL SEMINARIO INTERNAZIONALE

# **LE MURA URBANE CROLLANO**

**CONSERVAZIONE E MANUTENZIONE PROGRAMMATA  
DELLA CINTA MURARIA DEI CENTRI STORICI**

A CURA DI  
MICHELE DI SIVO, DANIELA LADIANA

CON I CONTRIBUTI DI

CANIVELL JACINTO, CASINI LEONARDO, CID PATRICIA, CINELLI FABRIZIO, DE FALCO ANNA,  
DI SIVO MICHELE, GÓMEZ SEBASTIÁN, GRACIANI GARCÍA AMPARO, JARAMILLO CARLOS,  
JARAMILLO-MORILLA ANTONIO, KARWACKA CODINI EWA, LADIANA DANIELA, LANDI STEFANIA,  
LEÓN SANTIAGO, LINERO BARONI MIRTA, MASCORT-ALBEA JOSÉ EMILIO, PAGLIARA STEFANO,  
PALERMO MICHELE, ROMERO-HERNÁNDEZ ROCÍO, SCALICI MARIA

**P | S | A**  
UNIVERSITY  
PRESS

Le mura urbane crollano : conservazione e manutenzione programmata della cinta muraria dei centri storici : atti del seminario internazionale, Pisa, 29 giugno 2018 / Michele Di Sivo, Daniela Ladiana ... [et al.] . - Pisa : Pisa university press, 2019. - (Human factors & technological design innovation ; 3)

725.960288 (WD)

I. Di Sivo, Michele <1951- > II. Ladiana, Daniela 1. Mura – Manutenzione 2. Mura – Conservazione

CIP a cura del Sistema bibliotecario dell'Università di Pisa

**UPI**  
UNIVERSITY  
PRESS ITALIANE

Peer reviewed work  
in compliance with  
UPI protocol

Responsabile scientifico

Michele Di Sivo

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni

Università di Pisa

La pubblicazione degli atti è stata possibile grazie al contributo della Regione Toscana e del Dipartimento D.E.S.T.eC

*In copertina: dall'alto: foto 1 e 2: La cinta muraria di Pisa (Autore Daniela Ladiana); foto 3: Il Torrione di Magliano in Toscana (Autore Anna De Falco); foto 4: Batería de San Jerónimo, Portobelo (Autore Patricia Cid e Leonardo Casini).*

© Copyright 2019 by Pisa University Press srl

Società con socio unico Università di Pisa

Capitale Sociale € 20.000,00 i.v. - Partita IVA 02047370503

Sede legale: Lungarno Pacinotti 43/44 - 56126 Pisa

Tel. + 39 050 2212056 - Fax + 39 050 2212945

press@unipi.it

www.pisauniversitypress.it

ISBN 978-88-3339-175-5

layout grafico: 360grafica.it

impaginazione: Ellissi

L'Editore resta a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare, per le eventuali omissioni o richieste di soggetti o enti che possano vantare dimostrati diritti sulle immagini riprodotte.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.

Le riproduzioni 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 Autorizzazione per le Riproduzioni Editoriali - Corso di Porta Romana, 108 - 20122 Milano - Tel. (+39) 02 89280804 - E-mail: info@cleareadi.org - Sito web: www.cleareadi.org

**COMITATO SCIENTIFICO**

**Marco Giorgio Bevilacqua**

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni  
Università di Pisa

**Cristiana Cellucci**

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni  
Università di Pisa

**Bruno Daniotti**

Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito  
Politecnico di Milano

**Marco D'Orazio**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e dell'Architettura  
Università Politecnica delle Marche

**Kazmer Kovacs**

Sapientia Hungarian University  
Transylvania

**Amparo Graciani García**

Universidad de Sevilla

**Daniela Ladiana**

Dipartimento di Architettura  
Università di Chieti-Pescara

**Stefania Landi**

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni  
Università di Pisa

**Horia Radu Maldovan**

Universitatea de Arhitectură și Urbanism  
"Ion Mincu"  
Bucuresti

**Antonello Sanna**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura  
Università di Cagliari

**Giovanni Santi**

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni  
Università di Pisa

**Luisa Santini**

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni  
Università di Pisa

**COMITATO EDITORIALE**

Marco Occhipinti  
Lediana Rjolti

**EDITING: Daniela Ladiana**



# SOMMARIO

<b>PREFAZIONE</b>	9
<i>Marco Giorgio Bevilacqua</i>	
<b>INTRODUZIONE</b>	
Le mura urbane crollano	13
<i>Michele Di Sivo, Daniela Ladiana</i>	
<b>I</b>	
<b>CONOSCENZA</b>	17
1. Pisa e Ripafratta. Alcune riflessioni sulla metodologia della ricerca storica, sui valori e le potenzialità del sistema difensivo urbano e extraurbano	
<i>Ewa Karwacka Codini</i>	19
2. Metodologia di analisi e di intervento per la conservazione dei centri fortificati della Bassa Sabina	
<i>Stefania Landi</i>	41
3. Unas notas para la caracterización y la evaluación de las murallas de tierra compactada (tapial) en el Sur de la Península Ibérica	
<i>Amparo Graciani García, Jacinto Canivell</i>	57

<b>II</b>		
<b>FATTORI DI RISCHIO</b>		71
4. Valutazione dello stato di sicurezza delle mura urbane		
<i>Anna De Falco</i>		73
5. Control of biodeterioration in urban walls		
<i>Fabrizio Cinelli</i>		87
6. Problemi idraulici connessi a crolli di mura urbane		
<i>Stefano Pagliara, Michele Palermo</i>		107
<b>III</b>		
<b>DIAGNOSTICA</b>		117
7. Metodología de evaluación y monitorización del patrimonio basado en la gestión cartográfica digital. La Muralla de Sevilla		
<i>Jacinto Canivell, Antonio Jaramillo-Morilla, José Emilio Mascort-Albea, Rocío Romero-Hernández</i>		119
8. Le tecnologie <i>no-dig</i> per la ricerca, la mappatura e la diagnostica delle reti		
<i>Daniela Ladiana, Michele Di Sivo</i>		137
<b>IV</b>		
<b>MANUTENZIONE E CONSERVAZIONE</b>		155
9. La conservazione programmata del patrimonio storico-architettonico. Tecnologia di processo basata sulla conoscenza e l'informazione		
<i>Michele Di Sivo</i>		157
10. Strategie e strumenti delle tecnologie di manutenzione per la conservazione programmata del patrimonio storico-architettonico		
<i>Daniela Ladiana</i>		175

11. Conservación del legado técnico cultural del Real Cuerpo de Ingenieros en Panamá: el patrimonio fortificado de Portobelo y San Lorenzo <i>Patricia Cid, Leonardo Casini, Santiago León, Sebastián Gómez, Carlos Jaramillo, Mirta Linero Baroni, Maria Scalici</i>	193
Elenco degli autori	215



## PREFAZIONE

MARCO GIORGIO BEVILACQUA

I recenti crolli delle mura urbane in diversi centri storici della Toscana hanno evidenziato la fragilità diffusa dei sistemi di difesa storici, fragilità che appare imporsi nella più ampia questione della vulnerabilità del paesaggio storico.

Il fenomeno, spesso imputato ad eventi meteorici straordinari, evidenzia tuttavia una maggiore complessità e richiede con urgenza che maggiori risorse siano destinate alla conservazione del patrimonio storico.

La conferenza internazionale “Le mura urbane crollano. Conservazione e manutenzione programmata della cinta muraria dei centri storici”, organizzata da Michele Di Sivo presso la Scuola di Ingegneria dell’Università di Pisa e promossa dal Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile Architettura, ha inteso proporre una riflessione sul tema.

Al centro del dibattito, la persistente assenza di una cultura di programmazione degli interventi manutentivi nelle politiche di tutela del patrimonio storico-architettonico. Diversi gli interventi in programma, che – seguendo una linea metodologica – affrontano il problema in chiave interdisciplinare. Conoscenza, studio dei fattori di rischio, diagnostica, strumenti tecnici per la conservazione e manutenzione programmata: questi i *main topics* della conferenza.

La sessione dedicata alla Conoscenza ha previsto diversi interventi su alcuni casi studio nazionali e internazionali. Appare evidente come un approfondito studio storico-conoscitivo sia fondamentale per pianificare qualsiasi azione; oltre alla comprensione delle varie fasi costruttive, che contempla quindi le diverse tecniche di intervento messe in atto nel tempo per modificare, risarcire, aggiornare i sistemi di difesa, lo studio non deve tralasciare i più recenti interventi di restauro o consolidamento, a volte tra le principali cause di degrado.

I fattori di rischio comprendono tutti gli aspetti di interazione delle strutture murarie con l'ambiente: lo smaltimento delle acque, le cause e i meccanismi di alterazione naturale e antropica, lo stato di sicurezza delle strutture, gli attacchi biologici.

Alle nuove tecnologie di indagine non invasiva e ad alcune esperienze virtuose nel contesto nazionale e internazionale è dedicata la sessione sulla diagnostica, che riguarda sia le strutture murarie, sia il sottosuolo urbano. A questo proposito, la mappatura delle reti dei sottoservizi urbani appare centrale nella conservazione delle strutture murarie, essendo il loro malfunzionamento o deterioramento tra le più frequenti cause di dissesto.

A conclusione della giornata, si ribadisce l'importanza della conservazione e della manutenzione programmata per la tutela del patrimonio storico, con analisi delle criticità, delle strategie e degli strumenti per la sua messa in atto.

La conferenza, quindi, ha inteso offrire un importante contributo per la diffusione a livello nazionale dei principi e metodi della manutenzione programmata, strumento imprescindibile per prevenire eventi disastrosi e garantire la conservazione del patrimonio storico-architettonico.

Nell'attesa che si consolidi fattivamente questa pratica nelle politiche di conservazione e tutela del patrimonio storico, anche con lo stanziamento di adeguati finanziamenti, è sulla formazione delle nuove generazioni di architetti e ingegneri che bisogna intervenire; ed è per questo che il Corso di Laurea, che in questa sede rappresento, ha

PREFAZIONE

voluto promuovere la conferenza e recepire l'invito a dare adeguato spazio ai principi della conservazione e manutenzione programmata all'interno delle sua offerta formativa rinnovata.

*Marco Giorgio Bevilacqua  
Presidente del CdLM Ingegneria Edile Architettura  
Università di Pisa*



## INTRODUZIONE

### LE MURA URBANE CROLLANO

Il testo raccoglie gli atti del seminario internazionale organizzato per affrontare le complesse problematiche inerenti ai crolli delle cinte murarie. Nella Regione Toscana, a Pietrasanta, Volterra, Poggio a Caiano, San Gimignano grandi masse di terra sono franate trascinando con sé grossi tratti di strutture murarie poiché non è stata garantita da tempo l'opera antica e abituale della manutenzione.

Tali crolli vengono così a rappresentare la punta di un iceberg della condizione di vulnerabilità di un enorme e diffuso patrimonio edilizio storico sempre più esposto a fattori di rischio che impone la necessità di attivare una doverosa e improcrastinabile politica di conservazione e manutenzione programmata dei beni.

Cosa e come fare, nel breve e lungo periodo, sono i temi fondamentali dell'incontro su *“Le mura urbane crollano. Conservazione e Manutenzione programmata della cinta muraria dei centri storici”* per riflettere su aspetti metodologici, quali: la conoscenza, i fattori di rischio, la diagnostica e gli strumenti tecnici per la conservazione e la manutenzione programmata.

Per la tutela e la conservazione delle mura urbane, si è inteso restituire il sistema di conoscenze – evidentemente di carattere multidisciplinare – utile ad attivare processi orientati a impedire, oppure rallentare, l'avanzare del degrado e a prevenire i rischi insiti nell'insieme delle relazioni che connettono i manufatti al loro contesto.

I contributi raccolti sono focalizzati sui contenuti fondamentali per la costruzione del processo di conservazione programmata di un sistema complesso come le mura urbane: un tema di ricerca che il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni dell'Università di Pisa ha intrapreso per lo sviluppo di metodologie e strumentazioni concettuali e operative per la conservazione di questi monumenti così importanti per l'identità delle comunità insediate e per la storia e la caratterizzazione del paesaggio urbano.

L'attività di studio e sperimentazione è stata avviata anche nella logica della progressiva implementazione, presso il Dipartimento, di un Laboratorio multidisciplinare sulla conservazione programmata capace di erogare un servizio, in ambito regionale e nazionale, per la conservazione dei monumenti. Si fa qui riferimento all'iniziativa dell'attivazione di un servizio impostato dal punto di vista delle esperienze più avanzate, sviluppate a livello europeo, sul *MonumentenWacht* (che tradotto letteralmente significa "Sentinelle dei monumenti"). Queste hanno, difatti, condotto a importanti risultati, frutto dell'applicazione dei principi della conservazione programmata del patrimonio storico-architettonico, attraverso la previsione ed erogazione di servizi ispettivi.

Le positive esperienze condotte a livello internazionale hanno portato a una progressiva diffusione della cultura della manutenzione per la conservazione, nell'utente pubblico come in quello privato, alla costruzione di una legislazione orientata a supportare anche finanziariamente con dei sussidi la cura continua dei monumenti.

Le mura storiche urbane, attraverso le quali si pongono in relazione molteplici livelli di concezione/fruizione – paesaggio e cultura, spazio e tempo, identità e comunità, segni e valori, significati e percezioni –; contenitori e latori di memoria, identità, arte, storia che così fortemente connotano i territori e i paesaggi, ci interrogano oggi con improcrastinabile urgenza in termini di ricerca e di sperimentazione progettuale su quali possano essere i processi da attivare non solo per la sopravvivenza della consistenza materiale dei monumenti ma per il

mantenimento/miglioramento dei valori agli stessi connessi attraverso il progetto urbanistico e d'architettura per la costruzione di nuove funzioni e nuove qualità urbane.

*Michele Di Sivo, Daniela Ladiana*



# CONOSCENZA





# 1.

## **PISA E RIPAFRATTA.**

### **ALCUNE RIFLESSIONI SULLA METODOLOGIA DELLA RICERCA STORICA, SUI VALORI E LE POTENZIALITÀ DEL SISTEMA DIFENSIVO URBANO E EXTRAURBANO**

EWA KARWACKA CODINI

#### **Sommario**

Il territorio pisano conserva un rilevante palinsesto di strutture difensive facenti parte del sistema di controllo della Repubblica di Pisa, prima, e del Granducato mediceo, dopo. Queste strutture sono non solo beni monumentali, testimonianze di avvenimenti gloriosi, di artefici illustri, di opere ingegno e luoghi di memoria, ma costituiscono anche i segni identitari del paesaggio e della collettività, marcano il panorama urbano, evocano simbolicamente il loro valore. Il patrimonio storico è un “nesso straordinario tra il passato, il presente e il futuro” e contribuisce “a preservare l’identità e la memoria dei popoli e favorisce il dialogo”: recita il documento sottoscritto a Firenze dai Ministri della Cultura nel corso del primo G7 dedicato al tema. Molte di queste strutture – di tipologie differenti che vanno da mura urbane, castelli, rocche, torri di controllo e torri costiere – si trovano nello stato di degrado, principalmente dovuto alla mancata manutenzione, e richiedono gli interventi di recupero, di restauro, di riuso e in generale della valorizzazione.

Tali Beni dovrebbero essere colti in tutta la sua estensione per capirne a pieno la loro entità, il valore e la potenzialità. La conoscenza storica, come è ben noto, costituisce la base importantissima e culturalmente essenziale nel processo della valorizzazione di questi beni architettonici. In questo contributo prospettiamo l’approccio metodologico della ricerca storica che non solo vuole sottolineare l’importanza e la necessità di interpretare queste strutture nei contesti storici e ambientali, ma tiene conto anche del possibile

legame esistente tra il manufatto architettonico in esame e il sistema difensivo di riferimento nel territorio. Questa connessione appare ben chiara, ad esempio, tra l'impianto fortificatorio urbano di Pisa, il caposaldo principale nel territorio, e la Rocca di San Paolino a Ripafratta che, facendo parte del sistema fortificatorio territoriale, costituiva il caposaldo delle difese pisane nell'area nord-est. Le fasi di sviluppo e le trasformazioni di queste strutture sono delineate in questo saggio tenendo conto dei differenti modelli fortificatori e diverse tecniche d'assedio e di difesa nel Medioevo rispetto a quelli dell'età moderna concepiti per ovviare al problema posto dallo sviluppo dell'artiglieria.

A differenza delle opere fortificatorie urbane (la Fortezza Nuova e la cinta muraria) che sono state recentemente restaurate, la Rocca periurbana resta ancora in attesa degli interventi di valorizzazione.

### **Parole chiave**

Metodologia della ricerca storica; sistema difensivo nel territorio; fortificazioni urbane; Pisa; Ripafratta; mura; rocca; fortezze; torri di avvistamento.

### **1.1. Accenno all'approccio metodologico della ricerca storica-architettonica: il caso delle strutture difensive pisane**

La conoscenza storica costituisce la base importantissima e culturalmente essenziale nel processo della valorizzazione dei beni architettonici. L'obiettivo che si pone la ricerca storica è apprendere in modo esauriente l'entità, le caratteristiche, il valore e la potenzialità del Bene in esame. Il percorso metodologico della ricerca storica-architettonica, come è noto, ha il carattere interdisciplinare e si articola in analisi indiretta e in analisi diretta (*in situ*, delle fonti materiali) del manufatto architettonico che sono strettamente connesse tra loro. Dell'analisi indiretta fa parte in primo luogo la ricerca sulle fonti bibliografiche, manoscritte, cartografiche e iconografiche, seguita dall'interpretazione critica del materiale documentario in comparazione con il testo architettonico. I dati ottenuti costituiscono la base per l'inquadramento storico-topografico-ambientale, per la comprensione morfologica, distributiva e compositiva del manu-

fatto architettonico, per la definizione delle sue fasi evolutive, nonché per specificare le caratteristiche evolutive del Bene nel corso della sua vita e le sue stratificazioni.

Al gruppo dell'analisi diretta appartengono invece gli studi critici effettuati sul rilievo geometrico, strutturale, materico e del degrado; l'indagine stratigrafica, assieme a vari approfondimenti tematici, come quelli delle tecniche costruttive (elementi lapidei, laterizi, malte e intonaci), ma anche l'esame critico delle indagini archeologiche e la mappatura delle tipologie murarie – con saggi, stonacature, sondaggi endoscopici e riprese con termocamera. Altre tanto importante lo studio degli apparati decorativi architettonici, scultorei e pittorici.

Nel caso delle strutture difensive proponiamo porre l'attenzione, soprattutto nell'analisi indiretta, sull'inquadramento delle strutture difensive in un sistema di controllo del territorio, indagando su un possibile legame storico tra il manufatto architettonico in esame e il sistema difensivo di riferimento nell'area, nonché interrogandosi su un eventuale ruolo sinergico che poteva avere in passato.

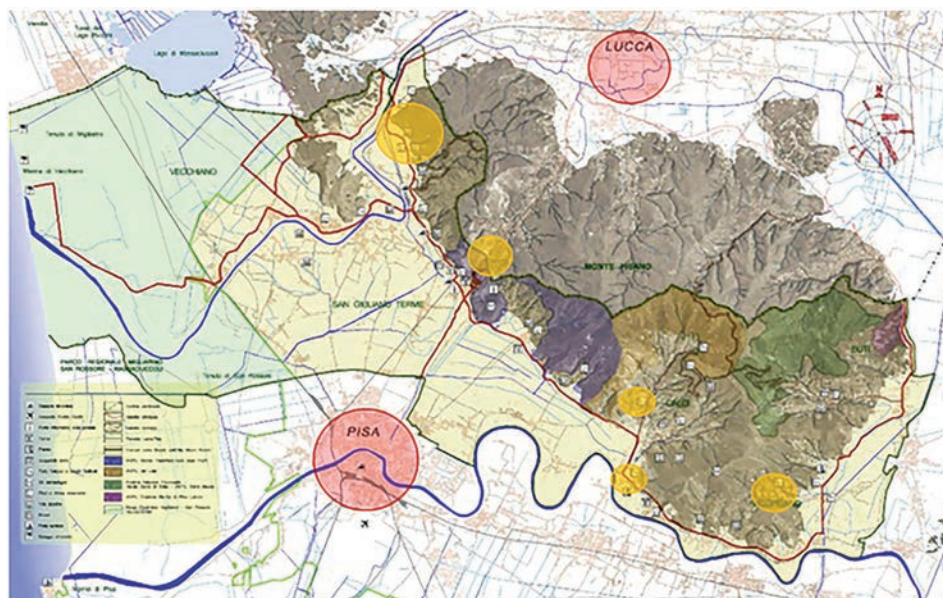
Il rapporto quantitativo dell'impegno tra il primo e il secondo gruppo, tra l'analisi indiretta e l'analisi diretta, può variare dipendentemente dallo stato di degrado del manufatto, dalla tipologia e dal materiale documentario esistente. Lettura critica del manufatto architettonico e del suo contesto, effettuata tenendo conto dei risultati ottenuti negli ambedue approcci, si conclude con le definizioni delle fasi di sviluppo del manufatto e delle sue caratteristiche geometriche, materiali e stilistiche riferite a vari periodi e mirati a delineare la piena conoscenza dell'opera in esame. Oltre alla relazione scritta, i risultati sono rappresentati in forma grafica, attraverso elaborati di piante, prospetti, sezioni e *rendering*.

Tenendo conto della metodologia sopra delineata, il sistema di difesa del territorio verrà esemplificato in questa sede dalle strutture fortificatorie urbane di Pisa (la cinta muraria, con la Fortezza Nuova) e dalla periurbana Rocca di San Paolino a Ripafratta: opere

che, come accennato, risultano connesse tra loro. Per varie ragioni – funzionali, storiche e culturali – il filo rosso lega appunto la Rocca con la città di Pisa. Infatti, la loro realizzazione, nel periodo della nascita della Pisa comunale, è quasi coeva: l'edificazione delle mura urbane di Pisa inizia a partire dal 1154, mentre la realizzazione di Ripafratta si concentra negli anni 1162-1164. Altre tanto significativo il loro quasi contemporaneo adeguamento alle esigenze belliche dell'artiglieria, attuato per merito dello stesso artefice, Giuliano Da Sangallo, che contribuì alla ristrutturazione della Rocca (1504) e che fu anche l'autore della Fortezza Nuova di Pisa (realizzata a partire dal 1512). Inoltre, ambedue le strutture facevano parte di un unico sistema del controllo del territorio pisano, sia nel periodo della Repubblica di Pisa, sia durante il governo fiorentino.

L'inquadramento territoriale storico-topografico-ambientale, non di rado trascurato o poco approfondito dalle ricerche storiche, è da ritenere una fase importante nell'approccio metodologico. Leggendo il territorio (oppure una città) si può comprendere il ruolo da esso svolto, le sue peculiarità e potenzialità storiche, paesaggistiche, architettoniche e culturali: peculiarità che consentirebbero di garantire una necessaria, ma pur troppo spesso ancora mancante, continuità tra la città e il territorio. Il territorio pisano, che qui prendiamo in esame, è un buon esempio in tal senso<sup>1</sup>. Esso rappresenta, per appunto, anche un interessante testimonianza del sistema delle strutture difensive promosse dal Comune di Pisa. Tale sistema è strettamente legato con il precoce sviluppo comunale della città di Pisa che impedì l'affermazione di giurisdizioni concorrenti, ad eccezione di qualche centro. Soffermandosi sulle strutture con funzioni spiccatamente militari, si nota che esse erano concentrate sul confine tra Pisa e Lucca e nella zona nord-est del territorio pisano ed erano posizionate sia sui Monti Pisani sia nella bassa Valle di Serchio. In questa area sono ancora visibili le tracce dell'efficace sistema difensivo formato da rocche e castelli, che dall'anno 1000 e per cinque secoli, esercitò il controllo

territoriale nelle lotte di conquista tra Pisa, Lucca e Firenze. La loro ubicazione è strategicamente posizionata sulle vette più alte (Figura 1), a dominare tutta la pianura e il lungo il monte, e lungo le principali vie d'acqua: basti ricordare in proposito Ripafratta, Quosa, San Giuliano, Castelmaggiore, Asciano, Agnano, Verruca. L'organizzazione del controllo del territorio appare ben concepita con due sbarramenti, a Ripafratta-Filettole e a San Giuliano, che si avvalevano di fortificazioni più distanziate e che svolgevano anche un ruolo di trasmissione delle segnalazioni, dalla Magra all'Arno. L'attenzione al sistema difensivo emerge dai disegni di Leonardo Da Vinci eseguiti attorno all'anno 1503, come la *Carta a volo d'uccello della Toscana occidentale*<sup>2</sup> e lo *Schizzo idrografico del piano di Pisa* (Figura 2).



**Figura 1.** Sistema delle strutture difensive del territorio pisano nord-est nel Medioevo: schema di E. Karwacka Codini. Con il colore giallo sono indicate le più importanti strutture a difesa del confine tra Pisa e Lucca.



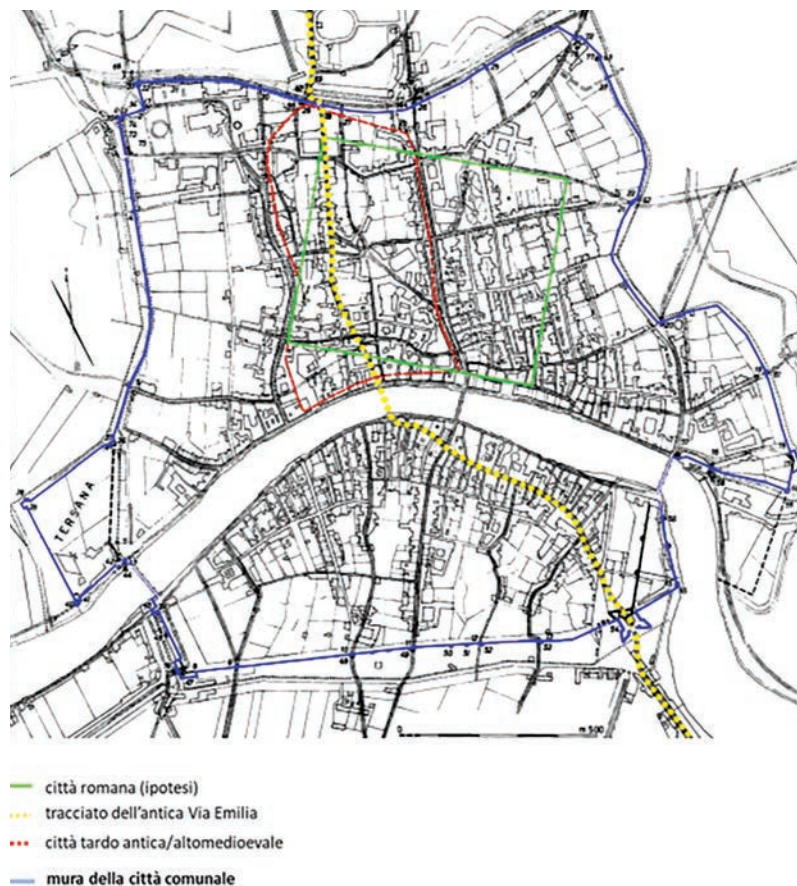
**Figura 2.** *Strategia del controllo della bassa Valle Auseris sui confini con Lucca: schema di E. Karwacka Codini; pianta base Schizzo idrografico del piano di Pisa, Leonardo Da Vinci, 1503 ca., Codice di Madrid II, 52v-53r; particolare. In rosso sono segnalate la Rocca di Ripafratta, Verruca e le torri di difesa e di avvistamento nel Monte Pisano.*

Nell'area della bassa Valle del Serchio – interessata da intensi traffici mercantili tra Pisa e Lucca e delimitata a nord dai Monti di Quiesa, a sud dal Valdozzeri, e est dal versante lucchese dei Monti Pisani, a ovest dalla laguna costiera di Massaciuccoli – sono documentabili almeno 30 fortificazioni, delle quali oggi rimangono 16, tra cui molte sono le strutture integre, tutte comprese tra la prima metà del XII sec. e XVI sec. Tra i principali fortilizi per la difesa di questa zona ricordiamo ad ovest del Serchio il Castello di Nozzano, il Castello di Cotone, la Torre dell'Aquila denominata torre Segata, il Castiglione e il Castello di Filettole. A sud del Serchio era presente il Castello di Monte Bastione, il Castello di S. Maria di Vecchiano, il Castello del Ponte a Serchio denominato di Avane. Ad est del Serchio, la Rocca di Ripafratta, il caposaldo delle difese pisane, che sorse lungo la principale via di comunicazione (già via Aemilia Scauri, poi via Julia Augusta, in seguito strada statale dell'Abetone e del Brennero). La posizione strategica del castello, dominante la valle del Serchio, ha permesso

a lungo il controllo sui traffici terrestri e fluviali fra le città rivali di Lucca e Pisa.

Le torri, quali postazioni intermedie, servivano fin dall'epoca romana per il controllo del territorio ma anche per l'avvistamento e per le segnalazioni, cioè per trasmettere celermente messaggi col fumo, di giorno, o col fuoco, di notte. Ad esempio, sono attestati i pagamenti del Comune di Pisa per le funzioni di controllo che svolgevano le torri di Aquila e di San Giuliano. I rapporti visivi fra gruppi fortificati dello stesso sistema garantivano una maggiore coesione difensiva e strategica, mentre fra quelli delle due fazioni avverse producevano un controllo reciproco.

**Figura 3.** Planimetria di Pisa con l'indicazione della cinta muraria della seconda metà del sec. XII, comparata con l'estensione delle città precedenti (schema di E. Pozzobon, che si ringrazia per la gentile concessione).



## 1.2. Le Mura di Pisa e le sue fortezze urbane

Sono state le Mura, per tanti secoli, a separare lo spazio interno della città da quello esterno. Oltre a svolgere una funzione difensiva, esse rappresentavano un vero e proprio confine giuridico-amministrativo. Delle tre cerchie murarie di Pisa – quella romana, quella tardo antica/altomedioevale e quella medioevale, risalente all'epoca comunale e poi aggiornata alle esigenze belliche dell'età moderna – si è conservata solo quest'ultima (Figura 3).

È opportuno ricordare che le fasi di sviluppo e le trasformazioni delle strutture urbane di Pisa, come anche di quelle della Rocca di Ripafratta, saranno delineate tenendo conto delle differenti tecniche fortificatorie nel Medioevo e nell'età moderna<sup>3</sup>. In brevissima sintesi, per rispondere adeguatamente alla difesa piombante, alla scalata del nemico e all'azione delle balestre e degli arcieri, le mura medievali e le torri di controllo erano molto alte, merlate e dotate del cammino di ronda, di bertesche e sbalzi per caditoie; la cinta muraria era affiancata all'esterno dal fossato e dalla strada esterna, dotata di palizzata e di antiporte; l'accesso alle torri e al cammino di ronda si effettuava con scale in legno. Con l'adozione delle armi da fuoco, a partire dal XV secolo, viene sviluppata la fortificazione alla moderna: le vecchie cerchie murarie vengono abbassate e non di rado ispessite, le torri a pianta quadrata si sostituiscono con torri rotonde, vengono creati i terrapieni e addossate le opere in terra dal lato interno delle muraglie. Segue poi l'introduzione del fronte bastionato, del bastione pentagonale (o del baluardo). Le mura sono affiancate da un ampio fossato, dalla strada coperta, banchina e parapetto. Successivamente i sistemi si perfezionarono ulteriormente, introducendo i doppi fossati, rivellini e traverse.

La formazione della nuova *forma urbis* di Pisa tra il Mille e il Duecento, secondo un piano approntato razionalmente e prospettato per il futuro sviluppo della città allora fiorente, si concluse con la costruzione delle mura comunali – con il recinto, le torri, il pomerio, la "Tersanaia", i ponti, le antiporte ecc. – che racchiudevano i terreni ancora non edificati<sup>4</sup>. Il territorio delimitato dal recinto era dunque molto più ampio delle zone abitate e il tracciato delle Mura – che

rappresentavano un vero e proprio confine giuridico-amministrativo – è stato progettato secondo una sorta di moderno piano regolatore. Di fatto, la superficie urbana della città comunale fu aumentata di quasi sei volte rispetto a quella della precedente altomedievale e quattro volte rispetto a quella romana.

La costruzione di questo imponente recinto – sviluppato per circa 7 km di perimetro, 11 m di altezza finale e 2.20 m di spessore – che delimitava un’ampia superficie della città nuova e al col tempo le garantiva la difesa dagli attacchi nemici, fu iniziata nel luglio del 1154 e le prime sette tappe della realizzazione, riguardanti sostanzialmente l’area a nord dell’Arno, si conclusero nel 1161. La realizzazione delle mura nella “villa di Chinzica”, a sud dell’Arno, fu avviata nel 1162, probabilmente partendo dalle due estremità opposte, e si protrasse fino alla metà del secolo successivo, così che l’abitato rimase per lungo tempo protetto solo da un fossato e difese lignee. Complessivamente gli accessi urbani erano trenta, di cui solo alcuni aperti sulle più importanti vie di comunicazione extraurbana. Il perimetro delle mura, realizzate in materiali diversi (panchina livornese, calcare di San Giuliano e breccia di Asciano) con la tecnica “a sacco”, era semplicemente circondato da un pomerio – una striscia esterna con fossato allagato, strettamente collegato con il sistema fluviale dell’Arno e dell’Auser – e da una striscia interna non edificata, destinata a facilitare le manovre ai sistemi di camminamento sulle mura. Nello spazio dello stesso pomerio correva una via collegante tutti gli accessi al sistema di ponti e vie extraurbane. Le torri appartenenti a questa fase costruttiva assolvevano principalmente alle funzioni di avvistamento e di difesa dei punti nevralgici della cinta.

Il rafforzamento dei punti salienti del circuito murario urbano fu attuato tra la fine del Duecento e la fine del Trecento: per garantire la difesa per fiancheggiamento vennero edificate le torri portaie e di potenziamento della cortina, tutte a pianta quadrangolare e aperte sul lato *intra moenia*, ponendo particolare attenzione al potenziamento delle difese della “Tersanaia”, l’Arsenale, in cui, in un unico spazio protetto fuori della città e in direzione del mare, furono concentrate

le attività cantieristiche della Repubblica. Le strutture, che contavano ottanta porticati per le galere e molte botteghe artigiane, furono nel 1394 circondate dalle mura munite dalle torri. La “Tersanaia”, la struttura a forma quadrangolare scandita da navate, addossata alle mura urbane e protetta dal recinto e torri, svolgeva così un importante ruolo di difesa della città, e del suo territorio, dalla parte del mare.

Ai primi decenni del Trecento risale anche la costruzione delle an-tiporte. Con l’apertura della Porta del Leone la *platea* di santa Maria Maggiore diventò l’accesso privilegiato alla città.

Varie sono le testimonianze iconografiche che illustrano le strutture difensive della città comunale. Così, nel dipinto *San Nicola Da Tolentino*, della prima metà del XV secolo, presente nella chiesa San Nicola a Pisa, è rappresentata la veduta di Pisa da parte ovest, con in primo piano le strutture della “Tersanaia” e la cerchia muraria e le torri merlate (Figura 4).



**Figura 4.** *San Nicola Da Tolentino*, anonimo, prima metà del XV secolo. Pisa, chiesa San Nicola. Particolare con la veduta di Pisa. Si ringrazia l’Ufficio per la tutela dei Beni artistici e culturali della Diocesi di Pisa per aver autorizzato la riproduzione.

Un simile punto di vista della città circondata da strutture difensive dell'epoca comunale è raffigurato nel dipinto *Presa di Pisa*, rappresentante l'assedio di Pisa dai fiorentini conquistatori, anch'esso anonimo<sup>5</sup>. L'assedio fiorentino e la *presa della fortezza di Stampace* nell'agosto del 1500 è invece illustrato nell'affresco eseguito da Giorgio Vasari, Giovan Battista Naldini, Jacopo Zucchi (1567-1571) nel Salone dei Cinquecento del Palazzo Vecchio di Firenze<sup>6</sup>. Le mura della città, vista da sud ovest, appaiono alte e merlate e rinforzate da torri; la torre e il bastione Stampace, sono ritratti in rovina.

I primi decenni dell'occupazione fiorentina furono dedicati soprattutto alla realizzazione delle opere strategiche promosse dai dominatori. Il rafforzamento del dispositivo difensivo consistette nel consolidamento del sistema di fortificazioni già esistente nella parte verso il mare e di quello nella parte a monte. Sono attribuite a Filippo Brunelleschi alcune opere connesse a questo nuovo impianto difensivo che doveva assicurare il controllo militare della città piuttosto che la sua difesa da attacchi esterni, come la ricostruzione del Ponte a Mare e della Fortezza Nuova (1440-1470), ovvero il fortilizio urbano alla Porta San Marco. La fortezza era costituita da tre capisaldi, la rocca di San Marco con un ampio torrione quadrangolare, nella parte meridionale, il baluardo della "cisterna" ai piedi del ponte della Spina, e un fortilizio "trilobato" sulla riva destra del fiume. L'intera cittadella era circondata da un fosso, attraversabile tramite un ponte levatoio. Per la realizzazione delle strutture difensive nella Cittadella Nuova furono demolite la chiesa di Sant'Andrea, numerose case, il convento e l'ospedale. Nella zona est fu chiuso il Ponte della Spina e la Porta di San Marco in Guatolungo, mentre fu aperto un nuovo accesso chiamato Porta Fiorentina.

Tale fortezza, un caposaldo principale dei dominatori, fu demolita parzialmente dai pisani durante la rivolta cittadina nel 1495. Ma a breve, dopo la riconquista fiorentina di Pisa nel 1509, la struttura fortificata venne modificata ad opera di Giuliano da Sangallo e da Antonio da Sangallo il Vecchio. Giuliano Da Sangallo, l'architetto di fiducia di Lorenzo il Magnifico e esperto in architetture militari, fu ampiamente coinvolto negli studi e progetti per la città. Lo testimonia la *Pianta di Pisa*, da lui delineata

probabilmente tra 1474 e il 1494, di cui è conservato il ricalco eseguito tra il 1509 e il 1513, che svela l'attenzione sul circuito difensivo<sup>7</sup>. Il recinto murario con le torri a sud della città è ben rappresentato, mentre è interrotto nella parte settentrionale della città e nella zona della cittadella nuova; risultano anche trascurate le difese esterne di terra. Scrupolosamente delineata è invece la "Tersanaia".

La Fortezza Nuova venne ristrutturata nel 1512 su progetto dello stesso Giuliano da Sangallo risalente al 1509<sup>8</sup> che, oltre ad aggiungere i bastioni, introdusse qui un innovativo profilo del sistema difensivo – con spalto, strada coperta, controscarpa, fossato, cammino di ronda, scarpa e terrapieno – in modo da ottenere un complesso difensivo "alla moderna", ben saldo, unitario e assicurante il maggiore controllo militare della città da parte dei fiorentini. Questo schema sperimentato nella Fortezza Nuova – uno dei primi bastioni militari italiani edificati tenendo conto dell'impiego delle armi da fuoco – continuerà a dominare la fortificazione alla moderna anche nei secoli successivi, dopo il superamento del fronte bastionato<sup>9</sup>.

La Fortezza ebbe in seguito, attorno alla metà del Cinquecento e nel corso del secolo successivo, varie ristrutturazioni. Fu modificata nella parte a sud del bastione della cisterna verso la metà del XVI secolo per realizzare una nuova struttura muraria; nel corso del 1600 fu ricostruita la cortina muraria sul lato est, insieme con l'edificazione di uno stradello in laterizi all'interno del baluardo della cisterna.

Dopo la realizzazione della Fortezza Nuova, anche la vecchia cerchia muraria è stata sottoposta all'aggiornamento alla moderna tra la fine del XVI secolo e la fine del XVII. Sono stati realizzati 15 bastioni<sup>10</sup>, tra cui quello del Barbagianni, di Stampace e la piattaforma al Parlascio e, in seguito, le mezzelune in terra. Gli aggiornamenti alla difesa sono scrupolosamente delineati da Annibale Cecchi nella *Pianta delle fortificazioni di Pisa* del 1646<sup>11</sup> e pochi anni dopo, nel 1655, appaiono ben rappresentati nell'anonima *Pianta di gelsi*<sup>12</sup>. La piantata dei gelsi aveva infatti anche una funzione militare, sia per

migliorare la difesa della trincee, sia per proteggere i parapetti nella strada coperta.

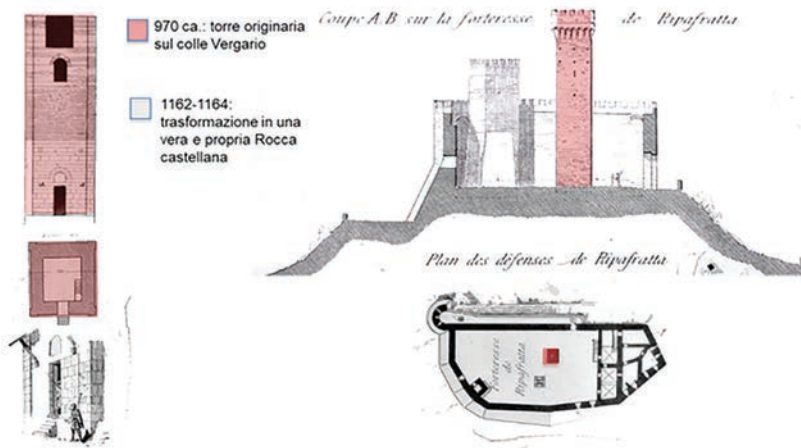
Sia nella pianta di Pisa eseguita da Giovanni Domenico Pezzini negli ultimi decenni del Seicento<sup>13</sup>, sia in un'altra anonima raffigurante le fortificazioni, datata tra la fine del XVII secolo e l'inizio del XVIII<sup>14</sup>, sono rappresentati tutti i bastioni e le difese in terra. Le piante prospettiche seicentesche di Pisa, come quella di Merian (Figura 5), restituiscono gli elementi del sistema difensivo della città in modo piuttosto sommario e approssimativo.

**Figura 5.** *Pisa, 1688. M. Zeiler, M. Merian, Topographia Italiae. Franckfurt, In Verlegung Matthæi Merians Seel. Erben, 1688, p. 86v.*



Come si evince da un progetto redatto attorno alla metà del Settecento *Pianta della Città di Pisa fortificata realmente senza riguardo di spesa*, le fortificazioni urbane dovevano essere ulteriormente rafforzate<sup>15</sup>.

Tra la seconda metà dell'Ottocento e i primi del Novecento – quando le mura persero il ruolo difensivo e quando il loro valore simbolico si è indebolito – alcune parti della cerchia sono state demolite<sup>16</sup>.



**Figure 6a e 6b.** La Rocca di Ripafratta (Georges Rohault de Fleury, *La Toscane au Moyen Age: Architecture civile et militaire, vol. 1, Paris 1873, p. XLIX*). Schema delle fasi evolutive, E. Karwacka Codini. In giallo sono segnate le parti trasformate nella prima metà del XVI sec.

### 1.3. Rocca di San Paolino a Ripafratta (Libra Facta, Librafatta)

Fin dall'epoca romana, il territorio di *Vallis Auseris* – caratterizzato dalla presenza di vaste paludi, percorsi fluviali e stradali, ricco di strutture civili e religiose situati sui Monti pisani – necessitava la presenza di un efficiente sistema difensivo. Come già accennato, il controllo dei confini con Lucca nella bassa Valle Auseris era affidato sia a fortificazioni sia a torri di avvistamento nel Monte Pisano<sup>17</sup>. La Ripafratta ebbe nel Medioevo due fasi di sviluppo: inizialmente, almeno fin dall'anno 970, esisteva la torre di controllo posta sul colle Vergario (Figura 6a); in seguito (1162-1164), in connessione con lo sviluppo del potere comunale di Pisa e in coincidenza con la realizzazione delle mura della *nuova urbis* pisana, fu edificata la Rocca di San Paolino, il cui recinto murario poligonale inglobò la torre preesistente. A questo periodo risale anche l'ulteriore cerchia muraria concentrica che proteggeva il piccolo borgo a ridosso del castello, nonché la realizzazione delle torri di controllo facenti parte del sistema di difesa del territorio a nord-est di Pisa. Dal XII secolo la Rocca divenne il principale punto strategico pisano nella bassa Valle Auseris e, supportata dalle vicine torri Niccolai e Centino, svolgeva il ruolo di vigilanza nel territorio. Il castello è stato conteso nel corso dei secoli dalle potenze pisane e lucchese, per poi passare definitivamente in mano fiorentina.

In seguito alla conquista dei fiorentini il fortilizio fu ristrutturato e adeguato a resistenza dell'artiglieria. Al 1504 risale il progetto dell'aggiornamento alle nuove esigenze belliche attribuito a Giuliano Da Sangallo, l'architetto che pochi anni dopo si occupò della Fortezza Nuova di Pisa. Non è da escludere che alcuni suggerimenti sono stati forniti da Leonardo da Vinci che proprio nello stesso periodo esaminava il sistema della difesa della Valle, come si evince dai disegni del territorio pisano eseguiti intorno al 1503. Egli raffigura Ripafratta nella *Pianta a volo d'uccello della Toscana occidentale*<sup>18</sup>, nella *Carta dei dintorni di Pisa per i progetti di deviazione delle acque d'Arno*<sup>19</sup> (Figura 2) e in quella della *Toscana di nord-ovest* (da Firenze a Barga, Ripafratta e Bientina)<sup>20</sup> e la menziona più volte nel *Codice Atlantico*<sup>21</sup>. Nella pianta leonardesca dei *dintorni di Pisa*, conservata nel *Codice di Madrid*, emerge chiaramente l'attenzione al sistema della difesa della Repubblica di Pisa nei confini con Lucca: sono segnate rocche, castelli e torri nel Monte Pisano e nella valle bassa del Serchio, tra cui due capisaldi, quello di Verruca e quello di Ripafratta.

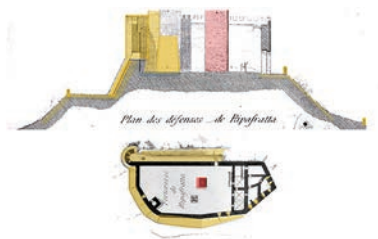


Figura 6b.

Negli anni successivi fu realizzata la profonda trasformazione della Rocca con la collaborazione di Antonio Da Sangallo il Vecchio: le torri sono state cimate e le muraglie ispessite, sono state costruite ampie scarpate addossate alle mura, i rivellini, la casamatta e le cannoniere (Figura 6b).

Con il mutare delle condizioni politiche imposte dal dominio fiorentino, Ripafratta perse gradualmente importanza. Già nel 1607 il castello risultava abbandonato. Nel 1628 venne allivellato ad uso dell'orto e frutteto, poi divenne di proprietà della famiglia Roncioni. Dopo un graduale abbandono, vide un notevole degrado nel secolo scorso dovuto alla totale mancanza di manutenzione (Figura 7). Negli anni ottanta del secolo scorso sono stati effettuati gli scavi archeologici<sup>22</sup>. La Rocca è tuttora proprietà privata. Presenta lo stato di incuria e resta in attesa di urgenti interventi. È opportuno ricordare in merito che già nel 1948 la Costituzione Italiana all'articolo 9 dichiarava, tra i suoi principi più alti, la tu-

tela del paesaggio e del patrimonio storico-artistico, oggi sancita dal D.lgs. 42/2004: obiettivo strategico questo che presupponeva e presuppone anche le attente politiche di manutenzione.



**Figura 7.** Rocca di Ripafratta, foto del giugno 2018.

A differenza delle opere fortificatorie di Pisa (la Fortezza Nuova e la cinta muraria) che, viste come parte inscindibile del tessuto urbano, sono state recentemente restaurate, il fortilizio periurbano di Ripafratta, inteso come relitto solitario e appartato, resta ancora in attesa degli interventi. Considerando il suo chiaro nesso con la struttura difensiva urbana di Pisa e il valore che emerge dalle indagini storiche, questa Rocca – vincolata dalla legislazione e soggetta a tutela e conservazione – meriterebbe anche una riflessione in chiave della fonte della sinergia, tra l’ampia zona della Valle, dei Monti e la città stessa; ebbene, essa potrebbe essere considerata come una potenzialità “rigeneratrice” per Pisa e per il suo territorio.

## Note

<sup>1</sup> Per le fonti relative all’inquadramento territoriale e quelle sulla iconografia e cartografia si veda la bibliografia allegata al saggio.

<sup>2</sup> *La Carta a volo d'uccello della Toscana occidentale*, redatta da Leonardo da Vinci attorno all'anno 1503, è conservata presso Royal Library di Windsor, Carta 12683. Per l'immagine di questa pianta si rimanda a <https://brunelleschi.imss.fi.it/itinerari/immagine/img34844.html>, Museo Galileo, Itinerari Scientifici in Toscana, Immagine - RLW 12683.

<sup>3</sup> Per gli elementi caratterizzanti il sistema difensivo si rimanda alle fonti indicate nella bibliografia qui allegata.

<sup>4</sup> Sulle mura e in generale sulle strutture fortificatorie di Pisa si veda la bibliografia di riferimento al testo.

<sup>5</sup> Si tratta del dipinto eseguito sul fronte del cassone che è conservato presso National Gallery di Dublino.

<sup>6</sup> Per l'immagine del dipinto si rimanda a <https://artsandculture.google.com/asset/the-storming-of-the-fortress-of-stampace-in-pisa/HQHeHlHYWrOxQ> e [https://it.wikipedia.org/wiki/File:Giorgio\\_vasari\\_e\\_aiuti,\\_la\\_presa\\_della\\_fortezza\\_di\\_stampace\\_a\\_pisa,\\_1568-71,\\_01.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/File:Giorgio_vasari_e_aiuti,_la_presa_della_fortezza_di_stampace_a_pisa,_1568-71,_01.jpg).

<sup>7</sup> *Pisa no finjta*, spolvero e sanguigno, Giuliano Da Sangallo, 1509 e il 1513, GDSU, n. 7950. Per l'immagine della pianta si rimanda a *Atlante storico iconografico delle città toscane. Pisa*. [http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini\\_schede/683/Sangallo%20Folin.jpg](http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini_schede/683/Sangallo%20Folin.jpg).

<sup>8</sup> *Cittadella Nuova*, G. Da Sangallo, 1509, Biblioteca Comunale Intronati, Siena, *Taccuino senese*, ms. S.IV, 8, f. 3 v. Le preesistenze quattrocentesche della Cittadella e gli interventi di Giuliano da Sangallo, assieme agli aggiornamenti commissionati da Cosimo I, sono delineati nel rilievo della fortezza nuova di Giovan Battista Belluzzi detto il San Marino (1544/1552). Cfr. *Atlante storico iconografico delle città toscane. Pisa*, [http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini\\_schede/1104/II\\_1\\_280\\_C\\_007.jpg](http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini_schede/1104/II_1_280_C_007.jpg).

<sup>9</sup> La Fortezza ebbe in seguito, attorno alla metà del Cinquecento e nel corso del secolo successivo, varie ristrutturazioni.

<sup>10</sup> Sono ricordati i seguenti bastioni: di Porta Guelfa, del Tedaldo; dell'Agnesa; del Padule; del Porta a Mare; del Canto a Leone; di San Lazzaro; di Santo Stefano; della Ghiacciaia; della Forcha; di San Zenò; di San Francesco; di Santa Marta; di Barbaggiani; sull'Arno. Le porte menzionate sono 6: a San Marco; a Mar; Guelfa, oggi serrata; Nuova; a Lucca; alle Piagge.

<sup>11</sup> *Pianta delle fortificazioni di Pisa*, 1646, Annibale Cecchi; Londra, British Library, Add.Mscr. 48770, f. 16. La pianta è stata pubblicata in Salotti, 2005-2006, pp. 116-124, e in Bevilacqua, Salotti, 2011, p. 203.

<sup>12</sup> Firenze, Archivio di Stato, Scrittoio del Regie Possessioni, A.2.86. Si veda [http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini\\_schede/1137/Gelsi%20Pisa.jpg](http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini_schede/1137/Gelsi%20Pisa.jpg).

<sup>13</sup> Pianta della città di Pisa con sue strade e chiese e fortificazione che in detta ritrovasi (collezione privata). Cfr. [http://asict.arte.unipi.it/index.html/scheda\\_indice.php?loc=Pisa&op\\_s=463&page=2](http://asict.arte.unipi.it/index.html/scheda_indice.php?loc=Pisa&op_s=463&page=2).

<sup>14</sup> Pianta delle fortificazioni di Pisa (collezione privata). Si veda [http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini\\_schede/1123/Mura%20Tongiorgi.jpg](http://asict.arte.unipi.it/index.html/img.php?path=../immagini_schede/1123/Mura%20Tongiorgi.jpg).

<sup>15</sup> *Pianta della Città di Pisa fortificata realmente senza riguardo di spesa. Progetto primo* [1749-1765], Archivio di Stato di Firenze, Pianta dello Scrittoio delle Fortezze e Fabbriche.

La pianta è stata pubblicata in Salotti, 2005-2006, pp.116-124, e in Bevilacqua, Salotti, 2011, p. 203.

<sup>16</sup> Si tratta della parte situata nella zona dell'Ospedale di Santa Chiara e quella meridionale, tra la Piazza di Vittorio Emanuele e la Fortezza Nuova.

<sup>17</sup> Sulla Rocca si veda Targioni Tozzetti, 1768, vol. I, pp. 445-450; Repetti, 1841, vol. IV, pp. 767-768; G. Rohault de Fleury, 1873, vol.1, p. XLIX; Redi, 1981; Redi 1990; <http://www.montipisani.com/index.php/la-storia-dei-monti-pisani/rocca-ri-pafrat-ta/12-storia/63-torri-ripafratta>; <http://www.montipisani.com/index.php/la-storia-dei-monti-pisani/rocca-ripafratta>; <http://www.salviamolarocca.it/project/rocca-ripafratta-storia/>.

<sup>18</sup> Cfr. la nota 2.

<sup>19</sup> Leonardo da Vinci, *Carta dei dintorni di Pisa per i progetti di deviazione delle acque d'Arno*, c. 1503. *Schizzo idrografico del piano di Pisa*, o Codice di Madrid II (BNM), cc. 52v-53r).

<sup>20</sup> Leonardo da Vinci, *Carta della Toscana di nord-ovest (da Firenze a Barga, Ripafratta e Bientina)*, 1503 ca.; Royal Library di Windsor, Carta 12685.

<sup>21</sup> Leonardo da Vinci, *Toponimi della Toscana marittima dal Serchio a Montenero*, 1503 ca. *Codice Atlantico*, carta 305r., "L'Arno che corre da Monte Lupo in giù", 1505 ca., *Codice Atlantico*, carta 201r; Il "pian di Pisa", c. 1515 ca., *Codice Atlantico*, carta 225r (Biblioteca Ambrosiana, Milano).

<sup>22</sup> Redi, 1990.

## Bibliografia e risorse elettroniche di riferimento al testo

### Architettura fortificata e nomenclatura delle strutture difensive

Fara A., *Il sistema e la città – Architettura fortificata dell'Europa moderna, dai trattati alle realizzazioni, 1464-1794*, Genova, Sagep, 1989.

Naldini M., Taddei D., *Torri Castelli Rocche Fortezze. Guida a mille anni di architettura fortificata in Toscana*, Firenze, Polistampa, 2003.

Rocchi E., *Le origini della fortificazione moderna. Studi storico-critici*, Roma, Voghera Enrico, 1894.

Rocchi E., *Le fonti storiche dell'architettura militare*, Roma, 1908.

Perogalli C., *L'architettura fortificata di transizione e la città ideale*, in *La sicurezza dell'esistere*, Cortona, Grafica l'Etruria, 1992.

Settia A., *Proteggere e dominare. Fortificazioni e popolamento nell'Italia medievale*, Roma, 1999.

Taddei D. (a cura di), *Le parole del castello. Nomenclatura castellana*, Sesto Fiorentino, 2004.

<http://www.fortificazioni.net/Glossario.htm>

<http://www.istitutoitalianocastelli.it/risorse/supporti-scientifici/11-supporti-scientifici.html>

## **Inquadramento territoriale**

Carlotti E., Bulleri A. (a cura di), *Non solo pietre. Le fortificazioni dalla difesa alla promozione del territorio*, Pisa, ETS, 2005.

Ceccarelli Lemut M. L., Dringoli M. (a cura di), *Castelli e fortificazioni della Repubblica pisana*, Pisa, Pacini, 2009.

Repetti E., *Dizionario geografico fisico storico della Toscana*, Firenze, 1833.

<http://www.istitutoitalianocastelli.it/pubblicazioni/castella.html>

<http://mappagis.cs.dm.unipi.it:8081/mappa/mappa.phtml>

<http://www.mondimedievali.net/Castelli/Toscana/pisa/ripafatta.htm>

<http://www.montipisani.com/index.php/la-storia-dei-monti-pisani/rocca-ripafatta/12-storia/63-torri-ripafatta>

<http://www.regione.toscana.it/-/piano-di-indirizzo-territoriale-con-valenza-di-piano-paesaggistico>

## **Iconografia e cartografia**

*Atlante Storico Iconografico delle città toscane*, <http://asict.arte.unipi.it>

Cantile A. (a cura di), *Leonardo genio e cartografo: la rappresentazione del territorio tra scienza e arte*, Firenze, Istituto geografico militare, 2003.

Rohault De Flèury C., *Les monuments de Pise et Moyen Age*, Paris, 1866.

Rombai L., *Cartografia, corografia e paesaggio nella Toscana dei secoli XV-XVII*, in D. Ramada Curto D., Cattaneo A., Ferrand Almeida A. (a cura di), *La cartografia europea tra primo Rinascimento e fine dell'Illuminismo: atti del Convegno internazionale*, Firenze, L.S. Olschki, 2003, pp. 197-227.

Sercambi G., *Le croniche*, a cura di S. Bonghi, Roma, 1892.

Warren O., *Raccolta di piante delle principali città e fortezze del Gran Ducato di Toscana*, Firenze, Studio per Edizioni Scelte, 1979.

<https://brunelleschi.imss.fi.it/itinerari/itinerario/CartografiaToscana.html>

<http://leonardo.bne.es/index.html>

## Pisa

- Bevilacqua M., Salotti, C., *Le mura di Pisa. Fortificazioni, ammodernamenti e modificazioni dal XI al XIX secolo*, Pisa, ETS, 2011.
- Bracaloni F, Dringoli M. (a cura di), *Architetture militari a Pisa*, Pisa, Pacini, 2007.
- Garzella G., *Pisa come era, topografia, e insediamento dall'impianto tardoantico alla città murata del secolo XII*, Napoli, Liguori Editore, 1990.
- Karwacka Codini E., *Architettura a Pisa nel primo periodo mediceo*, Roma, Gangemi, 2010.
- Karwacka Codini E., *La nuova "forma urbis": Pisa dall'epoca d'oro alla prima conquista fiorentina*, in Mathews K., Orvietani Busch S., Bruni S., *A Companion to Medieval Pisa Urban History and Topography*, Brill, Leiden, p. II (in corso di stampa).
- Luperini I., *La cintura di pietra: alla scoperta delle mura medievali di Pisa*, Pisa, ETS, 2013.
- Luperini I., Tolaini E., *Le mura di Pisa: documenti e materiali per la conoscenza e lo studio della cerchia del XII secolo*, Pisa, Litografia Tacchi, 1988.
- Pasquinetti R., *La fortezza di Pisa. Dal Brunelleschi al giardino Scotto*, Pisa, ETS, 2009.
- Redi F., *Pisa com'era: archeologia, urbanistica, e strutture materiali*, Napoli, Liguori Editore, 1991.
- Redi F., *La Tersana di Pisa da arsenale della Repubblica a fortezza fiorentina*, in M. Tangheroni (a cura di), *Pisa e il Mediterraneo*, Milano, 2003.
- Severini G., *Fortificazioni e controllo delle acque in Toscana fra '500 e '600: il caso di Pisa*, Pisa, ETS, 1999.
- Severini G., *Note sulle fortificazioni pisane alla fine del Trecento*, in «Bollettino storico pisano», 75, 2006, pp. 265-279.
- Stiaffini D., *Gli Arsenali Repubblicani e l'area della Tersana fra XIII e XX secolo*, in Bruni S. (a cura di), *Gli arsenali della Repubblica di Pisa. Storia, restauro, valorizzazione*, Pisa, ETS, 2017.
- Tolaini E., *Forma Pisarum*, Pisa, Nistri-Lischi, 1992.
- Tolaini E., *Le mura del XII secolo e altre fortificazioni nella storia urbana di Pisa*, Pontedera, Bandecchi e Vivaldi, 2005.

## Rocca di Ripafratta

E. Repetti, *Dizionario geografico fisico storico della Toscana*, Allegrini e Mazzoni, Firenze 1841, vol. IV, pp. 767-768.

Redi F., *Le fortificazioni medievali del confine pisano-lucchese nella bassa valle del Serchio. Strutture materiali e controllo del territorio*, in R. Comba, A. Settia, *Castelli: storia e archeologia. Relazioni e comunicazioni al Convegno tenuto a Cuneo il 6-8/12/1981, Regione Piemonte*, 1981.

Redi F., *Medioevo vissuto: primi dati sulla cultura materiale del Castello di Ripafratta; i reperti dello scavo*, Pisa, Giardini, 1990.

Georges Rohault de Fleury, *La Toscane au Moyen Age: Architecture civile et militaire*, vol. 1, Paris, 1873.

Sercambi, G., Bongi S. (a cura di), *Lucca Le Croniche Le Croniche di Giovanni Sercambi, lucchese, pubblicate sui manoscritti originali*, Lucca, Tipografia Giusti, 1892.

Gio. Targioni Tozzetti, *Relazioni d'alcuni viaggi fatti in diverse parti della Toscana*, Stamperia Granducale, Firenze 1768, vol. I, pp. 445-450.

<http://www.castellitoscani.com/italian/nozzano.htm>

<http://www.montipisani.com/index.php/la-storia-dei-monti-pisani/rocca-ripafratta>

<http://www.salviamolarocca.it/project/rocca-ripafratta-storia/>

## Principali architetti delle fortificazioni

Bevilacqua M.G., *Filippo Brunelleschi e la torre del Parlascio. Il rilievo delle strutture superstiti*, in «La torre», 2(4), 2008, pp. 15-19.

Marani Pietro C. (a cura di), *Disegni di fortificazioni da Leonardo a Michelangelo*, Firenze, Cantini Edizioni d'Arte, 1984.

Severini G., *Architetture militari di Giuliano da Sangallo*, Pisa, Lischi, 1970, p. 18.

Taddei D., *Giuliano e Antonio il vecchio da Sangallo*, in M. Viganò (a cura di), *L'architettura militare nell'età di Leonardo - "Guerre milanesi" e diffusione del bastione in Italia e in Europa*, Atti del Convegno Internazionale di studi, Locarno, 2-3 giugno 2007, Bellinzona, Edizioni Casagrande Bellinzona, 2008, pp. 231-253.



## 2.

# METODOLOGIA DI ANALISI E DI INTERVENTO PER LA CONSERVAZIONE DEI CENTRI FORTIFICATI DELLA BASSA SABINA

STEFANIA LANDI

### **Sommario**

La metodologia di ricerca applicata ha carattere multidisciplinare ed ha previsto lo sviluppo sia di analisi di dettaglio sui singoli centri, sia di analisi comparative d'insieme, finalizzate a cogliere aspetti comuni e diversità. Le analisi conoscitive si sono basate sul materiale reperito grazie a ricerche d'archivio in loco, ricerche bibliografiche e sulle indagini in situ. L'estesa campagna fotografica, i rilievi condotti con metodologia tradizionale e con stazione totale, insieme all'analisi delle foto aeree, hanno inoltre permesso di individuare le principali tipologie di insediamento, le caratteristiche delle cinte, le relative dinamiche di sviluppo e infine i materiali e le tecniche costruttive impiegate.

Il centro storico di Poggio Mirteto, uno dei maggiori dell'area, è stato analizzato in modo più approfondito, fino a ipotizzare una più precisa ipotesi sulle dinamiche di sviluppo della cinta muraria e del tessuto edilizio al suo interno. Alla luce delle criticità riscontrate dal punto di vista funzionale, della conservazione fisica e morfo-tipologica sono state quindi proposte delle linee di azione progettuale, che includono il recupero di alcuni spazi urbani posti in luoghi chiave lungo la cinta e un progetto di restauro tipo per i prospetti delle abitazioni poste su di un tratto della cinta stessa.

### **Parole chiave**

Centri fortificati; Bassa Sabina; materiali; tecniche costruttive; restauro.

## Introduzione

Questo contributo raccoglie i risultati di uno studio sui centri fortificati della Bassa Sabina, volto all'elaborazione di proposte progettuali per la loro tutela e recupero. La metodologia applicata, dal carattere fortemente multidisciplinare, ha previsto lo sviluppo di analisi di dettaglio sui centri indagati e, al tempo stesso, di analisi comparative d'insieme, per coglierne aspetti comuni e diversità.

Il territorio sabino si contraddistingue nell'ambito provinciale e regionale per l'indiscusso valore ambientale e paesaggistico (Figura. 1) apprezzato sin dall'età antica (numerosi sono infatti anche i resti di epoca romana, testimoni della fama di cui godeva l'area già a quel tempo). Purtroppo però, tale contesto risulta ad oggi vittima di forti pressioni, soprattutto di carattere insediativo, che minano la stessa sopravvivenza di quel patrimonio architettonico e ambientale che nel corso dei secoli si è venuto a creare.



**Figura 1.** I paesaggi della Bassa Sabina: la piana del Tevere, la collina e la montagna (elaborazioni grafiche e foto: S. Landi).

L'identità della Sabina ha infatti il suo fulcro nel paesaggio agricolo legato all'olivicoltura, pratica che affonda le sue radici nei secoli passati, e nella presenza diffusa di centri fortificati fusi armoniosamente nel paesaggio collinare, che hanno origine tra il X e il XII secolo. In questo periodo storico si verifica, infatti, il cosiddetto "incastellamen-

to medievale”, con cui si assiste alla nascita di innumerevoli rocche e castelli, sviluppatisi poi in villaggi fortificati, sulle colline che si estendono tra i Monti Sabini e la Piana del Tevere.

## **2.1. Approccio metodologico**

A partire dalla concezione dei centri sabini come parte di una rete, di un sistema complesso in cui insediamenti e territorio sono elementi inscindibili, la presente indagine è stata condotta muovendosi a diverse scale (territoriale, urbana e architettonica) e adottando molteplici punti di vista. Sono quindi state trattate problematiche molto varie, ma ritenute tutte fondamentali per il loro essere interconnesse – dall’indagine storica al rilievo architettonico, dai temi del paesaggio alla progettazione architettonica, dal restauro alla pianificazione del territorio – nel profondo convincimento che solo attraverso valutazioni a diversi livelli sia possibile comprendere i caratteri identitari e i valori di tale contesto, e individuare strategie per il recupero quanto più coerenti e praticabili.

Dato il diffuso patrimonio architettonico considerato, sono state svolte, prima di tutto, approfondite indagini storiche mediante ricerche d’archivio in loco, ricerche bibliografiche e indagini sul campo.

Le ricerche documentali sono state svolte prevalentemente presso l’Archivio di Stato di Rieti e l’Archivio storico del Comune di Poggio Mirteto – uno dei centri maggiori della Bassa Sabina, considerato come caso studio nell’ambito di questa ricerca – che conservano preziosi documenti iconografici, mappe e catasti storici del territorio sabino (come il Catasto Gregoriano, 1816-1835) dai cui è stato possibile cogliere informazioni non solo sui singoli centri, ma anche sull’organizzazione del territorio e del paesaggio agrario.

A livello bibliografico è stato fondamentale l’apporto degli studiosi locali, le cui approfondite ricerche sulle emergenze architettoniche locali, dal periodo romano sino ai giorni nostri, hanno costituito un riferimento di indubbia importanza. Una ulteriore fonte di informazioni è stato poi il Piano Territoriale Generale della Provincia di Rieti,

strumento indispensabile per una lettura complessiva del territorio sabino dal punto di vista ambientale, insediativo e delle sue interrelazioni con il più ampio contesto provinciale.

Un'attenzione particolare è stata poi dedicata al tema dell'incastellamento medievale, a partire dagli scritti dello storico medievista francese Pierre Toubert, che iniziò le sue ricerche proprio in Sabina, dato che qui le tracce di tale fenomeno si erano mantenute ben leggibili grazie alle limitate trasformazioni intercorse.

Le indagini sul campo hanno previsto lo svolgimento di campagne fotografiche nei diversi centri, estese anche al territorio rurale, e il rilievo del patrimonio architettonico e urbano, effettuato sia con strumenti tradizionali che con stazione totale. Il materiale fotografico e le restituzioni grafiche hanno costituito la base per compiere indagini di dettaglio sul caso studio e analisi comparative tra i diversi centri, volte a comprenderne le caratteristiche dal punto di vista morfologico, tipologico e tecnico costruttivo – passaggio ritenuto indispensabile al fine di individuare le criticità che interessano oggi questi centri e sviluppare proposte congrue per la tutela e il recupero.

## **2.2. I centri fortificati della Bassa Sabina: caratteri tipologici e tecnico costruttivi**

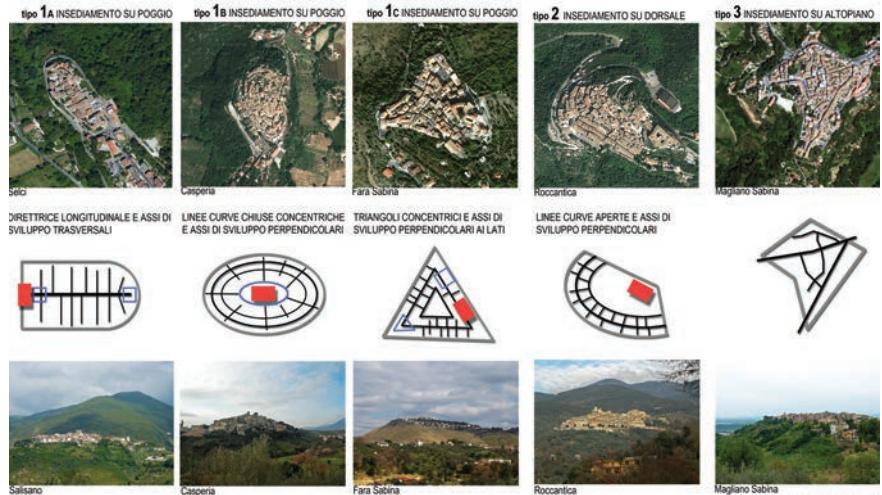
I centri indagati risultano caratterizzati da due principali strutture difensive: un nucleo interno, la cosiddetta *rocca castris*, ove viveva il Signore con la sua corte, e una cinta muraria più ampia all'intorno, il cui spazio veniva gradualmente occupato dalle abitazioni dei popolani.

Dal punto di vista delle tecniche e materiali da costruzione, queste strutture fortificate sorprendono per la felice sintesi tra architettura e risorse ambientali. Sono i rilievi sabini, infatti, a fornire i materiali con cui queste fortificazioni e i paesi al loro interno sono stati costruiti: dal marmo rosa di Cottanello, alla pietra sponga di Poggio Catino, dal tufo che è presente in gran parte del territorio sabino, al conglomerato naturale di Poggio Mirteto (traccia fossile dell'antico letto del fiume Tevere). Tale patrimonio esprime quindi,

prima di tutto, il profondo senso di equilibrio e integrazione tra l'opera dell'uomo e l'ambiente. Equilibrio che purtroppo è stato messo in crisi dalle trasformazioni più recenti di questo territorio, ma che comunque non impediscono di leggere le caratteristiche originarie dei suoi centri antichi, i cui tessuti insediativi e strutture difensive sono ancora ben individuabili.

È infatti possibile dedurre interessanti informazioni sin dalla lettura delle foto aeree, che hanno permesso di individuare le principali tipologie di insediamenti (su poggio, su dorsale e su altopiano) e le relative dinamiche di sviluppo (secondo una direttrice longitudinale e assi trasversali; o secondo curve di livello chiuse o aperte) a partire dalla rocca castrì e in relazione alle cinte murarie (Figura. 2).

**Figura 2.** Supporto morfologico e dinamiche di sviluppo dei centri fortificati (elaborazioni grafiche e foto: S. Landi).



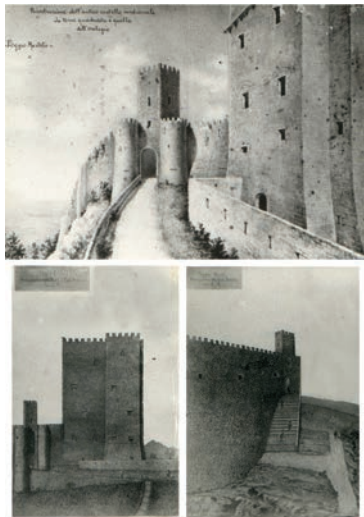
L'analisi comparativa tra i diversi centri fortificati, svolta sulla base della campagna fotografica (Figura. 3), ha fatto emergere, inoltre, il ricorrere di certi elementi e caratteristiche delle strutture difensive (come ad esempio i torrioni circolari e quadrangolari, o le tessiture murarie) e la presenza di elementi che si differenziano (come le porte di accesso e la *rocca castrì*) poiché oggetto di trasformazioni, aggiunte e cambi d'uso nel corso dei secoli.



Figura 3. I Castra della Sabina: strutture difensive a confronto (foto: S. Landi).



**Figura 4.** *Pianta di una porzione di territorio di Poggio Mirteto (Archivio di Stato di Rieti).*



**Figura 5.** *Ricostruzioni della prima cinta muraria di Poggio Mirteto (Nardi, 1895) (Archivio storico del Comune di Poggio Mirteto).*

### 2.3. Il caso studio di Poggio Mirteto: indagini sui caratteri costruttivi e analisi delle criticità

È in questo contesto che si inserisce il centro storico di Poggio Mirteto, con il suo nucleo medievale (Figura. 4) ben distinguibile e le successive espansioni (avvenute tra il 1600 e il 1700, e poi tra il 1800 e il 1900).

A partire dagli studi condotti dallo storico Ercole Nardi (particolarmente importanti le ipotesi sulla periodizzazione del tessuto edilizio e sulla configurazione della prima cinta, Figura 5), questo centro è stato analizzato in modo più approfondito, andando a studiare la morfologia del sito, i percorsi matrice, le tipologie edilizie (decodificate grazie a rilievi su edifici campione), i materiali e le tecniche costruttive impiegate (Figura 6). Le analisi svolte hanno quindi permesso di formulare una più precisa ipotesi sulle dinamiche di sviluppo della cinta muraria e del tessuto edilizio nato al suo interno, secondo una logica che prevedeva prima l'occupazione delle aree più prossime alla rocca, poi di quelle lungo la cinta muraria e, infine, la saturazione degli spazi residui (Figura 7).

Inoltre, queste analisi hanno permesso di compiere un'analisi comparativa con i tessuti edilizi e i manufatti degli altri centri sabini, che ha messo in luce i molti tratti comuni e le peculiarità, soprattutto per quel che riguarda materiali e tecniche costruttive (qui ad esempio risulta particolarmente diffuso l'impiego del conglomerato naturale, antica traccia del Fiume Tevere).

La comprensione dei caratteri identitari di questo centro ha consentito poi di andare a valutare lo stato di conservazione della cinta muraria e del tessuto edilizio, per il quale se da una parte è emerso uno stato di conservazione fisica mediamente buono, purtroppo non si è riscontrato lo stesso dal punto di vista della conservazione morfo-tipologica, data la diffusissima presenza di superfetazioni e altri interventi incongrui (Figura 8). Particolarmente critica la situazione di alcune abitazioni costruite sulla cinta muraria, le cui superfetazioni hanno implicato pesanti alterazioni e compromissioni della cinta stessa dal punto di vista non solo visivo ma anche materiale.

**TUFO**



**PIETRA SPONGA**



**PIETRA CALCAREA**



**MARMO ROSA DI COTTANELLO**

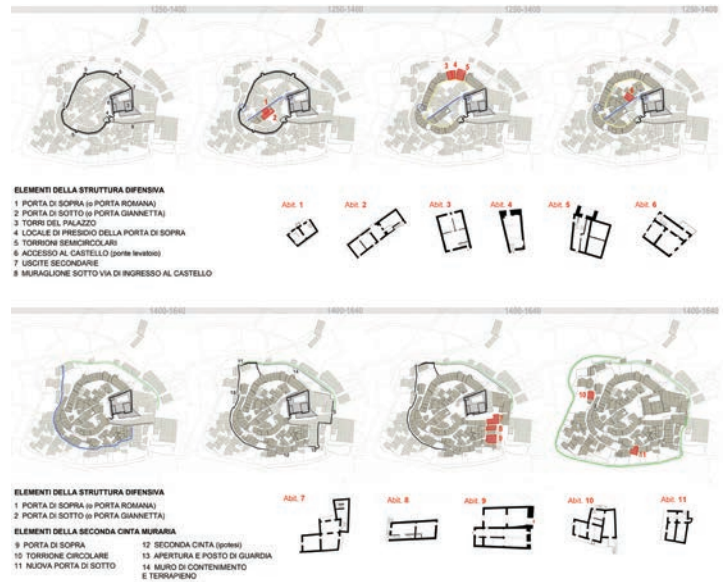


**CONGLOMERATO NATURALE**



**Figura 6.** Poggio Mirteto - Tessiture murarie e materiali (foto: S. Landi).

**Figura 7.** Poggio Mirteto - Ipotesi di sviluppo della cinta muraria e del tessuto edilizio (elaborazioni grafiche: S. Landi).



**Figura 8.** Poggio Mirteto - Analisi delle criticità: esempi di mancanza, intervento incongruo, erosione, superfetazioni (foto: S. Landi).

## 2.4. Linee di azione per la tutela e il recupero del borgo di Poggio Mirteto

Grazie alle valutazioni effettuate, è stato possibile individuare alcune linee di azione progettuale per la tutela e il recupero del borgo medievale di Poggio Mirteto (Figura 9), relative sia alla sua cinta muraria che al tessuto edilizio al suo interno.



**Figura 9.** Linee di azione progettuali (elaborazioni grafiche: S. Landi).

Tali linee di azione sono espresse sinteticamente nei seguenti punti:

1. recupero di quattro spazi urbani posti lungo la cinta muraria, che hanno un ruolo "chiave" dal punto di vista sia storico-identitario che funzionale (sistema di piccole piazze intorno al Palazzo Vescovile; spazi aperti e parcheggi intorno alla Cattedrale, vicino alla Porta di Sopra; Piazza Civitavecchia, sul lato ovest del centro fortificato; Via del Lavatoio, che corre lungo il confine nord);
2. recupero e restauro dei fronti strada e della cinta muraria, per cui è stato elaborato un progetto di restauro tipo sul Palazzo Amici Pescetelli;
3. recupero della viabilità storica intorno al borgo;
4. creazione di punti belvedere intorno al borgo;

5. riqualificazione di aree parcheggio esterne al borgo;
6. individuazione di nuove funzioni attrattive per gli edifici sottoutilizzati.

In particolare, gli interventi progettuali proposti nella prima linea di azione per i quattro spazi urbani lungo le mura, prevedono l'impiego di elementi comuni (a livello di illuminazione, pavimentazioni e arredo urbano) al fine di ottenere una coerenza formale e materica tra le diverse aree. Le proposte progettuali però sono concepite non solo al fine di migliorare la qualità degli spazi urbani, ma soprattutto al fine di favorire fruibilità del borgo attraverso il miglioramento dell'accessibilità di aree che, come detto, hanno un ruolo "chiave".

La prima area, costituita da Piazza Mario Dottori, Piazza Garibaldi e Piazza Varrone – tra loro interconnesse – riveste un ruolo significativo non solo dal punto di vista storico, per la presenza della rocca, diventata poi Palazzo Vescovile, ma anche nella memoria più recente degli abitanti di Poggio Mirteto, perché è stata, fino a qualche decennio fa, luogo di mercato e vivace luogo d'incontro (vocazione che conserva ancora oggi, seppur in misura minore, grazie alle attività presenti, tra cui la biblioteca comunale). La seconda area, sull'esterno della cinta muraria nei pressi della Porta di Sopra, e retrostante la Cattedrale di Santa Maria Assunta, è occupata dalle principali aree parcheggio che servono il borgo, organizzate su due livelli diversi. La terza area, Piazza Civitavecchia, ha una collocazione di notevole pregio, risulta infatti il punto più prominente del borgo verso ovest, ossia verso la piana del Tevere, e la sua visibilità risulta per questo elevata da tutto il territorio circostante. Nell'area è presente un parcheggio utilizzato quasi esclusivamente dagli abitanti del borgo, ma, essendo anche un ottimo punto panoramico, ha tutte le potenzialità per divenire un nuovo punto di arrivo al borgo anche per visitatori e turisti. Infine, la quarta area individuata, lungo Via del Lavatoio, è l'unica area verde pubblica interna alla cinta, ad oggi del tutto inutilizzata, ma che offre una vista privilegiata su un tratto della prima cinta muraria e sulla rocca.

Vediamo quindi più nel dettaglio la seconda linea di azione: il restauro del fronte del Palazzo Amici Pescetelli su Via del Forte, concepito come progetto-tipo al fine di individuare interventi che possano fungere da esempio sia per il recupero dei fronti dei manufatti interni al borgo (con le opportune declinazioni), sia per il restauro dei tratti di cinta muraria ancora visibili.

Le principali tipologie di degrado riscontrate sono: umidità discendente; distacco e/o caduta dello strato di tinteggio; distacco e/o caduta dello strato di intonaco; fessurazioni; degrado degli infissi in legno; mancanze nel paramento murario; elementi tecnologici incongrui (collocazione impropria di impianti e altri elementi tecnologici) e interventi incongrui (uso improprio di materiali, superfetazioni e alterazioni morfo-tipologiche). Sono quindi state identificate alcune aree per il prelievo di campioni, su cui andare ad effettuare analisi di tipo chimico-fisico volte all'individuazione delle più opportune tecniche e materiali di intervento, soprattutto per la risarcitura delle lacune nel tinteggio e nell'intonaco (Figura 10).



**Figura 10.** *Il progetto di restauro tipo sul fronte di Palazzo Amici Pescetelli su Via del Forte (elaborazioni grafiche: S. Landi).*

Sono stati proposti poi due ulteriori interventi: gli infissi in materiali incongrui (come l'alluminio anodizzato) dovrebbero essere sostituiti con infissi in legno o misti in alluminio e legno; le superfetazioni aggiunte (come i terrazzi con pensiline e box di varie dimensioni) dovrebbero essere eliminate, lasciando la possibilità di mantenere le porte finestre inserendo opportuni parapetti in ferro e fornendo al tempo stesso soluzioni di modifica delle unità abitative a cui si andasse eventualmente a togliere servizi igienici presenti nei volumi rimossi, per ricavarli all'interno dell'abitazione stessa.

Infine, elemento integrante dei quattro progetti di recupero urbano del primo punto, è il recupero di alcuni percorsi della viabilità storica nel territorio intorno al borgo, contenuto della terza linea di azione. Un primo percorso è costituito da Via di Circonvallazione e Via del Lavatoio, che insieme costituiscono un anello che corre attorno al borgo: il loro recupero infatti permetterebbe la creazione di una vera e propria passeggiata intorno alla cinta fortificata più esterna, che toccherebbe tutte e quattro le aree di recupero suddette. Al fine di migliorarne la sicurezza e la fruibilità sarebbe auspicabile: l'inserimento di nuovo arredo urbano e di un nuovo sistema di illuminazione; il recupero dei tratti di muri di contenimento che vi si affacciano; il recupero della pavimentazione e l'introduzione di una fascia pedonale, da realizzare eventualmente mediante un modesto aumento della larghezza complessiva della strada laddove sia necessario. Tali interventi potrebbero essere applicati anche ai percorsi di Via Coste, Via di Fonte Cupido, Via del Mattatoio e Via Riosole, che, se opportunamente valorizzati, potrebbero costituire vie alternative di arrivo al borgo e passeggiate panoramiche di pregio sia per gli abitanti che per i turisti.

## **2.5. Conclusioni**

In seguito alle analisi condotte sui centri fortificati della Bassa Sabina, sono emerse una serie di criticità relativamente al loro stato di conservazione, legate da una parte ad alterazioni e interventi incongrui realizzati nel tempo, che hanno inciso negativamente non solo sulla singola parte di cinta o di manufatto, ma sulla complessiva qualità

urbana e ambientale del borgo; e, dall'altra, alla carenza di manutenzione ordinaria, che implica in molti casi la necessità di interventi più consistenti.

Le problematiche alla base di questi fenomeni, però, non sempre sono connesse ai singoli centri fortificati, ma sono piuttosto dipendenti dalla gestione del territorio in cui essi si trovano che, come accennato, è soggetto da una parte a forti pressioni di carattere insediativo (soprattutto nei centri più vicini alla piana del Tevere e quindi ai principali nodi infrastrutturali) e dall'altra a processi di graduale spopolamento e conseguente abbandono (soprattutto nei centri più lontani dalla Piana, nella fascia pedemontana).

Per questo, i criteri di intervento per il restauro proposti e le ulteriori linee di azione per la tutela e il recupero individuate, sono ritenuti nel loro insieme necessarie ma non sufficienti. Risulta evidente, infatti, che eventuali interventi di recupero sul singolo centro a poco servirebbero se non vi fosse, alla base, un cambiamento nel modo in cui il territorio della Bassa Sabina viene governato e, ancor prima, concepito, nel suo insieme. I centri storici sabini sono infatti indissolubilmente legati tra loro e al loro territorio sin dalle origini, e l'unico modo in cui ha senso interpretarli è come parti di un sistema, come nodi di una rete ancorata al territorio, le cui diverse componenti si influenzano l'un l'altra.

Per questo, dalla presente ricerca, così come dagli strumenti di pianificazione provinciali e regionali, emerge come solo una valorizzazione del patrimonio architettonico e ambientale concepito nella sua totalità potrebbe innescare un processo di sviluppo virtuoso di questo territorio, che possiede già in sé le potenzialità per attuarlo.

## Bibliografia

Caniggia G., Maffei G.L., *Lettura dell'edilizia di base*, Città di Castello, Alinea Editrice, 2008.

De Minicis E., Guidoni E., *Case e torri medievali. Vol. 1*, Roma, Edizioni Kappa, 1996.

Guattani G.A., *Monumenti Sabini*, Roma, 1830.

Guidoni E., *Storia dell'urbanistica. Il Medioevo. Secoli VI-XII*, Bari, Editori Laterza, 1991.

- Landi S., *Il borgo medievale di Poggio Mirteto in Sabina. Indagini e proposte d'intervento per la tutela e il recupero*, Tesi di Laurea C.dL.S. in Ingegneria Edile-Architettura, Facoltà di Ingegneria, Università di Pisa, A.A. 2011-2012. Relatori: Pietro Ruschi, Roberto Pierini, Carlo Cellamare, Marco Giorgio Bevilacqua.
- Landi S., *Conoscenza, tutela e recupero dei centri storici della Bassa Sabina. Elaborazione di una metodologia attraverso il caso studio di Poggio Mirteto*, in: *La storia del territorio di Poggio Mirteto. Un racconto tra archeologia, architettura, economia, geologia, storia della musica, storia dell'arte, urbanistica*, a cura di P. Armellini, Luogo, Espera Edizioni, 2018, pp. 233-245.
- Leggio T., *Da Cures Sabini all'Abbazia di Farfa*, Passo Corese, 1992.
- Longo C., Albinini P., Abenavoli E., *Centri storici minori nel Lazio. Metodologie d'indagine e proposte d'intervento campione nella Valle dell'Aniene*, Roma, Edizioni Kappa, 1983.
- Lorenzetti R., *Di terra e di pietra. L'architettura rurale nel paesaggio della Provincia di Rieti*, Milano, Anthelios, 2009.
- Lorenzetti R., *La Sabina. Il territorio di carta*, Roma, Editalia, 1994.
- Lucarelli M., *Poggio Mirteto e Chiesa di S. Paolo, Quaderno n° 2*, Poggio Mirteto, anno.
- Nardi E., *Memorie Storiche di Poggio Mirteto*, 1895.
- Palmegiani F., *Rieti e la Regione Sabina*, Roma, 1932.
- Provincia di Rieti, *Piano Territoriale Provinciale Generale*, 2005.
- Regione Lazio, *Oltre la tutela 70 interventi al cuore dei comuni. Recupero dei centri storici del Lazio Programma 2008*, Roma, Palombi editori, 2009.
- Rudofsky B., *Le meraviglie dell'architettura spontanea*, Bari, Editori Laterza, 1979.
- Sitte C., *L'arte di costruire le città. L'urbanistica secondo i suoi fondamenti artistici*, Albairate, Jaca Book, 2007.
- Sperandio F.P., *Sabina sacra e profana. Antica e moderna*, Roma, Zempel, 1790.
- Storchi S. (a cura di), *Centri storici. Proposte per lo sviluppo*, Cremona, ANCSA, 2010.
- Toubert P., *Les structures du Latium medieval. Le Latium méridional et la Sabine du IX<sup>e</sup> à la fin du XII<sup>e</sup> siècle*, Rome, Ecole Française de Rome, 1973.
- Toubert P., *Dalla terra ai castelli. Paesaggio, agricoltura e poteri nell'Italia medievale*, Torino, Einaudi, 1995.
- Trovato G., *Poggio Mirteto. Conoscere un angolo di Sabina*, Poggio Mirteto, Calliope Edizioni, 1998.
- Vico G., *Poggio Mirteto. Città della Sabina*, Poggio Mirteto, 1979.



### 3.

## UNAS NOTAS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y LA EVALUACIÓN DE LAS MURALLAS DE TIERRA COMPACTADA (TAPIAL) EN EL SUR DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

AMPARO GRACIANI GARCÍA, JACINTO CANIVELL

### Sommario

Ante la importancia del patrimonio defensivo construido en tapia en el Sur de la Península Ibérica y las deficiencias que presenta el estado de estas fábricas, se propone un procedimiento metodológico para su caracterización y evaluación, como soporte para diagnosticar su estado de conservación, como apoyo a procesos de intervención y para desarrollar la conservación preventiva.

### Parole chiave

Metodología; riesgo; fortificaciones; conservación preventiva.

### 3.1. Antecedentes. Objeto de estudio

En España la técnica de construcción encofrada en tierra compactada se denomina *tapia*, término que en el Sur se sustituye por “tapial” (que es el encofrado de madera) al aplicar una figura lingüística, la metonimia, por la que – entre otras cuestiones – el contenido se denomina en función del continente.

Si bien esta técnica, que ha llegado hasta nuestros días (Font e Hidalgo, 2011) se empleó históricamente desde época prerromana (Font 2005), fue a partir de la invasión islámica cuando se difundió, aplicándose a la arquitectura doméstica, palaciega y militar. Aunque en la fase califal las construcciones militares de época militar se ejecutaron en sillería (Gurriarán, 2018), la técnica común a partir de las

invasiones de las dinastías africanas – almorávides y almohades – fue el tapial.

El perfeccionamiento técnico experimentado durante la segunda mitad del siglo XII, consiguiente a la invasión almohade (1147-1269), durante cuya ocupación en las principales ciudades del Sur de la Península experimentaron procesos de renovación y ampliación urbana y la construcción de nuevas murallas, como consecuencia del esplendor de la época. Sin duda el recinto urbano de más entidad fue el de la capital, Isbilya (Sevilla), reconquistada en 1248, que en estos años experimentó un verdadero florecimiento económico, demográfico, cultural y artístico (Valor, 2008).

Los almohades fueron pródigos en el empleo de esta técnica constructiva que aplicaron a edificaciones domésticas, palaciegas y especialmente en las militares (Graciani 2009a), recurriendo a esta arquitectura como representación del poder de un estado centralizado (Márquez y Gurriarán 2008).

Fue precisamente en las construcciones militares (Valor 2009) (entre ellas, murallas urbanas, alcazabas y torres de almenara) en las que por el espesor murario los almohades hubieron de poner en práctica las mejoras del encofrado (Graciani 2009b), encaminadas a reforzarlo para que pudiera soportar el incremento de presiones durante el batido y apisonado de la masa, como consecuencia por una parte de que, por las necesidades defensivas, las fábricas precisaban un mayor espesor y, por otra, de que ante la urgencia constructiva y la incorporación de mayores recursos, se incrementaba el número de operarios trabajando simultáneamente dentro del mismo cajón.

Aunque en esencia las murallas urbanas almohades comparten con las alcazabas y con las torres albarranas las mismas características constructivas, por sus diferencias en lo relativo a la integración en la ciudad, salvo casos como los de Sevilla o Jerez de la Frontera, donde los recintos urbanos enlazan con las alcazabas, unos y otros presentan una diferente problemática de conservación e intervención, en lo que se refiere, por ejemplo, a la accesibilidad a la obra,

las circunstancias del acopio de material, y los condicionantes ambientales y turísticos).

Las murallas almohades de Andalucía Occidental deben ser abordadas desde premisas diversas, en función de su integración urbana, sus propias características constructivas y su estado de conservación. De hecho, las murallas de algunas poblaciones son solo en parte de época almohade, precisando en algunos casos de estudios constructivos críticos (Canivell y Graciani 2015) y evidentemente estudios arqueológicos ya que en muchos casos en época bajomedieval cristiana las murallas islámicas fueron reparadas (Muralla de Marchena) o amortizadas, haciendo más complejo – como sucede en el recinto de Córdoba (Córdoba y Márfil 1995) – su datación y estudio. Incluso la adscripción de la muralla de Sevilla es aún discutida, pues algunos autores insisten en la existencia de una fase almorávide, como sucede, por ejemplo en la de Palma del Rio (Sevilla).

Hablamos de murallas de compleja estructura, con una medina cerrando el núcleo de la ciudad medieval, una alcazaba, que es el cerco de menor extensión que cierra el centro del poder político y militar del exterior y de posibles agresiones internas y cercas secundarias, que protegen arrabales, huertos, jardines, y elementos de interés estratégico y general como por ejemplo, los depósitos de agua. Presentan, generalmente un doble recinto perimetral, conformado por una barbacana o antemuro al que sigue la muralla propiamente, de mayor altura. Sus muros son de gran espesor (que superan 2 m, lo que como se indicó vino posibilitado por el perfeccionamiento de los encofrados, por ejemplo, con la sustitución de agujas pasantes por medias agujas y el uso de clavos para anclarlas a la argamasa); por mencionar algunos casos, diremos que los de la Alcazaba de Almería y los de Jerez de la Frontera alcanzan los 3 m. y 2,60 m. respectivamente. Tienen remates almenados, generalmente con merlones de coronación prismática. Los lienzos han sido ejecutados en lo que hoy denominamos tapias simples, es decir, superponiendo cajones de argamasa, sin hiladas de nivelación salvo puntualmente (por ejemplo en Sevilla) incorporando verdugadas ornamentales. En ocasiones no

se aprecian los encuentros de los cajones porque se utilizan encofrados continuos. Los muros se ejecutan sobre cimientos de mampostería o en tapial desde los cimientos. Los lienzos están interrumpidos por torres octogonales y, sobre todo, cuadrangulares. Suelen ser de tapial encadenado, presentando cadenas de ángulo (de sillería o ladrillo). Pueden ser macizas hasta el paseo de ronda donde suele existir una cámara abovedada y sus puertas son de arco de herradura. Las fábricas de tapial suelen presentar una alta dosificación de cal en su composición, alcanzando en algunos casos el 25 % por lo que llegan a ser auténticos hormigones de cal.

En general, estas murallas han experimentado históricamente procesos muy similares: derribos de lienzos, apertura de nuevas puertas y de hornacinas, deterioro y abandono,... Aunque en algunos casos (como el del recinto de Córdoba) los derribos tuvieron lugar en época bajomedieval (en el siglo XIV) para construir las murallas cristianas, la mayor parte fue en el siglo XIX, asociados a los procesos de ampliaciones urbanas que acontecieron a partir de la revolución de 1869 y a la llegada del ferrocarril. En el caso de la muralla de Sevilla, se salvaron siete torreones cuadrados y uno octogonal, además de algunos tramos (en los jardines del Valle y el la Macarena) y el sector de los Reales Alcázares. En el de Córdoba, se destruyeron los tramos de murallas y de las puertas de la ciudad de los lienzos septentrionales y occidental. Un caso muy significativo fue el del recinto de Andújar (Jaén) de cuyo perímetro (en origen de 1470 m) solo se conserva un 5%.

Estas murallas suelen presentar oquedades abiertas en sus fábricas a lo largo de la historia, bien nuevas puertas (en los siglos XVI y XVII para facilitar la entrada de carruajes) o, desde la Edad Media, simples hornacinas para colocar figuras de advocaciones; también se vieron sometidas a un proceso de abandono y de degeneración, favorecido por la formación de basureros y pastizales en los pomerios y en los espacios entre la muralla y la barbacana, llegando estas en ocasiones a desaparecer. Algunos tramos, en ocasiones mayoritarios, quedaron ocultos por el adosamiento de viviendas y establecimientos, como fue

especialmente significativo, por mencionar algún caso, en Jerez de la Frontera (Cádiz). Las torres se adaptaron a nuevos usos. Las rasantes originales suelen estar elevadas; también presentan refuerzos y reparaciones posteriores, en general en forma de parcheados latericios.

Las murallas están protegidas unas desde 1931 (como Monumentos Nacionales) y otras desde 1985 (como BIC, Bien de Interés Cultural). Sin embargo, salvo excepciones, no existen documentos específicos de protección y cuando existen no suelen aplicarse. Por ejemplo, Jerez de la Frontera cuenta con un Plan Director de la Muralla – que en este caso no se ha llevado a cabo – o la de Marchena que con un Plan Especial (Plan especial de Protección del Conjunto Histórico de Marchena: Recinto de la antigua Alcazaba y recinto de la ciudad medieval). Otro importante problema es que no se aplican criterios específicos de intervención si bien el progresivo interés que en España se viene evidenciando desde 2005 por las fábricas históricas de tapia y sus técnicas de restauración, concretado entre otras cuestiones en la celebración de los congresos Restapia desde 2012 y los trabajos un progresivo número de investigadores – entre los que destacan Canivell (2011) y Mileto y Vegas (2015) entre otros investigadores, viene facilitando la implementación de soluciones más acordes y respetuosas con la fábrica original. El Plan de Arquitectura Nacional de Defensiva (2012) del Instituto del Patrimonio Cultural de España abre nuevas perspectivas que auguran intervenciones más acertadas.

### **3.2. Protocolo de caracterización y evaluación**

El gran patrimonio fortificado existente en Andalucía y su mejorable estado de conservación hace necesario un enfoque preciso y adaptado para su caracterización, análisis y diagnóstico. El conjunto de bienes declarados y protegidos es considerable solo teniendo en cuenta las murallas urbanas. Ciudades como Sevilla, Córdoba, Jaén, Granada, Niebla, Jerez de la Frontera, Palma del Río, entre otras muchas, conservan total o parcialmente sus recintos amurallados, muchos de ellos en un estado deficiente de conservación, o bien poco documentados y analizados.

Ante este conjunto patrimonial, se hace necesario una mirada analítica común, considerando las particularidades locales. Por ello, se propone un procedimiento metodológico que sirve como elemento para su caracterización, como soporte para diagnosticar su estado de conservación y como apoyo para su intervención.

Si se considera el estudio de los materiales y técnicas constructivas para la intervención en un bien patrimonial, el procedimiento propuesto corresponde a la primera fase (Figura 1), en la que se caracteriza cualitativa y semi-cuantitativamente los parámetros de la construcción. En la figura 1 se detalla una segunda fase – que no es objeto de esta publicación – que corresponde a la intervención en la que se realiza la caracterización cuantitativa tanto de los materiales existentes como de los que van a ser empleados para la intervención, así como los procedimientos necesarios para un control de obra que garantice la calidad de los resultados.



**Figura 1.** Esquema de las fases para el análisis cualitativo y cuantitativo de una intervención sobre una muralla urbana.

Durante la primera fase, la primera tarea se dedica recabar información sobre bien patrimonial, para documentar los antecedentes histórico-artísticos, administrativos y técnicos. En caso de no disponer

de documentación gráfica, en la tarea 2, se desarrollarán distintas acciones para acceder o generar una representación adecuada para los fines deseados.

A partir de este momento, será necesario realizar una toma de datos más exhaustiva de la construcción para atender a los detalles técnicos existentes en las fábricas. En estas tareas podría ser necesario el apoyo para la inspección de medios auxiliares o pequeñas ayudas de albañilería para la realización de catas o limpieza de la zona de trabajo.

Todos los parámetros que a continuación se van a describir, se recogen durante el trabajo de campo por medio de fichas de toma de datos. Posteriormente la información se vuelca en una base de datos, por la cual se establecen las relaciones entre los parámetros y se obtienen las evaluaciones preliminares de las fábricas. La figura 2 representa la estructura fundamental de la base de datos y su relación con la metodología de evaluación y con el sistema de toma de datos.

El primer bloque de datos corresponde con la información general sobre el objeto de estudio. Se recogen datos sobre la localización, orientación del elemento, el entorno, sobre su datación y en su caso, sobre las intervenciones de restauración a las que ha sido sometido. A este respecto, se detallan solo aspecto básico: año y finalidad de las obras, empresa constructora y dirección técnica y tipos de reparaciones llevadas a cabo.

**Figura 2.** Estructura de la base de datos y su correspondencia con el procedimiento metodológico.



Todas estas propiedades se asocian a un determinado elemento denominado *Unidad Lógica de Análisis*, que es escalable y puede hacerse corresponder desde un tramo completo de lienzo a sectores más precisos, por medio de la división de la edificación en partes. Cada una de ellas tendrá asignada una entrada en la base de datos, a la que se le asociarán los cuatros conjuntos de parámetros: generales, constructivos, lesiones y vulnerabilidades.

### 3.2.1. Caracterización constructiva

Los parámetros de este bloque de información de la base de datos se clasifican según tres aspectos: técnica constructiva, materiales empleados y métrica de las fábricas.

Los campos de la base de datos son específicos de la técnica constructiva del tapial, ya que es la técnica predominante de las fortificaciones estudiadas. No obstante, es posible la adaptación a otras circunstancias. En primer lugar se identifica el sistema constructivo por medio de la cronotipología propuesta por Graciani y Tabales (Graciani y Tabales 2008), que abarca desde las tapias más sencillas – las monolíticas –, hasta otras más elaboradas, como las de fraga, en las que la tapia se combina con refuerzos pétreos o latericios que pueden ser verticales (encadenados) y horizontales (verdugadas). En este tipo de muros es importante registrar la configuración de los mechinales de las agujas y el tipo de cajones, pues se precisan algunos aspectos de proceso de ejecución del muro. Por ejemplo, la aparición de juntas inclinadas o en su defecto de juntas verticales, la existencia de calicostrados o de remates en los mechinales, implican formas de construir diferenciadas, que son a su vez rasgos diferenciadores que deben ser tenidos en cuenta en una intervención patrimonial.

Una fábrica de tapia se puede caracterizar a partir de ciertas dimensiones. Además del propio espesor del muro, el denominado módulo (altura del cajón de tapia) suele ser repetitivo, no solo en una misma fábrica, si no entre tipologías relacionadas cronológicamente (Graciani y Tabales 2008). Aunque es variable, se puede establecer un módulo alto (85-95 cm) y otro bajo (menos de 80 cm), siendo este úl-

timo más frecuente en etapas más tempranas (siglos XI y XII). Cuando aparecen juntas verticales, cuestión poco frecuente, suele ser indicativo de las dimensiones de los encofrados empleados. Otras veces, incluso es posible registrar las mismas marcas de los encofrados, por lo que es posible determinar su largo o el número de tablas de madera que lo conformaba o los clavos a tenor de las marcas de sus cabezas.

En cuanto a las agujas y mechinales, también se establece el registro de la métrica de algunas particularidades. La posición de la aguja es característica, pues ciertas fábricas presentan mechinales casi en la línea de la junta horizontal entre dos hilos de tapia y en otras circunstancias el mechinal aparece tallado en profundidad en la tapia inferior. La sección de la aguja o en su defecto del mechinal es un parámetro característico según la cronología de la tapia. Sin embargo, la separación o el ritmo de la agujas en un hilo, aunque no aclara su correspondencia temporal, sí puede estar relacionado con algunas particularidades de la ejecución y específicamente en el empleo de diferentes tipos de encofrados (corridos o por piezas).

Por último, se caracteriza cualitativamente el tipo de material empleado. Con una inspección ocular se puede advertir por ejemplo el empleo de cal a partir de la aparición de nódulos, el tamaño del agregado – grueso o más fino – o su tipo predominante – rodado o machaqueo –, o incluso el empleo de materiales de reutilizados como el ladrillo cerámico. Todas estas percepciones, lógicamente serán completadas en etapas posteriores mediante una caracterización cuantitativa en laboratorio, donde además se puede aportar valores físico-mecánicos (resistencia a compresión, densidad o porosidad, granulometría) o químicos.

### **3.2.2. Caracterización de las lesiones**

En este bloque se identifican todos los procesos patológicos del elemento por medio de las lesiones que aparecen y de sus posibles causas. Se trata de un análisis preliminar basado solo en observaciones técnicas cualitativas, por lo que en fases posteriores con datos más certeros, sería necesaria la reevaluación de los elementos.

Las lesiones se dividen en estructurales, materiales o de superficie. La gravedad de cada lesión se cualifica en grave, moderada o leve según su desarrollo y extensión en el elemento. Dependiendo del número de lesiones y su gravedad, a cada elemento se otorga un estado general conservación.

Las lesiones estructurales son aquellas que pueden afectan directamente al desempeño mecánico del muro sin tener en cuenta la calidad del material. Por ejemplo, el tipo y situación de grietas o fisuras, o la aparición de desplomes o pandeos. Las lesiones materiales pueden también alterar el comportamiento estructural del muro, pero se analizan por separado ya sirven para cualificar la calidad del material empleado y su estado de degradación. Fundamentalmente, las lesiones que se registran son erosiones, pérdidas de masa o la descohesión del material. Aunque están relacionadas entre sí, las distinguimos por cuanto cada una tendría tratamientos correctores diferenciados. Las erosiones suelen estar ligadas a pérdidas de material por la acción de agentes externos (humedad, lluvia, viento,...), por lo que estas construcciones tan expuestas suelen ver afectadas amplias superficies por la acción de lavado. Las pérdidas de masa, siendo erosiones, implican una mayor pérdida de material, que puede afectar a una sección considerable del muro; además puede estar asociado a una baja calidad o alteración del material. En este sentido, la descohesión es un factor importante en la degradación, ya sea originado por la baja calidad de ejecución de la tapia o por una degradación posterior. Así, se registran desde materiales duros y cohesionados a otros arenizados. Finalmente, las lesiones de superficie engloban aquellas alteraciones que afectan a la capa más externa y suelen tener baja incidencia en la degradación material y menos en la estabilidad estructural. Nos referimos por ejemplo a la aparición de suciedad, costras, eflorescencias u otras alteraciones en los revestimientos de la tapia.

### 3.2.3. Caracterización del riesgo

Organizaciones como Icomos (ISCARSAH-ICOMOS 2000) enfatizan la necesidad de evaluar el riesgo y adoptar medidas preventivas. En este sentido, analizar los factores de riesgo en este tipo de edificaciones tan expuestas se plantea como un procedimiento de apoyo al técnico en la toma de decisiones. Este procedimiento posibilita la jerarquización del riesgo y la vulnerabilidad ante determinados escenarios.

El sistema de evaluación se basa en el análisis de los factores de riesgo de una construcción para una vulnerabilidad específica. Para emplear valores cuantitativos que permitan establecer comparaciones, operaciones o jerarquizaciones, se emplean niveles, que se organizan como progresiones numéricas divididas en escalones o etapas. Una vez establecida la vulnerabilidad que va a ser evaluada, se establecen los factores de riesgo asociados, que son condiciones externas o de la construcción. Asignando un valor numérico a cada factor se obtiene el nivel de deficiencia (ND), pero para evaluar todos conjuntamente es necesario establecer diferentes pesos a cada uno, lo cual se obtiene mediante un análisis de criticidad. Para poder evaluar la probabilidad de ocurrencia de lesiones se requiere tener en cuenta la exposición del elemento ante el tipo de vulnerabilidad considerado y la deficiencia actual del elemento. El primer término se establece mediante el nivel de exposición (NE); el segundo será el ND total. Para evaluar la exposición se estima la frecuencia de aparición y la severidad de las posibles lesiones. Al cruzar en una matriz de riesgo prediseñada ND total y NE se determina el nivel de probabilidad (NP). Para valorar el riesgo adecuadamente es importante considerar el alcance de las consecuencias (nivel de consecuencias, NC) en caso de lesión, tanto en aspectos económicos, en pérdidas de funcionalidad o en afecciones a los valores patrimoniales. Por último, al emplear otra matriz para NC y NP, se establece el nivel de riesgo de ese elemento (NR). Mediante el ND o la caracterización de lesiones se puede establecer la necesidad de emprender medidas correctoras. Al introducir el NR se permite valorar la urgencia

para establecer medidas preventivas. En este sentido, cuanto mayor sea NR para un elemento, antes deberían establecerse esas medidas, pues la probabilidad de ocurrencia es considerable y las consecuencias de los daños no son despreciables.

### 3.3. Conclusiones

La implementación en diversas construcciones defensivas de Andalucía Occidental de este protocolo de caracterización y evaluación de fábricas históricas de tapial desarrollado en el marco del Proyecto BIA 2004-1092, ha permitido generar una información que ha facilitado un primer acercamiento a las características constructivas de este tipo de fábricas (Canivell y Graciani 2015) y, al tiempo, ha sido puesta al servicio de procesos de intervención monumental (por ejemplo, en el Alcázar del rey Don Pedro de Carmona, Sevilla). Actualmente su implementación está siendo realizada en la Muralla de Sevilla, complementada mediante el empleo de sistemas de información geográfica. El desarrollo de estas herramientas por parte de otros grupos de investigación y profesionales de la arquitectura es necesaria para lograr desarrollar y desplegar una conservación preventiva y planes de mantenimiento más eficaces para el patrimonio construido.

### Referencias

- Canivell García de Paredes J., *Metodología de diagnóstico y caracterización de fábricas históricas de tapia*, Tesis Doctoral (dirig. por A. Graciani García), Universidad de Sevilla, 2011.
- Canivell García de Paredes J., Graciani García A., *Caracterización constructiva de las fábricas de tapia en las fortificaciones almohades del antiguo Reino de Sevilla*, en «Arqueología de la Arquitectura», 12, 2015, CSIC, pp. e025.
- Córdoba Lallave R., Marfil Ruiz P., *Aportaciones al estudio de las murallas medievales de Córdoba. Estructura y técnicas de construcción en el sector Ronda del Marrubial*, en «Meridies: Revista de historia medieval», 2, 1995, pp. 145-178.

- Font Arellano J., *De Cancho Roano a la Olmeda: mil años de construcción con tierra en la España preislámica*, *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Cádiz, 27-29 enero de 2005, vol. 1, pp. 389-394.
- Font Arellano J., Hidalgo, P., *La tapia en España. Técnicas actuales y ejemplos*, en «*Informes de la Construcción*», 63(523), 2011, pp. 21-34.
- Graciani García A., *La técnica del tapial en Andalucía Occidental*, en *Construir en al-Andalus* (Monografías del Conjunto Monumental de la Alcazaba de Almería, núm. 2), coord. por Ángela Suárez Márquez, 2009a, pp. 111-140.
- Graciani García A., *Improntas y oquedades en fábricas históricas de tapial. Indicios constructivos*, *Actas del VI Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (Valencia, 21-24 octubre 2008, coord. por Santiago Huerta), vol. 1, Madrid, 2009b, pp. 683-692.
- Graciani García A., Tabales Rodríguez M.Á., *El tapial en el área sevillana. Análisis cronotipo-lógico estructural*, en «*Revista Arqueología de la Arquitectura*», 5, 2008, pp. 135-158.
- Gurriarán Daza P., *La arquitectura del poder en la frontera sur de Al-Andalus durante el califato de Córdoba*, Tesis doctoral inédita (dir. por M.Á. Tabales Rodríguez), Universidad de Sevilla, 2018.
- ISCARSAH-ICOMOS, *Declaration of Assasi*, vol. *Declaratio. Assasi: International Council on Monuments and Sites*, <http://iscarsah.icomos.org/content/declarations/2000.02.28/Declaration-of-Assasi.doc.>, 2000.
- Márquez Bueno S., Gurriarán Daza P., *Recursos Formales y Constructivos En La Arquitectura Militar Almohade de Al-Andalus*, en «*Arqueología de la Arquitectura*», 5, 2008, pp. 115-134.
- Mileto C., Vegas, F., *La restauración de tapia en la Península Ibérica. Criterios, técnicas, resultados y perspectivas*, Lisboa / Valencia, Argumentum y TC Editores, 2014.
- Valor Piechotta M., *Algunos ejemplos de construcciones defensivas almohades en la provincia de Sevilla*, en *Los almohades, su patrimonio arquitectónico y arqueológico en el sur de al-Andalus*, coord. por José Ramírez del Río, Magdalena Valor Piechotta y José Luis Villar Iglesias, Sevilla, 2004, pp. 145-179.
- Valor Piechotta M., *Sevilla almohade: fragmentación política y esplendor cultural*, Málaga, Editorial Sarriá, 2008.
- Valor Piechotta M., *La arquitectura defensiva desde 1147 a 1300 algunos ejemplos de Andalucía Occidental. En El castillo medieval en tiempos de Alfonso X el Sabio: [conferencias...]* / coord. por Angel Luis Molina Molina y Jorge Alejandro Eiroa Rodríguez, Murcia, 2009, pp. 191-225.



## FATTORI DI RISCHIO





## **4.**

# **VALUTAZIONE DELLO STATO DI SICUREZZA DELLE MURA URBANE**

ANNA DE FALCO

### **Sommario**

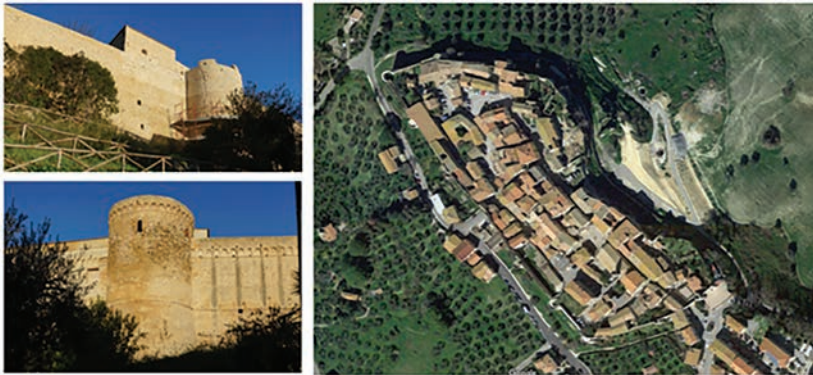
La valutazione dello stato di salute delle mura urbane è compito particolarmente complesso, sia per le numerose incognite legate alla conoscenza del materiale e della morfologia interna, sia per il valore storico-artistico di tali strutture, che ostacola, di fatto, l'esecuzione di indagini distruttive. Tuttavia scarsa attenzione è troppo spesso riservata ai problemi strutturali delle mura urbane che, alla luce di recenti eventi di crollo, mostrano la loro fragilità, a dispetto dell'ostentata resistenza e stabilità. A supporto di tale affermazione, si presentano alcuni crolli che si sono verificati recentemente in Toscana, in occasione di eventi meteorici di elevata intensità. Si tratta delle mura di Magliano in Toscana (GR), che hanno subito due crolli a distanza di due anni, delle mura di Pistoia e di quelle di Cana di Roccalbegna (GR), che hanno subito danneggiamenti rilevanti, mettendo anche in pericolo le vite umane. Questi casi offrono una lezione importante, in vista della valutazione della sicurezza di queste strutture e della loro conservazione.

### **Parole chiave**

Mura urbane; crolli; tessitura muraria.

## 4.1. Le mura di Magliano in Toscana (GR)

Le fortificazioni di Magliano presentano una stratigrafia costruttiva complessa che si estende dal XIV secolo alla fine del XVI secolo. A partire dalla metà del XVII secolo tali fortificazioni non furono più utilizzate a scopo militare e la loro manutenzione fu abbandonata, favorendo l'addossamento di numerosi edifici che ne utilizzarono la struttura dal lato interno (Figura 1).



**Figura 1.** Le mura di Magliano in Toscana. Viste dei torrioni e vista dall'alto con l'indicazione delle porzioni crollate.

A seguito di eventi piovosi intensi, due crolli, avvenuti dal 2012 al 2014, sono stati oggetto di procedimenti giudiziari.

### 4.1.1 Il primo crollo

Il Torrione, oggetto del crollo del 13 novembre 2012, avvenuto a seguito di un evento meteorico particolarmente intenso, ha forma circolare, con caratteristiche costruttive particolari, sia per le sue dimensioni (quasi 20 m di altezza e circa 9 m di larghezza), sia per la posizione angolare, sia per il maggiore sviluppo in altezza rispetto alle altre torri difensive di Magliano. Nella parte inferiore è realizzato con un paramento in muratura di pietrame, di pezzatura medio piccola, a fodera di un affioramento roccioso che ne ha costituito il basamento per circa metà altezza (più o meno corrispondente a quella dell'alta scarpa). La parte superiore del Torrione è invece realizzata in muratura piena di grande spessore, con un terrapieno all'interno (Figura 2).

Al momento del crollo, si erano appena conclusi i lavori di consolidamento che avevano provveduto a richiudere le ampie e numerose fessure alla base e a ristilare i giunti di malta, profondamente degradati (Figura 3).

**Figura 2.** Il primo crollo delle mura di Magliano in Toscana. Il Torrione prima del consolidamento (sinistra) e dopo il crollo (destra).



**Figura 3.** Il primo crollo delle mura di Magliano in Toscana. Quadro fessurativo del Torrione prima del consolidamento (sinistra), il Torrione dopo il consolidamento (centro) e il crollo avvenuto nel 2012 (destra).



**Figura 4.** Il primo crollo delle mura di Magliano in Toscana. Morfologia interna resa evidente dal crollo.

Dall'esame diretto dello stato di fatto determinato dal crollo, si è potuto verificare la consistenza della parte interna della torre retrostante alla muratura. Essa, in corrispondenza della scarpa, è costituita da calcarenite molto fratturata, mista a terra – in analogia con quanto già rilevato dalle analisi del sedimento roccioso affiorante ai lati del Torrione e, nella parte superiore, da un terrapieno artificiale, corrispondente all'incirca alla parte a sviluppo semicilindrico della torre (Figura 4). Tale evidenza, peraltro diffusa nelle tecniche costruttive di architetture militari di età medioevale, non è di per sé tale da far presupporre un evento di crollo. Appare invece verosimile lo sfaldamento dell'affioramento roccioso che ha progressivamente determinato un sovraccarico del paramento lapideo di rivestimento in corrispondenza della scarpa – così come dimostrava il quadro fessurativo rap-

presentato nelle tavole di progetto e nella documentazione fotografica ad esso allegata – causandone il cedimento. Infatti, le condizioni di degrado della struttura muraria – ove erano presenti numerose lesioni ad andamento verticale, ben definite e di notevole ampiezza – mostrava una situazione statica indubbiamente preoccupante. Si può osservare al riguardo che il quadro fessurativo – di cui peraltro non era possibile accertare la pericolosità in termini cronologici – esisteva sicuramente da tempo ed era quindi ben noto.

Le cause si possono ravvisare in:

- Scarsa qualità dei leganti, sia per composizione originaria, sia per il degrado, verosimilmente causato dalle costanti infiltrazioni di acque meteoriche.
- Cattiva qualità costruttiva della fodera esterna del Torrione, realizzata con materiale lapideo differenziato.
- Cedimento della roccia retrostante che ha determinato il sovraccarico della fodera.
- Penetrazione dell'acqua all'interfaccia a seguito di eventi meteorici estremi, con espulsione del paramento a causa della spinta idrostatica per sovraccarico degli ombrinali.

Per il suo relativamente modesto spessore, per la irregolare tessitura muraria, per la scadente composizione della malta e per il naturale degrado subito dai materiali e dai leganti, la fodera muraria infatti non è stata in grado di opporsi alle sollecitazioni in direzione ortogonale al suo piano, determinate dall'accumulo di acqua nell'interfaccia tra roccia e fodera. Questa può aver raggiunto livelli particolarmente critici, probabilmente per sovraccarico degli ombrinali.

Proprio l'effetto di massicce e prolungate infiltrazioni può dunque essere individuato come causa scatenante il crollo. La penetrazione di eccezionali quantità di acqua piovana e il suo accumulo, nell'impossibilità di trovare una via di uscita, può aver compromesso la stabilità della fodera muraria della scarpa, con il conseguente crollo della parte alta del Torrione.

Tali considerazioni sono possibili *ex post*, è infatti da sottolineare che il quadro di pericolosità intrinseca del Torrione si è potuto palesare solo con il suo crollo, peraltro avvenuto a seguito di un evento eccezionale: la situazione geomorfologica retrostante, decisamente disomogenea e degradata, era difatti assai difficile da accertare con gli usuali metodi di analisi che rispettano l'integrità storico-costruttiva del testo architettonico. A ciò si aggiunge il fatto che la plurisecolare stabilità del manufatto – soprattutto in quanto opera di carattere militare – è in genere considerata garanzia di buona costruzione: in definitiva tutto ciò rendeva pressoché impossibile una previsione *ex ante*, del crollo stesso. Ci chiediamo quindi se un adeguato programma di indagini avrebbe potuto sollevare l'allarme e indurre ad adottare misure preventive. La situazione fessurativa originaria avrebbe potuto far pensare a un sovraccarico della fodera, ma l'intervento era volto proprio a migliorarne la stabilità, anche se con provvedimenti poco incisivi. Inoltre, altri sondaggi non distruttivi, come carotaggi e endoscopie, avrebbero mostrato la presenza della roccia retrostante, di cui non sarebbe stato comunque possibile, per motivi di conservazione, osservare lo stato di degrado e di fratturazione. Le analisi, troppo puntuali e sporadiche, non avrebbero quindi fornito le motivazioni sufficienti per un intervento di consolidamento più invasivo, per quanto anche più efficace.

Il fenomeno di infiltrazione discendente è stato favorito dall'assenza di pavimentazioni impermeabili in sommità e dalla mancanza di elementi costruttivi che ostacolassero la penetrazione dell'acqua nel corpo del manufatto. Si rileva, tuttavia, che un'eventuale opera di pavimentazione impermeabilizzante – necessariamente estesa ad ampia parte del giardino retrostante al Torrione e provvista di un idoneo sistema di regimazione delle acque – sarebbe andato ad alterare in modo consistente uno stato di fatto ormai storicizzato. Tale intervento sarebbe potuto essere giustificato solo in rapporto a un evento eccezionale, di fatto imprevedibile: una circostanza che non avrebbe potuto certo legittimare l'imposizione di un simile intervento ai proprietari dell'area in oggetto.

#### 4.1.2. Il secondo crollo

Solo due anni dopo, il 15 dicembre 2014, avviene un secondo crollo, stavolta nella porzione sud-ovest, a seguito di un nuovo evento piovoso di notevole intensità e durata (Figura 5). Il tratto crollato presenta un fronte di altezza di circa 8 m, che si estende in sommità per una lunghezza di 17.2 metri. Ciò è avvenuto nonostante le avvisaglie del luglio precedente, quando quel tratto di mura aveva manifestato segnali di allarme con fessurazioni e deformazioni. Al tempo, il Comune aveva tempestivamente individuato una procedura di progettazione avvalendosi dei finanziamenti ottenuti per la ricostruzione del Torrione precedentemente crollato e dirottandoli su questa porzione. Ma ugualmente non si è fatto in tempo a salvare la struttura: a solo un mese dalla consegna dei lavori alla ditta esecutrice, interviene il crollo, i cui effetti fortunatamente sono stati mitigati dalla preventiva messa in sicurezza della strada.

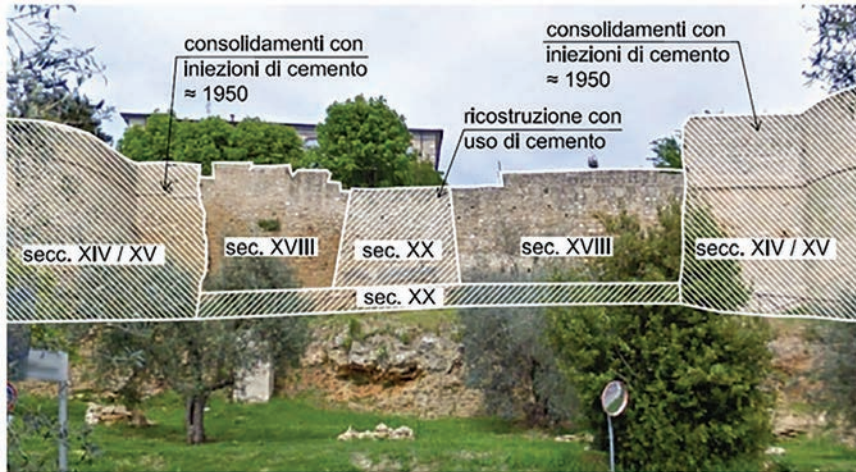


**Figura 5.** Il secondo crollo delle mura di Magliano in Toscana. In alto, il crollo visto da sud ovest, in basso i dettagli del crollo.



L'analisi del dissesto anche questa volta può essere condotto attraverso l'esame delle tessiture murarie superstiti e di alcune foto risalenti alla prima metà del secolo scorso. La presenza di una porzione di muratura di pietre con malta cementizia testimonia che la zona era già stata parzialmente ricostruita in epoca moderna. Dai documenti si evince che prima degli anni '50 è evidente una porzione triangolare mancante sulla sommità della zona centrale dell'area crollata e, successivamente, è documentato un crollo, cui ha fatto seguito la ricostruzione alla fine degli anni '50 con una muratura realizzata con malta cementizia poggiate su un cordolo di base in calcestruzzo armato. Osservando l'abitato soprastante le mura, si comprende l'intrinseca vulnerabilità di quest'area: due strade carrabili, oggi asfaltate, conducono dall'interno del paese verso il tratto crollato, conflueno, in discesa, proprio alle sue spalle come un canale di ruscellamento delle acque piovane superficiali che si attiva in occasione di eventi meteorici. Questo effetto è solo in parte mitigato da una griglia trasversale posta a monte della confluenza e da due piccole caditoie, ubicate ai due ingressi della piazzetta e la zona di ristagno si viene a formare proprio a ridosso delle mura, in corrispondenza del crollo.

In sintesi, le sequenze ricostruttive documentabili sono illustrate in Figura 6. Nel XVIII secolo è documentata la ricostruzione di una zona di ampiezza sostanzialmente analoga a quella attualmente crollata, nel XX secolo, anni '50, è avvenuta la ricostruzione di un'area di ampiezza minore rispetto a quella attualmente crollata, raccordata sulla base da un cordolo in calcestruzzo armato e con una lieve scarpata in contropendenza, e sono state effettuate iniezioni di cemento. Si comprende quindi che la zona in oggetto è patologicamente esposta a crolli e ciò fa pensare a cause effettivamente mai rimosse. Tale situazione è legata alla stessa formazione del tessuto abitativo del borgo medievale (Figura 7).



**Figura 6.** Il secondo crollo delle mura di Magliano in Toscana. Sequenze ricostruttive documentabili.



**Figura 7.** Il secondo crollo delle mura di Magliano in Toscana. La piazzetta soprastante il muro (sinistra), il crollo sottostante (destra).

#### 4.2. Le mura di Cana di Roccalbegna (GR)

Nella notte tra il 5-6 ottobre 2013, a seguito di un evento piovoso di straordinaria intensità, crolla un tratto di mura di lunghezza 12.6 m, altezza media 4.5 m e spessore di circa 0.5 m, sormontato da una piazzetta pavimentata. La frana incombe su un fabbricato, che fortunatamente è stato interessato solo dalle macerie minute, e sulla strada sottostante, dove un'auto è andata distrutta (Figura 8). Le mura urbane di Cana di Roccalbegna (GR) risalgono probabilmente al '400; la struttura di sostegno del pendio mostra un sistema di fasi costruttive, ovvero la parte sommitale di cui fa parte la zona crollata, un muro sottostante che attualmente è interrotto a pochi metri dalla verticale

**Figura 8.** Il crollo delle mura di Cana di Roccalbegna. Il crollo visto dal basso (in alto), vista dalla piazzetta soprastante (in basso a sinistra), dettaglio visto dal basso (in basso a destra).



È importante osservare che il tracciato delle mura sommitali presenta un tratto originale medioevale nella zona a nord, cui si innesta una porzione di incerta datazione, non più complanare a quest'ultimo e con caratteristiche costruttive e materiche decisamente diverse: il crollo ha interessato proprio quest'ultima, che, da un esame visivo, mostra una fattura decisamente peggiore.

A testimonianza di ciò, dall'immagine prima del crollo (Figura 9) è possibile constatare la notevole disomogeneità e le numerose fasi di riparazione che potrebbero risalire a periodi otto-novecenteschi; si osserva infatti la presenza di "toppe" in laterizio sul piede della scarpa del muro, stuccature varie e inserti di pietre con tessitura variegata.



**Figura 9.** *Il crollo delle mura di Cana di Roccalbegna. Il tratto di mura crollato visto dal basso prima del dissesto (foto tratta da Google street view).*

Emerge in sintesi una situazione frammentata, interessata da ripetuti crolli passati e priva di una continuità strutturale ed esecutiva. Il crollo non ha dunque interessato la parte medioevale delle mura, ma una porzione ricostruita in epoca più recente, frutto di un rimaneggiamento di scadente qualità. Dalla stessa immagine si constata la presenza di vegetazione piuttosto rigogliosa, concentrata ad una certa quota, il che fa presumere la continua presenza di acqua nella zona retrostante il muro.

Non è inessenziale osservare che situazioni di crolli analoghi si sono presentate in passato in altri tratti, come il 14 dicembre 1986, quando si creò una falla dal diametro di 1 m, con distacco di pietre e il muro fu sostituito da un'opera moderna con basamento in calcestruzzo ed opportuni fori di drenaggio. In sintesi gran parte del sistema fortificato del borgo di Cana presenta diffuse situazioni di precarietà statica, per motivi sia costruttivi che naturali, tenuto conto delle modeste proprietà meccaniche del terreno retrostante.

Le ragioni del crollo sono da identificare nelle filtrazioni idriche al di sotto del piano pavimentato, che potrebbero essere giunte da zone diverse. Non si può escludere che anche la canaletta di raccolta dell'acqua piovana, posta nel centro della piazzetta a compluvio delle acque piovane sul manto stradale, possa essere stata interessata da cospicue perdite. L'inusitata violenza del temporale della notte tra il 5

e il 6 ottobre può aver invaso la piazzetta soprastante e causato la definitiva rottura dei soprastanti impianti di smaltimento, già in precarie condizioni, determinando l'ingresso dell'acqua nella zona retrostante il muro che, infatti, dopo il crollo appare svuotata. La pressione trasversale ha così prodotto il ribaltamento delle mura, con presumibile rottura per flessione.

### **4.3. Le mura di Pistoia**

Le mura si estendono per un tracciato di oltre tre chilometri attorno al centro storico. A tratti interrotte o modificate nei secoli, presentano una qualità muraria spesso mediocre che le rendono particolarmente vulnerabili. Il 19 settembre 2011 un tratto di circa 25 metri di mura medievali crolla rovinosamente su un complesso di serre, fortunatamente senza portare conseguenze per le persone (Figura 10). Anche questa volta sono le intense piogge a costituirne l'innescò. La porzione di cortina interessata appartiene alla terza cerchia di mura. Essa fu iniziata subito dopo la demolizione della seconda cerchia, a seguito dell'assedio fiorentino e lucchese del 1306. La sua realizzazione durò molto a lungo e, pur con diverse modifiche e aggiunte, rimase in uso anche durante la stagione medicea. Il lungo periodo di edificazione certamente influì sulle modalità costruttive e sulla qualità della muratura.

La tecnica costruttiva dell'ultima cerchia non si discostò molto da quella tradizionalmente adottata in altre città toscane (Prato, Arezzo) che si caratterizza per la presenza nei paramenti esterni di grandi quantità di elementi di fiume, provenienti dai non lontani torrenti appenninici, e un nucleo interno con materiale lapideo grossolano e sommariamente disposto. Inoltre, a causa sia del lungo periodo di costruzione, sia di eventi bellici e di crolli, sia di restauri e rifacimenti eseguiti nel corso dei secoli, le mura oggi presentano notevoli aspetti di disomogeneità e di discontinuità. Come già osservato, infiltrazioni, agenti atmosferici e rifacimenti hanno poi accelerato il degrado, in particolare delle malte, talora realizzate con calce di mediocre qualità. In corrispondenza del tratto crollato, le mura pre-

sentano uno spessore di 1.6 m circa, altezza circa 11 m a valle e 7 m a monte. Il crollo ha riguardato le adiacenze di una spianata limitata dal torrente Brana, caratterizzata da un pronunciato dislivello tra la parte a monte (viale Arcadia) e quella a valle (via dei Campisanti). Il tratto, come altri nella zona, era inoltre caratterizzato da un certo fuori piombo e da un intervento strutturale, avvenuto nei decenni passati, tramite un elemento sommitale in calcestruzzo armato: l'intenzione del progettista di collegare il vertice delle mura e proteggerle dalle infiltrazioni idriche con il manufatto in calcestruzzo armato si è mostrata infruttuosa.

Le presumibili cause del collasso sono solo parzialmente percepibili da un semplice esame visivo delle mura e della porzione crollata (Figura 11). Si riconosce infatti la mediocre qualità muraria: pietre calcaree, direttamente provenienti dal letto del vicino corso d'acqua e una sezione trasversale costituita da due paramenti esterni in pietra e un nucleo interno solo parzialmente cementato e privo di diatoni. Tale considerazione induce a considerare a rischio qualunque porzione della struttura.



**Figura 10.** *Il crollo delle mura di Pistoia. Il tratto di mura crollato visto dal lato delle serre.*



**Figura 11.** *Il crollo delle mura di Pistoia. Dettagli: da sinistra, l'estremità sinistra del crollo con le tracce della soletta di calcestruzzo armato, l'estremità destra del crollo con la porzione di muro inglobata, le macerie al piede del crollo.*

Ma il crollo, repentinamente avvenuto nell'autunno del 2011, ha anche altre spiegazioni. Le propaggini della porzione crollata, così come il lembo di mura interno rimasto in piedi, evidenziavano un visibile fuori piombo; inoltre sulle sue estremità si intravede un elemento murario a forma di pilastro, forse una antica e diversa struttura; infine anche la stessa tessitura muraria, osservata nel dettaglio, mostra qualche singolarità rispetto a quella ricorrente nelle altre parti di cinta urbana. Tutto fa pensare al riproporsi di un antico crollo, oggetto di un evento di ricostruzione rivelatosi non particolarmente stabile. La presenza sulla sommità del tratto crollato di una trave cordolo incalcestruzzo armato, con ogni probabilità aggiunta nel secondo dopoguerra, fa pensare a un tentativo di mitigare l'infiltrazione meteorica dall'alto nel corpo murario.

#### **4.4. Conclusioni**

Le mura urbane costituiscono una buona parte del nostro patrimonio storico-artistico, ma spesso troppo poca attenzione è dedicata alla loro sicurezza. Ciò è sintomo di un problema culturale: si attribuisce fiducia alle costruzioni esistenti per il solo fatto di essere state lungamente collaudate dal tempo. E proprio le fortificazioni, le mura cittadine, con il loro aspetto solido e rassicurante, sempre più spesso subiscono dissesti che mettono a rischio sia la loro conservazione, sia le persone, e per questo sono riportate qui ad esempio. La principale causa che ne minaccia la salute è costituita dalla mancanza di regimazione delle acque, insieme alla scarsa qualità muraria originale, all'intervento del degrado, ai rimaneggiamenti intervenuti nel tempo a seguito di crolli o di modifiche funzionali, alla vegetazione infestante, al terreno poco stabile. La sorveglianza in questo contesto riveste indubbiamente un ruolo di primaria importanza per attuare le necessarie misure di prevenzione.

In questo studio, attraverso alcuni esempi, si mostra quanto sia difficile la previsione dell'evento di crollo, le cui cause talvolta non sono individuabili neppure a dissesto avvenuto. Si comprende che, nonostante i raffinati metodi di indagine che al giorno d'oggi la tec-

nica ci mette a disposizione, la valutazione dello stato di salute di queste strutture non può attuarsi soltanto sulla base di metodi diretti strumentali. È infatti necessario il ricorso all'esperienza dei passati dissesti, alla conoscenza della storia della costruzione, delle tecniche costruttive impiegate, prendendo spunto dai casi avvenuti e facendo tesoro del loro insegnamento. La consapevolezza della consistenza attuale di queste strutture, della loro storia costruttiva e delle modifiche intervenute nel tempo costituisce il principale strumento di prevenzione; l'osservazione, il monitoraggio del quadro fessurativo e deformativo ne costituiscono il naturale completamento.

A prescindere dalla conoscenza del grado di sicurezza della struttura, peraltro sostanzialmente ineffabile, sarebbe auspicabile un'opera estensiva di controllo dei percorsi delle acque, di asportazione della vegetazione infestante e di continua osservazione critica, con messa in sicurezza delle zone in cui si ritiene che la struttura sia più vulnerabile, prima che si verifichi il disastro.

## Riferimenti bibliografici

- Andreini M., De Falco A., Giresini L., Sassu M., *Collapse of the historic city walls of Pistoia (Italy): causes and possible interventions*, in *Advances in Civil Structures - Applied Mechanics And Materials*, vol. 352, pp. 1389-1392, Trans Tech Publication, 2013.
- Andreini M., De Falco A., Giresini L., Sassu M., *Mechanical characterization of masonry walls with chaotic texture: procedures and results of in-situ tests*, in «International Journal of Architectural Heritage», 8, 2013, pp. 1-32.
- Andreini M., De Falco A., Giresini L., Sassu M., *Recenti eventi di crollo in mura storiche urbane. In Ingegneria Forense, Crolli, Affidabilità Strutturale e Consolidamento*, Atti del Convegno IF CRASC '15 - 14/16 maggio 2015 Roma, Napoli, Ed. Doppiavoce, 2015, pp. 239-250.
- De Falco A., Sassu M., *Recenti crolli di mura urbane monumentali: un problema culturale*, Atti del convegno Safe Monuments, Firenze, 21 marzo 2014 "Safe Monuments 2014. Tra conservazione e sicurezza di edifici monumentali e del costruito storico", vol. 1, Ed. Collegio Ing. della Toscana, 2014, pp. 237-248.
- Sassu M., Andreini M., Casapulla C., De Falco A., *Archaeological consolidation of UNESCO masonry structures in Oman: the Sumhuram Citadel of Khor Rori and the Al Balid Fortress*, in «International Journal of Architectural Heritage», 7, 2012, pp. 339-374.

## 5. CONTROL OF BIODETERIORATION IN URBAN WALLS

FABRIZIO CINELLI

### **Sommario**

The biodegradation is a natural action carried out by active organisms, and this is not only unavoidable, but it represents a fundamental process of every ecosystem. When this process is acting on «valuable» objects, is named as Biodeterioration and it is particularly unfavourable when the object belongs to the Cultural Heritage field. Climatic factors (temperature, humidity, rain, sun exposure, and air pollutants) can establish favourable conditions for the development of several organisms on the surfaces, inducing first of all aesthetic damages (vegetative structures, coloured patches or patinas and crusts). Different approaches have been adopted to isolate, identify and quantify such wide group of organisms, and several methodologies and products have been used to eliminate and prevent such biological settlements. Structures, like the urban walls, placed in the open are more susceptible to attack by these organisms, pollution and vandalism. A multidisciplinary operation needs to ensure the longest possible recovery work. As part of this operation, the control of biodeteriogens and their negative effects on the walls is a complex problem of which the agronomic question is only one of the important components. The exact knowledge of the resistance of a monumental object is crucial for a suitable schedule maintenance. Taking into consideration that the process can never be stopped but only slowed down to a minimum with balanced prevention and intervention actions.

**Parole chiave**

Biodegradation; biocide; stone monuments; conservation strategies.

**5.1. Introduction**

Biodeteriogens are those living beings belonging to several biological kingdoms whose activity causes a slow, constant, progressive and unwanted chemical-physical alteration of the «valuable» objects.

The biological development on stone materials is linked to the strategy of conquering new growth habitats and not so much to a real use of the nutritional content.

The ecological succession that triggers in the complex phenomenon of biodeterioration follows this trend: the pioneers of colonization are bacteria and fungi (heterotrophic microflora), algae, lichens and mosses (microflora and non-vascular autotrophic macroflora) and then the herbaceous vascular macroflora, shrubby, arboreal and various animals (micro- and macrofauna) among which arthropods, birds and others.

Chemoautotrophic bacteria of the sulphur and nitrogen cycle of the soil (*Thiobacillus* spp., *Nitrosomonas* spp., *Nitrosococcus* spp.) are pioneers, i.e. first colonizers, of stone surfaces. They are aggressive due to the strong organic acids that are able to secrete and which cause corrosive phenomena of the substrate with formation of salts and various reaction products.

Photoautotrophic bacteria, such as Cyanobacteria (*Anabaena torulosa*, *A. variabilis*, *Aphanothece caldariorum*, *Calothrix parietina*, *Chlorogloea microcystoides*, *Lyngbya* spp., *Nostoc calcicola*, *N. commune*, *N. muscorum*, *Phormidium lenningsii*, *Plectonema* spp., *Scytonema crustaceum*, *S. hoffmannii*, *Stigonema* spp., *Syneococcus* spp., *Tolypothrix byssoidea*), due to their minimal nutritional needs, are also present in the initial phase of aggression to a stone substrate; the most harmful species are those endolithic endowed with ability to penetrate into the stone resulting from the solubilization of carbonates and other crystalline materials with consequent formation of microcavities.

Heterotrophic bacteria (*Actinomycetes*, *Flavobacterium spp.* and *Micrococcus spp.*) develop on the condition that at the site there is also a minimal contribution of organic substances of a protein, glucose or lipid nature. The latter group is therefore to be considered as secondary colonizers with indirectly aggressive action; in fact, the respiratory phenomena that cause emission of carbon dioxide, with the consequent production of carbonic acid, exert a weak lithic activity on the substrate.

The fungi are heterotrophic saprophytes, parasites or symbionts, so their survival is linked to the contribution of organic substances from the outside. They produce organic acids that form chelation complexes with the metal cations of the substrate dissolving limestone and other lithotypes; moreover, they secrete pigments with production of enzymatic inhibitors or antibiotics. Mushrooms also exert a damaging physical-mechanical action due to the penetration of the mycelial hyphae into the substrate. On stone substrates we can find Deuteromycetes (*Aspergillus spp.*, *Alternaria spp.*, *Cephalosporium spp.*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Stemphylium spp.*), Ascomycetes (*Chaetomium spp.*) and Zygomycetes (*Mucor spp.*).

The lichens are symbiotic associations between ascomycetes and some kinds of green algae or cyanobacteria: the mushrooms host the latter inside their body (thallus) providing them with support and protection, obtaining in return organic substances essential for their survival. Green algae and cyanobacteria, in fact, are autotrophic organisms for carbon that can fix atmospheric carbon dioxide in organic compounds through photochemical processes. Lichens can colonize the bare rock. The species that grow on stone are mainly crusted; they have a flattened thallus entirely adherent to the substrate having the appearance of a laminar crust with irregular outline (often subcircular). Their presence on the stone surfaces is made evident by stains and patinas of varying consistency and efflorescence, which consist of superficial formations with a crystalline, pulverulent or filamentous appearance usually of whitish colour. The thallus can be epilithic or endolithic and produce both mechanical damage, due to their

contraction and distension in relation to the absorption of water, and chemical damage is linked to the production of carbonic and oxalic acids and chelating substances. The most frequent lichen species on stone substrates are: *Acarbospora umbilicata*, *Aspicilia calcarea*, *A. hoffmannii*, *Caloplaca aurantia*, *C. citrina*, *C. flavescens*, *C. saxicola*, *C. teicholyta*, *Candelariella aurella*, *C. vitellina*, *Diploica canescens*, *Diploschistes actinostomus*, *Dirina massiliensis*, *Lecanora albescens*, *L. campestris*, *L. dispersed*, *L. muralis*, *Lecidea fuscoatra*, *Ochrolechia parella*, *Tephromela atra*, *Verrucaria nigrescens*, *Xanthoria calcicola*. They are very available to remain quiescent without being damaged in conditions of strong dehydration.

Green algae are photoautotrophic organisms whose growth is particularly influenced by relative humidity, light intensity, temperature and pH. On the stone they form patinas or films of variable extension, thickness and colours. In addition to the epilithic species there are other endolithic species. They damage the substrate through the release of acidic substances or with chelating properties and respiratory processes. Green algae on stone material can be: *Chlorella spp.*, *Chlorococcum spp.*, *Gongrosira spp.*, *Haematococcus pluvialis*, *Pleurococcus spp.*, *Protococcus spp.*, *Scenedesmus spp.*, *Stichococcus bacillaris*, *Trebouxia spp.*, *Trentepohlia aurea*, *T. dorata*.

In our latitudes, bryophytes are very small plants without differentiated vascular bundles. They develop in wet micro-environments, where there are minimal accumulations of humus and debris. They influence hydrology and microclimate, managing to retain considerable quantities of water and releasing it slowly. The absorption and transport of water and solutes take place mainly by capillarity and affect the entire surface of the plant. The mosses, therefore, have a deleterious effect on the stone surfaces placed horizontally due to their ability to retain large quantities of water in direct contact with them. Water is one of the most active abiotic degradation agents. The most frequent bryophytes on stone materials are: *Brachythecium sp.*, *Bryum capillare*, *Conocephalum conicum*, *Eurhynchium spp.* Pioneering organisms prepare a substrate suitable for engrafting and developing

moss, which, in turn, retaining water and organic debris, and make the substrate suitable for the implantation of vascular flora. Even a casual passage and a brief stop on the spot of some arthropods with their load of pollens and seeds is enough to germinate a seedling.

The enormous importance of the anemophilous spreading of pollens is evident. Based on the ecological characteristics of the individual species and the growth site of the individual specimens, these are considered biodeteriogenic agents or not. The same species, present in agricultural land or on a monument, is considered in the first case indifferent to human concerns and in the second case a biodeteriogen; this without its physiological and morphological characteristics are differentiated. The species of rupicola and rudimentary flora (from the Latin *rudus*, ruin), are more frequently ascribable to the category of biodeteriogens because they are suitable to live in extreme environmental conditions that are recreated on some constructions, such as the city walls, monuments and buildings.

In temperate climates the ruderal plant species, present on the artefacts, are herbaceous or shrubby plants, more frequently xerophytes, such as *Cynodon dactylon*, *Melica minuta*, *Sedum* spp., *Parietaria diffusa* e *P. judaica*, *Centranthus ruber*, *Capparis spinose*, *Sedum* sp. and *Hedera helix*; not infrequent are also pteridophytes, such as *Ceterach officinarum* and some species of the genera *Asplenium*, *Adiantum* and *Polipodium*. Arboreal species such as *Ailanthus altissima*, *Ficus carica*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus minor* are quite frequent; locust-trees and especially Heaven trees show great ecological flexibility, an extreme tolerance to water stress and a high regenerative capacity. Without human intervention, they tend to form rapidly populations and small, typically monospecific groves. Some species of the genus *Quercus* sp., *Spartium junceum*, *Ramnus alaternus* and *Coronilla emerus* are linked to situations of more advanced degradation.

## 5.2. Predisposing and limiting factors

Limiting ecological factors that are strongly discriminating for the growth of plants on building substrates and not only, are temperature, light and water.

Temperature affects biological development as it influences the kinetics of each chemical reaction and the physical state of cellular fluid principles.

Light influences the development of photosynthetic organisms and accelerates the normal aging processes of materials due to photodegradation, so to do these materials more susceptible to biological attacks.

Water is essential for the metabolic activities of all organisms. The relative humidity values of the air must also be considered: it is a function of the absolute quantity of water present in the air and of the temperature.

The exposure of the stone artefact should be considered: usually the exposure to the north allows the permanence of a situation of high humidity with consequent less water stress for the plants. On the contrary, exposure to the south increases evaporation from surfaces with consequent periods of prolonged water stress that can only be coped by plants adapted to similar conditions. Exposures to the east and west have intermediate situations, resulting in those to east more favourable to the vegetation survival due to less stress from the cold due to the irradiation from the early hours of the morning.

To resist adversity and cope difficulties caused by the scarcity of a growth substrate, plants have evolved different persistence strategies that often interact to ensure the result: they are resilience, perpetuity and various methods of dissemination.

Resilience refers to the capacity of self-repair of a species after suffering damage of various nature and entity; the resilience selects the *Gramineae* due to the fact that they are equipped with growth meristems in a basal position protected by the axil of the leaves. The action of degradation on stone artefacts carried out by the superior flora is of a physical-mechanical, chemical, functional nature and aesthetics.

The herbaceous and suffruticose plants, the shrubs and the species with arboreal habitus are mainly rooted in correspondence of micro- and macro lesions of the walls or under the plasters that cover them or in the mortar between the stones, however in zones with lower resistance. The damage caused by the root systems varies visibly depending on the species and the bearing: the herbaceous species have more limited mechanical effects, while suffruticose plants, shrubs and tree plants cause significant stresses due to the continuous deepening of the roots.

The root system forms an intricate capillary and the minute root hairs also penetrate the finer cracks. Once penetrated, the radial growth of the roots causes a progressive increase of their diameter and these act on the surrounding walls like a wedge, developing pressures up to 25-30 atm. The direct physical action is manifested through the decohesion and the fall of mortar portions and other components due to the pressure of the root system. In the most serious cases there are risks of destabilization of entire portions of the masonry bound to falls of materials or partial collapses constituting an imminent danger on public safety.

This is due undoubtedly to the weighting of the wall structures in case there are grown plants of considerable size, but it is also due to the so-called "sail effect" operated by the hairs which consists of transmitting to the masonry below the mechanical stress due to the wind. The chemical aggression of the stone substrate components is made by acid radical exudates and with chelating properties emitted above all by the mucigel layer which protects the cells of the delicate root cap.

Climbing plants (especially *Hedera* sp.) can interact with the walls in different ways. In some cases, they root in the ground and then grow on the walls where they are fixed thanks to adventitious roots emitted from the stems and the damage is limited; in other cases, even the main root develops in the masonry and its radial growth can cause serious problems of a structural nature. The damage of an aesthetic nature due to the uncontrolled growth of climbers on the manufactured article to such an extent as to compromise its legibility

and functionality is not negligible. Climbers and shrubs can be colonized by various arthropods at any time and offer a natural shelter for animals, mainly birds; the latter, having an active role in the dispersal of the seeds of plants, make possible the growth of other plant species. The result is that often the monument, although partially still standing, is completely hidden by vegetation.

Non-negligible damage of a chemical nature, moreover, is caused by the accumulation of guano on lithological material; these accumulations act as growth medium for micro-organisms that can further damage the underlying material.

The perpetuity, that is the tendency of some species to behave as perennials, is a winning strategy when it acts in synergy with the resilience: the difficulty of finding a microsite suitable for germination favours, in fact, species able to colonize the habitat from organs of agamic propagation, for example the stolons of *Cynodon dactylon*.

The species that have the greatest opportunity to colonize various ecological niches have an anemochory dissemination. Among these the Asteraceae are the most specialized due to the remote dissemination through “pappi”: for example, the *Conyza canadensis*, species introduced by North America, for decades spread throughout Europe by the small fruits (pappi) able to move from several km, which is now typically present on building materials.



**Figure 1.** *Conyza* (o *Erigeron*) *canadensis* L. (Photo by Leo Michels. Usage: Public Domain).

Another type that provides for a high degree of specialization is the “myrmecocora” dissemination: it represents a mutualistic flora-fauna co-evolution model. Some plant species have evolved this

specialization through the presence of elaiosomes, i.e. external appendages of the seed, rich in lipids that act as a reward for the ants in exchange for transport. This specialization is present in some Euforbiaceae, like *Euphorbia chamaesyce*, and in *Chelidonium majus*. Thanks to this mutualism, the seeds can reach micro-cracks in the flooring or in height otherwise difficult to reach; this is the strategy of dissemination of the *Capparis spinosa*, now omnipresent on the walls of any Italian city.

**Figura 2.** Photo *Euphorbia chamaesyce* L. (Moro, Siena 2005), *Capparis spinosa* L. (Cinelli, Pisa 2018), *Chelidonium majus* L. (Cinelli, Lucca 2001).



Another type of dissemination that some plant species exploit to reach sites for germination in height is the “epi-zoocoria”: these species have evolved appendages suitable to cling to the coat of animals, for example volatile, so to be conveyed. Some examples are: *Arctium lappa*, *Ranunculus arvensis*, *Calendula arvensis*, *Setaria* spp., *Xanthium strumarium*, *Daucus carota*, *Medicago* spp.

The avifauna, especially pigeons and crows, can directly or indirectly damage stone substrata. The direct destructive action of birds is both physical, caused by trampling and grazing, and chemical, caused by the dropping of acid excrement (guano) containing high amount of nitrate and phosphate compounds. Indirect damage is made by organic substances accumulated on stone surfaces, which can serve as nutritive substrata for heterotrophic microflora (bacteria and fungi).

### 5.3. Bioreceptivity

In the context of a boundary wall, in the initial stages of settlement of superior flora the annual species are favoured, usually endowed with small seeds that can penetrate the micro-cracks created in the stone substrate. For germination of these seeds are crucial two aspects: the rapidity of germination, as the substrate tends to dry up quickly after rainfall and the possibility of exploitation of possible mechanisms of self-penetration in the cracks (is the case of some Gramineae: *Bromus sterilis*, *Hordeum murinum* and *Avena sterilis*).

The attitude of materials (stone elements, bricks and mortars) to favour the establishment, anchoring and development of biodeteriogens is called “bioreception”; it is distinguished in primary, secondary and tertiary.

“Primary or intrinsic bioreceptivity” is only linked to the characteristics of the material itself, such as the surface morphology of the substrate (porosity and surface roughness), its humidity and the chemical-physical characteristics of the surface layers linked to its mineralogical composition.

The “Secondary bioreceptivity” is a consequence of the modifications of the substratum due to the presence of biodeteriogens (water retention by moss, deposition of organic materials, shading etc.) and the “Tertiary or extrinsic bioreceptivity” is due to subsequent anthropic interventions.

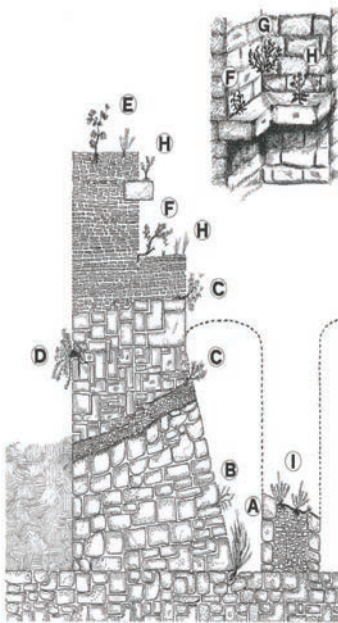
The availability of water and the presence of suitable growth substrates are two indispensable factors for the development of superior flora on masonry structures. In a single artefact, very different conditions can be found with reference to these parameters.

Overall the ruderal flora can take the following distribution (Lisci e Pacini, 1993):

- Cavities at ground level This situation permits the growth of many species since heterogeneous material can collect matter to form substrate, and rain water does not flow off. Under certain conditions the plant roots may even penetrate the earth.

Hence plants growing in this situation suffer less environmental stress;

- Cavities in inclined surfaces in this situation there are greater possibilities of receiving water and it is easier for seeds to lodge than on a vertical surface;
- Cavities at the interface between two types of building material the availability of nutrients is greater, the greater the chemical difference between the two materials;
- Cavities in a vertical face of homogeneous material This is the situation most hostile to plant growth since water availability is limited to wind-blown rain;
- Cavities in horizontal surfaces This is the situation with the greatest water availability but if the plant is not adapted to retain it, it has little chance of survival;
- Cavities at the intersection of vertical and horizontal surfaces This situation is similar to A as far as water is concerned, but there is less substrate;
- Cavities where two vertical surfaces meet. This situation is similar to F, but less water is available;
- Substrate formed on a horizontal porous surface. The situation is constituted by a corbel which is a decorative element in roman buildings and baroque and renaissance churches. It usually consists of marble, travertine or sandstone;
- Substrate formed on ruined stonework. This is a special situation, mainly found in ruins of roman monuments. It results from the destruction of walls or pillars built with an outer layer of bricks or squared stones enclosing a space filled with irregular stones or broken bricks held together with lime mortar. Exposure of the central core by man or weathering provides the ideal situation for the collection of substrate which can host plants of different species even in a very limited area.



**Figura 3.** Possible spatial distribution of the ruderal flora (Lisci e Pacini, 1993).

## 5.4. Intervention

### Phases

#### First step

Survey and photographic cataloging of intervention sites based on defined priorities (architectural damage, aesthetic damage, etc.).  
To investigate, classified and isolate the active biological presence (species or community group).



#### Second step

Reduction of the aerial part of the shrub and climbing plants (mechanical interventions without the use of chemical products).  
To implement measures to stop and prevent this type of alteration.



#### Third step

Devitalization of essences shrubs (interventions located with injection of herbicide formulations). The most frequent interventions are based on the use of chemical formulates with biocide action.  
P.A. used: Fluroxipir, Triclopir and Picloram (NO Glyphosate).



#### Fourth step

Mechanical and chemical finishing interventions.



**Figura 4.** A case study: the walls of Castiglione di Garfagnana (Munafò, 2005).

### Objectives

- To achieve control of the biological degradation of the walls by eliminating the active organisms capable of threatening the integrity, stability and aesthetic value of the walls; the interventions are usually directed to the elimination of vascular flora: ferns, herbaceous and suffruticose plants, shrubs, climbing plants and trees; The removal of the microbial community from

any given surface is an intervention that must be carefully evaluated, it may give rise to a new succession of microorganisms, which may be more damaging than the old populations. The inhibition of specific groups of microorganisms may favour the growth of others. Biocidal treatments may have negative effects on the artefacts;

- to devitalize the plant root systems that cannot be eliminated by mechanical removal;
- to carry out the treatments in harmony with the architectural restoration operations of the city walls and respect for the prescriptions and methodological indications that may be given by the Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio and per il Patrimonio Storico Artistico ed Etnoantropologico, for the territory of competence;
- to carry out the work by making minimal impact to the architectural elements of the walls and to the artefacts or works near them and minimizing their environmental impact;
- to ensuring high levels of safety for operators and citizens at every stage of operations;
- to ensure compliance of the interventions with the current legislation regarding the protection of flora (Law 56/00 Tuscany “Regulations for the conservation and protection of natural and semi-natural habitats, wild flora and fauna”).
- to ensure compliance of the interventions with the current legislation on the use of plant protection products with an herbicidal action in civil area (LR Toscana 33/06 “ Changes to the regional law July 1, 1999 – Rules for the use of herbicides and geodisinfestants in non-agricultural sectors and procedures for the use of herbicides and geodisinfestants in agriculture “ and its modifications). The use of hazardous disinfestants must be authorized by the Prevention Department of the competent USL Company.

## 5.5. Control Methods

Conservative interventions using direct and indirect methodologies have been applied to stop or slow-down the biodeterioration process. The methodologies and products must be chosen taking in mind substrate conditions and species to be treated, standing to not cause negative interference with materials and with low environmental impact.

Control methods can be classified as mechanicals, physicals, biologicals, or biochemicals, even if those based on active principles in solution (chemicals) are the more frequently applied (either as wide-spectrum active principles, or more specific fungicides, algacides, herbicides, insecticides and repellents for birds).

Given the complexity of the problems posed by biodeteriogenic plants, it is necessary to resort to integrated control strategies in which the use of substances with biocidal action is only the complement of interventions aimed at modifying the parameters that have favored the settlement of the infesting flora. The mechanical removal (by hand or with tools such as scalpels, spatulas, scrapers, air abrasive or vacuum cleaners) of the latter is not, in fact, capable of avoiding the recolonization of the building if not associated with interventions aimed at modifying the ecological conditions of the site to reduce the bioreception of the building.

Moreover, mechanical methods can damage the substrate, even if they have the advantage to not add on it any substance that might cause further deterioration.

The physical methods (ultraviolet rays (UV), gamma rays, low frequency, electrical current systems, heat, deep-freeze temperatures and ultrasonic) are difficult to use in an open environment.

Bacteria, insects and phage (biological method) might be used, but up to now this kind of intervention has been applied chiefly in the agricultural sector. Antagonistic or predator's species have been introduced for pull away the birds from cities.

In the biochemical methods, we can consider biodeterioration control systems that use chemical compounds of biological or syn-

thetic origin (antibiotics, enzymes, pheromones), but chemical methods (organic and inorganic compounds) are used to eliminate the biodeteriogens from cultural objects. In addition to the pesticide, other ingredients, such as carriers or additives to improve the effectiveness of the product or to facilitate its application, are present in the chemical formulation. These are called co-formulants and could have negative effects on the objects to be treated.

Disinfectants are chemicals that destroy vegetative forms but are not always effective against survival resistant or quiescent phase structures (bacterial spores, fungal conidia and insect eggs).

The product should be chosen on the basis both organisms to be eliminated and its highest efficacy at lowest dosage. The most used compound has been for many years *Glyphosate* in different concentration. At present, glyphosate is classified in group 2a "probable carcinogen for the man" so its use must be approved and authorized by the Prevention Department of the competent USL Company.

To-day biological compounds are present in the market: pelargonic acid (for example Finalsan) is used as an herbicide to prevent growth of weeds both indoors and outdoors (it has no toxicological classification); also, Flazasulfuron (commercial product Chikara 25 WG) is an herbicide not classified and it can be used in archeological sites.

The indirect method should control the environment surrounding the objects. Just it has been observed that the humidity of the walls is of importance among the influential ecological factors on the development of biodeteriogenic plants. This factor can be at least partially controlled by man. To this end, structural interventions are considered indispensable to reduce the infiltration of water into the walls and to favor the rapid removal of the same. They also have the purpose of reducing the surface sliding (run-off) and the resulting dripping in the portions below.

The effect of humidity is exacerbated by the accumulation of debris and organic materials, by the formation of moss pulvini and by all that can replace the ground, favoring the plant establishment.

Because of this, the following operations should be carried out:

- protection of the masonry ridges from infiltration by means of suitable coverings (convex profile cover, covering in stone slabs, etc.);
- commissioning, recovery or restoration of the collection systems, conveyance and removal of meteoric water intercepted by the city walls;
- elimination of accumulations of debris, animal dejections, moss and all that has the capacity to retain water and allow the germination of seeds and spores from the entire surface of the walls, therefore both from the summit crests of them and from any other horizontal surface along the vestments.

In order to prevent the resettlement of biodeteriogenic flora, it can also request the identification of additives capable of reducing the bioreceptivity of masonry. Before the execution of the works, however, anti-fouling additives for mortars must be tested suitable for use in the context of historic walls.

The context in which we operated can thus be represented:

- work site with safety scaffolding capable of allowing full accessibility to all levels of the walls;
- implementation of the interventions in the period between spring and summer, that is during the phase of maximum vegetative activity of the plants (a condition that has not always occurred due to long bureaucratic times);
- absence of schools, kindergartens and buildings for similar use and water collection points for drinking water uses near areas subject to treatment (condition verified through consultation of the Municipal Technical Office);
- the health clearance must be issued for weeding operations in non-agricultural areas with the consequent exception to the minimum distances from homes and public transit routes.

**Figura 5.** *Lucca Walls. Step 2 (mechanical interventions); Step 3 (herbicide injection in Hedera); Step 4 (treatment effect with herbicides). (Photo Bertoncini-Lorenzoni, Lucca 2001).*



**Figura 6.** *First and after the chemical treatment on the Castiglione di Garfagnana walls (Munafò, 2005).*



## 5.6. Conclusions

The duration in time of the control of the infesting flora on urban walls is an important aspect even if it is logical to foresee a brief effectiveness of the treatment carried out because the environmental conditions are usually favourable to the development of the same flora. Therefore, it is desirable that a periodic maintenance of the walls is planned that aims to hinder the development of biodeteriogens.

Regular maintenance of stone materials is effective, simple and good practice to limit biodeterioration; in fact periodic cleaning of the surfaces determine the following advantageous consequences: the removal of accumulations of materials that favor the settlement and growth of plants, the elimination of the colonies of mosses and lichens which constitute the initial phase of the ecological succession towards vascular plants, the destruction, damage or devitalization to the plant stage of shrubs, creepers and tree bearing species, before they cause major injuries and dangerousness.

It is evident that the knowledge of the various organisms present on an artefact is important in the planning of restoration interventions, also in order to diversify the maintenance and consolidation interventions to be undertaken that must be modulated according to the different conditions of degradation and the risk operated. From the development of deterioration agents, in a view that should not be separated from the awareness of the potential interest of these peculiar forms of colonization and of the ecological information they can provide.

The long-term preservation of stone objects, sculptures and monuments requires a holistic approach. Finally, any conservation intervention must consider the possibility of the effect any method or new compound to be applied to the stone may have on the general biosusceptibility of the object.

The most difficult challenge is therefore the realization of a new equilibrium to be achieved with a conservative intervention that must certainly set the goal of delaying degradation and of intervening on the elimination of the most aggressive agents without erasing the history of the work. This also goes through a slow transformation of materials and the development of patinas, films, encrustations, pulvins up to more advanced stages linked to the growth of vascular flora in a slow and progressive process that leaves an impression that should not be deleted, but contained and valued (Caneva e Tomei, 2017).

## References

- Bertoncini E., *Flora rudérale sulle cinte murarie, un problema di degrado monumentale*, in «Sherwood - Foreste e alberi oggi», n. 115, 2005, pp. 12-16.
- Bettini C., Cinquanta A., *Vegetazione e monumenti. Esigenze e metodologie nel controllo delle infestanti ruderali*, Viterbo, Union Printing, 1990.
- Caneva G., *Ruolo della vegetazione nella degradazione di murature e intonaci*, in Atti Convegno Scienza Beni Culturali, Bressanone, Libreria Progetto Ed. Padova, 1985, pp. 199-209.
- Caneva G., *Il controllo del degrado biologico*, Firenze, Ed. Nardini, 1995.

- Caneva G., Gori E., *Parametri microclimatici di maggiore incidenza nella colonizzazione biologica di superfici murarie in ambiente mediterraneo*, in Atti Convegno "Approcci metodologici per la definizione dell'ambiente fisico e biologico mediterraneo, Lecce, 1994, pp. 349-363.
- Caneva G., Nugari M.P., Pinna D., Salvadori O., *Il controllo del degrado biologico – I biocidi nel restauro dei materiali lapidei*, Firenze, Ed. Nardini, 1996, pp. 1-200.
- Caneva G., Tomei P.E., *M-I/U-RABILIA. Un giardino verticale sulle mura di Lucca*, Ed. Gangemi, 2017.
- Caseley J.C., *Variations in foliar pesticide performance attributable to humidity, dew and rain effects*, in «Aspects of Applied Biology» 21, 1990, pp. 215-225.
- Catizone P., Tibitelli E., Miravalle R., Corallo F., *Gestione della vegetazione nei siti archeologici: le esperienze di Pompei e Selinunte*, in *Archeologia, recupero e consolidamento: La conservazione e il restauro oggi*, Firenze, Bitelli L. M., 1993, pp. 185-197.
- Lisci M., Pacini E., *Plants growing on the wall of Italian towns - 1. Sites and Distribution*, Phytos (Horn, Austria), 33(1), 1993, pp. 15-26.
- Mishra A.K., Kamal K.J., Garg K.L., *Role of higher plants in the deterioration of historic buildings*, in «The Science of the Total Environment», 167, 1995, pp. 375-392.
- Munafò S., Tesi di laurea (Facoltà di Agraria, Università di Pisa), 2005.
- Nimis P.L., Pinna D., Salvadori O., *Licheni e conservazione dei monumenti*, Bologna, Clueb Ed., 1992.
- Quaresima R., Di Giuseppe E., Volpe R., *Impiego di biocidi per la rimozione della microflora algale*, in XI Convegno di Studi Scienza e Beni Culturali: "La Pulitura delle Superfici dell'Architettura", Bressanone, 1995.
- Signorini M.A., *L'indice di pericolosità: un contributo del botanico al controllo della vegetazione infestante nelle aree monumentali*, in «Informatore Botanico Italiano», 28, 1996, pp. 7-14.
- Tiano P., *Biodeterioration of Stone Monuments. A Critical Review*, in *Biodeterioration of Cultural Heritage*, vol. 1, K.L. Garg, N. Garg & K.G. Mukerji eds., Naya Prokash Publ. Calcutta, 1994, pp.301-321.
- Tiano P., *Biodegradation of cultural heritage: decay mechanism and control methods*, Seminar article, New University of Lisbon, Department of Conservation and Restoration, 7-12 January 2002, pp. 1-37.
- Tiano P., *Biodeterioration of stone monuments a Worldwide issue*, in «The Open Conference Proceedings Journal», 7, 2016 (suppl 1: M3), pp. 29-38.

Tomei P.E., Narducci R., *Miceti fino ad oggi segnalati per l'Orto botanico e le Mura urbane di Lucca*, in «Bollettino Orto Botanico di Lucca», 4, 2011, pp. 5-31.

Warscheid Th., Braams J., *Biodeterioration of stone: a review*, in «International Biodeterioration & Biodegradation», 46, 2000, pp. 343-368.

## 6.

# PROBLEMI IDRAULICI CONNESSI A CROLLI DI MURA URBANE

STEFANO PAGLIARA, MICHELE PALERMO

### Sommario

In questa memoria vengono analizzate alcune problematiche connesse alla presenza di acque in relazione alla stabilità di tratti di mura urbane. Nella fattispecie, vengono elencate le principali cause di degrado e/o crollo di tratti murari, evidenziandone dinamica ed effetti. In particolare, tra le principali cause di crisi strutturale dei tratti murari, sono state approfondite quelle connesse alla presenza di acque di falda, alla mancanza di regimazione delle acque di versante, allo scalzamento delle fondazioni dovuto a fenomeni erosivi, alle perdite nelle tubazioni idrauliche e all'innescò di fenomeni di sifonamento.

### Parole chiave

Rischio idraulico; drenaggio; erosione.

### Premessa

La presenza di acqua gioca un ruolo molto importante e spesso preminente negli episodi di crollo di mura urbane. Infatti, tali accadimenti sono spesso attribuibili ai mutamenti delle condizioni idrauliche sia ipogee che superficiali. In particolare, il ruscellamento incontrollato di acque superficiali in corrispondenza di eventi pluviometrici estremi e/o significative variazioni della distribuzione delle pressioni neutre nel terreno possono risolversi in fenomeni erosivi tali da determinare

il crollo parziale o totale del manufatto stesso. Negli ultimi anni si sono avuti esempi significativi caratterizzati da tali scaturigini fenomenologiche, che hanno cagionato una notevole perdita del patrimonio storico. In tale fattispecie si inquadra il crollo di parte delle mura medioevali della città di Volterra avvenuto nel 2014, di cui si riporta una immagine significativa in Figura 1.



**Figura 1.** *Crollo di un tratto del muro di Volterra avvenuto nel 2014.*

## **Cause di crollo**

Le cause di crollo di paramenti murari connessi alla presenza di acqua possono essere molteplici e concomitanti. Tuttavia, esse sono comunque ascrivibili ad alcune tipologie fenomenologiche ben individuabili e classificabili. Di seguito, verranno sintetizzate alcune delle principali cause, avendo cura di evidenziarne gli effetti sui manufatti

### **6.1. Perdite da tubazioni**

Questa risulta essere una delle problematiche più subdole e di più difficile determinazione ed osservabilità, in quanto, specialmente in caso di perdite di piccola entità, può essere richiesto un lasso di tempo considerevole affinché i suoi effetti si estrinsechino risolvendosi nel collasso dei manufatti.

Tuttavia, essa è di particolare importanza, soprattutto in Italia, dal momento che la rete acquedottistica del Paese risulta essere alquanto vetusta. Nella fattispecie, gran parte dei nostri acquedotti ha più di 60-70 anni di attività e palesa condizioni di efficienza e funzionalità delle tubazioni alquanto critiche. Infatti, esse sono caratterizzate da perdite idriche dell'ordine del 35% (media nazionale), fino a punte del 70% in talune realtà geografiche.

Generalmente, una perdita da una condotta in pressione causa l'asportazione del materiale granulare fine dal terreno, provocando spesso voragini (Figura 2) che sono causa o concausa di crolli più o meno diffusi.

**Figura 2.** Esempio di perdita da tubazione in pressione.



Esempio notevole e balzato alla cronaca è stato il crollo di un tratto importante del Lungarno Torrigiano avvenuto a Firenze il 25 maggio 2016. In tale episodio, infatti, l'asportazione di materiale fine causato da perdite di tubazioni in pressione ha provocato il collasso e lo sprofondamento di un tratto di strada (Figura 3).



**Figura 3.** *Crollo del Lungarno Torrigiani.*

Non sono altresì da sottovalutare le perdite da reti di condotte a superficie libera, quali reti di drenaggio urbano. Anche in tali sistemi si possono avere perdite diffuse dai giunti delle tubazioni, sia per problemi di vetustà che a causa di piccoli movimenti e/o assestamenti del terreno. Tali deformazioni meccaniche del terreno possono infatti causare sfilamenti delle tubazioni dai pozzetti o rotture delle medesime per eccesso di carico (Figura 4).

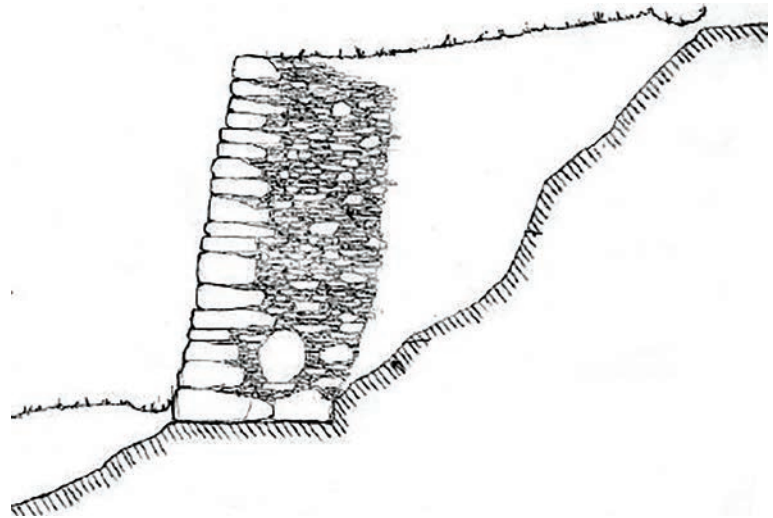


**Figura 4.** *Rottura di tubazioni di drenaggio urbano in calcestruzzo.*

### 6.2. Difficoltà di drenaggio

Altra causa importante risulta essere l'assenza o l'ostruzione delle tubazioni di drenaggio a tergo di un paramento murario. Infatti, la spinta idrostatica risulta essere una azione estremamente significativa e tale da indurre sollecitazioni talvolta eccedenti la capacità resistente del muro stesso. Pertanto, risulta particolarmente importante la presenza di un corretto sistema di drenaggio dell'acqua, realizzato mediante tubazioni di idoneo diametro allocate lungo il paramento del muro. Tale drenaggio risulta facilitato anche dalla presenza, subito a monte del paramento del muro, della messa in opera di uno strato di materiale drenante in grado di convogliare le acque verso la base del medesimo per poi essere fatte defluire ed indi allontanate (Figura 5).

**Figura 5.** Muro di sostegno con materiale drenante a monte e tubazione di allontanamento delle acque al piede.



### 6.3. Problematiche connesse con la presenza di corsi d'acqua e sifonamento

La presenza di un corso d'acqua può essere causa di molte problematiche. La corrente induce variazioni del fondo dell'alveo, specialmente durante eventi di piena, in grado di mettere spesso a nudo le

fondazioni dei muri di sostegno, nonché le fondazioni di strutture in alveo, quali pile di ponti e/o traverse fluviali.

In Figura 6 è riportato un particolare di una vecchia sezione del fiume Arno a Firenze in corrispondenza della sponda in sinistra idraulica, in cui si evince la presenza del vecchio muraglione e delle sue fondazioni. In Figura 7, inoltre, si riporta una foto in cui si evidenzia il crollo dei muraglioni nella città di Pisa (lato nord) a causa delle erosioni e delle spinte idrostatiche dovute al transito della catastrofica piena del fiume Arno nel novembre del 1966.



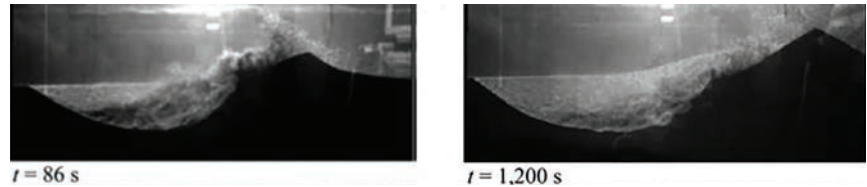
**Figura 6.** Particolare di sezione trasversale del F. Arno a Firenze (rilievo del 1845).



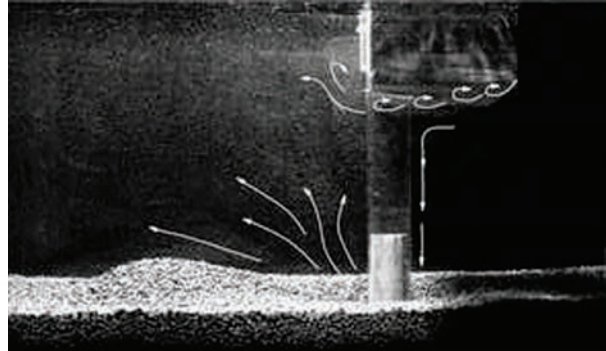
**Figura 7.** Crollo parziale dei muraglioni lato nord del F. Arno all'interno della città di Pisa a seguito della piena del novembre 1966. Supplemento del Tirreno del 6 novembre 1986.

Altra causa di erosione d'alveo è ascrivibile all'azione di getti che determinano moti polifasici in seno al corpo idrico. Tale fattispecie fenomenologica presenta notevoli aspetti di complessità e pertanto risulta tra quelle più studiate in ambito scientifico, anche per le rilevanti implicazioni dal punto di vista pratico e progettuale. La Figura 8 evidenzia lo scavo causato da un getto liquido che impatta su un fondo mobile di un corso d'acqua e ne mette in luce la complessità dovuta all'interazione fluido-aria-sedimenti (Pagliara *et al.* 2006 e 2010a). Similmente, la Figura 9 mostra come tale fenomenologia si possa risolvere in erosioni significative in corrispondenza di manufatti in alveo, quale la pila di un ponte (Pagliara e Carnacina 2010 e Pagliara *et al.* 2010b).

**Figura 8.** Scavo causato da getti liquidi in fondi mobili non coesivi (corrente da sinistra verso destra).



**Figura 9.** Scavo e relativa duna a valle di una pila di ponte con indicazione delle linee di flusso (modello scala 1:15, laboratorio di Idraulica, Università di Pisa).



La Figura 10, infine, mostra il famoso crollo del Ponte Solferino a Pisa avvenuto in seguito dell'alluvione del novembre 1966 che ha interessato il bacino del F. Arno. Il collasso del ponte fu sostanzialmente dovuto agli scavi avvenuti intorno alla pila, che ne indussero lo scalzamento e il conseguente cedimento unitamente all'arco da essa sostenuto.



**Figura 10.** Foto del Ponte Solferino a Pisa prima e dopo il crollo (alluvione del novembre 1966). Supplemento del Tirreno del 6 novembre 1986.

Connesso a tali problematiche è anche il fenomeno del sifonamento, che si verifica quando la differenza di livello liquido fra monte e valle di una struttura (per esempio di un muro di sostegno o di un muro di sponda) è tale da determinare un trasporto di particelle di terreno da parte dell'acqua di filtrazione. Tale problematica è in grado di innescare, anche in tempi estremamente brevi (alcune ore), fenomeni di instabilità e di crollo.



**Figura 11.** Esempio di intervento di regimazione delle acque superficiali.

#### 6.4. Mancata regimazione delle acque di ruscellamento

La mancata regimazione delle acque di versante spesso risulta essere causa o concausa di fenomeni di dissesto. Infatti, un loro libero deflusso causa infiltrazioni incontrollate, fenomeni erosivi superficiali

e accumulo di notevoli volumi d'acqua in aree non idonee, spesso tali da determinare sollecitazioni importanti e crolli subitanei dei paramenti murari. In Figura 11 è riportato un esempio di regimentazione di versante mediante opere di ingegneria naturalistica.

### 6.3. Conclusioni

La presente memoria analizza le principali cause connesse alla presenza di acqua che possono provocare crolli parziali o totali in muri o, più in generale, manufatti di sostegno e/o contenimento verticali. Le principali cause innescanti cinematismi di collasso indotti da fenomeni idraulici sono state classificate e distinte in: perdite da tubazioni, mancanza di un adeguato drenaggio superficiale, problematiche connesse a fenomeni erosivi in alveo, sifonamento e inefficiente regimentazione delle acque di ruscellamento.

### Bibliografia

- Pagliara S., Carnacina I., *Temporal scour evolution at bridge piers: effect of wood debris roughness and porosity*, in «Journal of Hydraulic Research», 48, 2010, pp. 3-13, DOI: 10.1080/00221680903568592.
- Pagliara S., Carnacina I., Cigni F., *Sills and gabions as countermeasures at bridge pier in presence of debris accumulations*”, in «Journal of Hydraulic Research», 48, 2010b, pp. 764-774, DOI: 10.1080/00221686.2010.528184.
- Pagliara S., Hager W., Minor H. E., *Hydraulics of plunge pool scour*, in «Journal of Hydraulic Engineering», 132, 2006, pp. 450-461, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:5(450).
- Pagliara S., Roy D., Palermo M., *3D plunge pool scour with protection measure*”, in «Journal of Hydro-environment Research», 4, 2010a, pp. 225-233, DOI: 10.1016/j.jher.2009.10.014.



## DIAGNOSTICA





## 7.

# METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y MONITORIZACIÓN DEL PATRIMONIO BASADO EN LA GESTIÓN CARTOGRÁFICA DIGITAL. LA MURALLA DE SEVILLA

JACINTO CANIVELL, ANTONIO JARAMILLO-MORILLA, JOSÉ EMILIO MASCORT-ALBEA, ROCÍO ROMERO-HERNÁNDEZ

### Sommario

La muralla histórica de Sevilla constituye uno de los símbolos urbanos más relevantes de la presencia musulmana en la ciudad. Su trazado de origen islámico y su gran extensión son fruto de la ampliación de la primigenia cerca romana. Sin embargo, la fortificación sufrió la demolición de gran parte de sus tramos, como consecuencia de las operaciones de ensanche que la urbe experimentó durante la segunda mitad del siglo XIX.

Este bien, declarado Monumento Nacional en 1908, también destaca por su naturaleza material, basada en la ejecución de tierra cruda apisonada mediante la técnica del tapial. Sin embargo, las restauraciones efectuadas en las últimas décadas no siempre se han realizado con sistemas constructivos acordes a los materiales básicos que conforman la muralla. Esta cuestión, unida a diversos factores, está generando problemas de deterioro progresivo en algunos de los sectores que se conservan en la actualidad. Por dicho motivo se ha planteado una colaboración con la Gerencia de Urbanismo de Sevilla con la finalidad de desarrollar un proyecto de investigación para el seguimiento progresivo de los futuros trabajos de intervención que se van a realizar sobre los tramos de muralla.

En este artículo se exponen las principales pautas del proceso metodológico del proyecto de colaboración mencionado, tomando como caso de estudio el tramo de la muralla de la Macarena. Dicha propuesta desarrollará un planteamiento multiescalar y pluridisciplinar, mediante el empleo de metodologías basadas en el uso de modelos digitales para la gestión del cono-

cimiento patrimonial. Éstos se sustentarán en la compatibilidad de sistemas CAD/SIG/BIM, a través del uso de la Gestión Cartográfica Digital (GCD) para el desarrollo integral de las tareas asignadas, que van desde la documentación e inventariado a la caracterización material y constructiva, pasando por cuestiones de percepción social.

De este modo, el resultado de los trabajos realizados se manifestará en el desarrollo de prototipos específicos de monitorización para conocer propiedades esenciales físicas y mecánicas de los materiales, así como en protocolos de caracterización y en catálogos arquitectónicos basados en las tecnologías de la información como medio esencial para la difusión y la transferencia del conocimiento generado.

Con esta propuesta metodológica se vuelve a poner de manifiesto la necesidad vigente de definir procedimientos sencillos para la conservación y el mantenimiento predictivo de los bienes culturales. Asimismo, un correcto desarrollo del modelo diseñado para la muralla histórica de Sevilla debe fundamentarse en un conjunto de criterios unificados que aporten coherencia gráfica, espacial y temática entre las diferentes unidades del modelo. Para ello se trabajará con muestras representativas a cada escala de trabajo que permitan una extensión del protocolo a la totalidad del bien analizado, concibiendo de este modo, una potente herramienta de control y difusión.

### **Parole chiave**

Arquitectura defensiva; técnicas constructivas en tierra; catalogación; caracterización técnica y sensorización; Gestión Cartográfica Digital (GCD); mantenimiento predictivo.

## **7.1. Introducción**

En la actualidad, el uso de modelos digitales para la gestión de la información relacionada con el patrimonio cultural constituye una línea de investigación muy relevante. Adicionalmente, la interoperabilidad entre diferentes herramientas como el Diseño Asistido por Ordenador (*Computer Aided Design, CAD*), y más reciente, el Modelado de Información para la Construcción (*Building Information Modelling,*

BIM) y los Sistemas de Información Geográfica (*Geographic Information Systems, GIS*) permiten aportar un control gráfico, paramétrico y espacial muy completo de los bienes culturales modelizados.

En base a dicho planteamiento, desde estas líneas se define la *Gestión Cartográfica Digital (GCD)* como el empleo de herramientas geográficas para la creación de bases de datos espaciales relacionadas con el patrimonio cultural, a través de una concepción multiescalar del uso de los GIS que va desde lo territorial y urbano hasta una escala arquitectónica que permita llegar a definir mediante entidades geográficas las principales componentes espaciales y arquitectónicas de un inmueble, así como los bienes muebles en ellos contenidos.

Precisamente, en el uso de técnicas geográficas a un nivel de detalle arquitectónico radica la novedad del presente planteamiento, pues de este modo, se permite completar un vacío de información existente en la mayoría de los visores espaciales y generar de un modo ágil y económico nuevos modelos digitales que analicen las particularidades de los bienes inmuebles, constituyendo una base sólida para posteriores desarrollos tridimensionales en modelos BIM o formatos CityGML (Mascort-Albea 2018).

A través de las experiencias desarrolladas en diversos casos de estudio, se ha demostrado que este tipo de modelos contribuyen a la conservación preventiva de los edificios históricos, entendida como un amplio espectro de carácter transversal que engloba tareas relacionadas con su documentación, análisis, diagnóstico, intervención, seguimiento y difusión. En este sentido destacan el uso de la GCD para el desarrollo de contenidos interactivos en aplicaciones turísticas de difusión patrimonial (Mascort-Albea *et al.* 2016), la catalogación de edificios en riesgo de abandono (Mascort-Albea and Meynier-Philip 2017) o el análisis multidisciplinar de tipologías históricas (Mascort-Albea 2017). Partiendo de las anteriores consideraciones, en el presente artículo se plantean las bases estratégicas que conducen a la aplicación de este planteamiento metodológico al seguimiento predictivo de la muralla histórica de Sevilla.

De este modo, la fortificación de la ciudad de Sevilla en época medieval se componía de un castillo urbano que llegó a ocupar un recinto de 17 hectáreas y de una cerca amurallada, que durante el periodo de dominio almohade alcanzó una ocupación de 273 hectáreas. Esta muralla de origen islámico, terminada de construir a principios del siglo XIII englobaba el perímetro de la primigenia cerca romana, que carece de restos visibles en la actualidad (Valor Piechotta 2014).

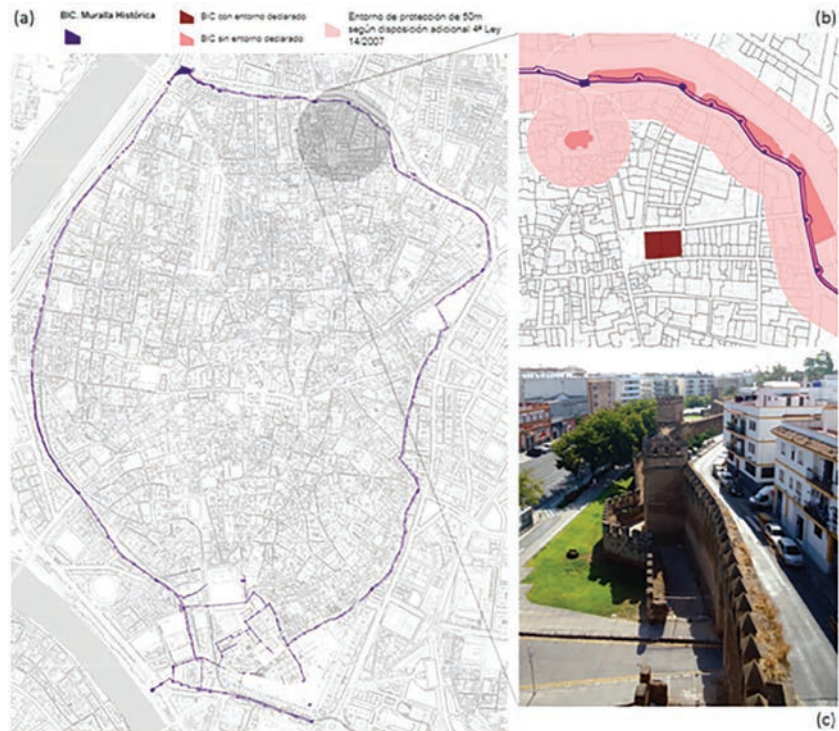
Durante los siglos posteriores, la muralla urbana de Sevilla se encontró sometida a transformaciones parciales, relacionadas en muchos casos a reparaciones de lienzos y a la renovación de sus puertas. No obstante, a lo largo del siglo XIX el monumento experimentará la actuación que ha condicionado de forma más dramática su estado actual (Morales 2013; Suárez Garmendia 1986). En este momento histórico se inicia un continuado proceso de demolición de sus tramos, de modo que de los más de 6.000 metros de perímetro original, en la actualidad solo quedan exentos y en pie aproximadamente unos 2.000 metros (Valor Piechotta 2014), de los cuales una parte significativa corresponde al sector localizado en la zona norte del antiguo recinto histórico, ubicado entre las antiguas puertas de Córdoba y de la Macarena (Figura 1).

Este tramo, conocido con el nombre de Muralla de la Macarena, fue declarado Monumento Histórico Nacional el 20 de enero de 1908 en el número 20 de la Gaceta de Madrid. Precisamente, esta consideración fue solicitada con el fin de evitar que este lienzo fuese objeto de un nuevo derribo (Suárez Garmendia 1986).

En relación a su naturaleza material, estas fortificaciones de origen almorávide o almohade en su mayoría, fueron edificadas mediante una técnica constructiva conocida como tapial. Aunque estas tribus del norte de África no fueron los primeros en emplearla, sí que fueron unos de los colectivos que mejor la desarrollaron y adaptaron para muchos usos (Daza et al. 2002). Especialmente fue en la poliorcética donde tuvo mayor difusión a partir de los siglos XII-XIII, encontrándose un amplio y diverso patrimonio militar constituido por

murallas urbanas, castillos y torres, construidos casi en su totalidad con esta técnica.

**Figura 1.** (a) Representación del trazado completo de la muralla histórica de Sevilla (b) Trazado actual del sector Macarena (c) Fotografía actual del estado general de los lienzos de la muralla de la Macarena. Elaboración propia a partir de información proporcionada por la Infraestructura de Datos Espaciales de Sevilla (IDE Sevilla) en su aplicación pública, titulada Catálogo General de Patrimonio Histórico Andaluz en Sevilla: [http://sig.urbanismosevilla.org/jsapi/ideS/SocialMediaViewer/index\\_BIC.html?webmap=e18ed1ee72694170bd0788245c70f57a&showAboutDialogOnLoad=true](http://sig.urbanismosevilla.org/jsapi/ideS/SocialMediaViewer/index_BIC.html?webmap=e18ed1ee72694170bd0788245c70f57a&showAboutDialogOnLoad=true).



Al hablar de tapial, nos referimos a una técnica encofrada para levantar muros, donde en el interior de unas denominadas puertas, previamente ajustadas y fijadas mediante un variado instrumental (codales, fronteras, agujas y tensores), se apisona un material normalmente conformado por tierra, con una determinada humedad que facilitaba alcanzar su mejor compactación. Mientras que los muros de edificaciones domésticas o civiles rondan los 40-60 cm, en el caso de las fortificaciones, se llega a superar ampliamente el metro de grosor. Por este hecho, y buscando una mayor eficiencia en la ejecución, los musulmanes adaptaron el sistema, colocando medias agujas en lugar de las pasantes, sobre las que apoyan los encofrados. Para la fijación

del sistema se empleaba un conjunto de puntales internos y tensores que quedaban perdidos en la masa. Con vistas a poder ejecutar un mayor volumen, los encofrados se realizaban corridos, dejando juntas inclinadas entre distintas fases. Estas particularidades, unidas a los condicionantes del entorno por la dificultad de acceso a ciertos recursos materiales (como la piedra) y a la necesidad de realizar una construcción de forma rápida por la presión militar de los reinos cristianos, condicionaron el desarrollo de esta técnica de construcción con tierra.

Los actuales planes de conservación regionales (Pada 2009) han contemplado e intervenido en algunos recintos fortificados, tanto en tapia como en otras técnicas. Sin embargo, el gran grueso de bienes queda en manos de las administraciones locales y municipales, que corren el riesgo de actuar sin criterios patrimoniales consensuados o lo que es peor, aplicando técnicas de restauración que se han demostrado sobradamente incompatibles con el curso de los años. Desde la década de los 80, las primeras intervenciones en Niebla (Guarner 1983) o las de Sevilla (García-Tapial, Méndez, and Cabeza Méndez 1986, 1989; García-Tapial, Cabeza Méndez, and Méndez 1988), hasta las más recientes (García-Tapial 2006; López Vicente and Vicente 2009; López Martínez and Martínez 1996; Martínez and López Martínez 2012; A. Graciani and Canivell 2014; Canivell and Graciani 2014) han demostrado cómo el empleo de materiales como el cemento *Portland* o el acero no solo no consiguen solucionar el proceso patológico, sino que empeoran el estado de conservación, requiriendo mayores inversiones para solventar los nuevos procesos.

En el referido caso de la Muralla de Sevilla, el tramo más singular corresponde al de la Macarena; 500 metros exentos de lienzos, antemuros o barbicanas, con torres, puertas y portillos. Tras varias campañas de intervenciones llevadas a cabo en los años 80, 90 y en el primera década del siglo XIX, la conservación ha sido una labor puntual, sin estar ligada a un plan de mantenimiento y conservación, lo que unido a una respuesta deficiente de ciertas intervenciones, ha derivado en un estado de conservación deficiente. Abundan las

erosiones, pérdidas de material, arenizaciones, suciedad y residuos, pérdidas de cohesión o desprendimientos parciales de bloques y merlones. Aunque estas afecciones no desestabilizan estructuralmente esta gruesa fábrica, sí desvirtúan totalmente este bien patrimonial reconocido y protegido, e incluso puede afectar accidentalmente a la integridad de viandantes, ya que los lienzos lindan directamente con un viario público peatonal.

Por lo tanto, es necesaria una mirada integral para la conservación, mantenimiento y difusión de sus valores. Actualmente, esto pretende canalizarse mediante la colaboración entre el Ayuntamiento de Sevilla (Gerencia de Urbanismo) e investigadores de la Universidad de Sevilla, que permitirá plantear un procedimiento metodológico para un seguimiento progresivo de los futuros trabajos sobre el monumento. Este desarrollo cubriría las principales fases en este tipo de proyectos de intervención: análisis, diagnóstico, intervención, seguimiento y difusión de los trabajos.

## 7.2. Objetivos

Los principales objetivos de la metodología propuesta son los siguientes:

- Desarrollar un marco metodológico común para evaluar los lienzos existentes de la Muralla de Sevilla, que esté basado en una documentación, caracterización y monitorización y gestionado mediante modelos cartográfico-digitales. Dicha cuestión servirá de base para (1) mejorar la gestión del conocimiento adquirido a cerca de este bien patrimonial, (2) conocer y diagnosticar el estado actual de conservación y (3) establecer criterios de actuación unitarios, adaptados y más eficaces.

Como objetivos específicos del procedimiento metodológico se pretende:

- Evaluar los riesgos y vulnerabilidades de la muralla con la intención de establecer los sectores críticos y la prioridad de las intervenciones.

- Desarrollar una herramienta para gestionar el mantenimiento de los lienzos, basado en un procedimiento de monitorización de parámetros físico-mecánicos y en los mismos modelos cartográfico-digitales.
- Generar una herramienta que, basada en uso de modelos interactivos cartográfico-digitales y plataformas web de carácter institucional, sirva para la difusión de los valores patrimoniales de la Muralla de Sevilla.

### 7.3. Fases metodológicas

El procedimiento metodológico propuesto se desarrollará en las siguientes fases.

- a. Fase documental: Recopilación previa de documentación histórica y evolución de la muralla, así como de los expedientes técnicos de restauración llevados a cabo y sus planteamientos técnicos propuestos. Igualmente se recopilará y analizará la documentación sobre intervenciones arqueológicas.
- b. Fase de digitalización: Partiendo de la documentación gráfica disponible (principalmente, plantas y alzados) provenientes de los expedientes técnicos consultados, se elaborará una cartografía de base detallada. Especialmente relevante serán los alzados de los estudios paramentales provenientes de los expedientes arqueológicos, donde se detallan aspectos concretos del estado actual de los lienzos.
- c. En caso de no disponer de planimetría detallada o previamente digitalizada, se empleará un escaneado digital y la elaboración de una malla por nube de puntos mediante la técnica de fotomodelado. Como resultado se obtendrán no solo la volumetría, sino las rectificaciones fotográficas de cada alzado con texturas reales.
- d. Partiendo de la base cartográfica digital desarrollada por la Gerencia de Urbanismos de Sevilla (GUS), se completarán

- las particularidades no consideradas en determinados elementos (lienzos, barbancas o torres).
- e. Diseño de la estructura del sistema de gestión cartográfica digital (GCD). En base al procedimiento de caracterización y evaluación llevado a cabo por Canivell (Canivell and Graciani 2015; Canivell 2012) y de representación cartográfica a escala arquitectónica propuesto por Mascort-Albea (Mascort-Albea 2018, 2017), se estructurará una base de datos georreferenciada con los nuevos parámetros necesarios para la monitorización. La base de datos recogerá parámetros de índole descriptivo, constructivo y material. Al mismo tiempo se realizará una ficha tipo de toma de datos.
  - f. Asimismo, se diseñará una sectorización de los lienzos y torres en unidades lógicas a anidados a diferentes niveles, que formarán un árbol jerárquico relacionado, donde se volcarán los datos recabados por medio del trabajo en campo y mediante la documentación.
  - g. Fase de toma de datos. En sucesivas visitas con toma de datos se comprobará y actualizará la planimetría disponible. En un segundo periodo, se realizarán los estudios mediante métodos de inspección no destructivos, como la termografía y el georradar, aunque estos datos serán analizados en una fase posterior. Finalmente, una vez determinados los sectores vulnerables, se extraerán muestras para ser caracterizadas y analizadas en laboratorio.
  - h. Fase de caracterización y sensorización. Se elaborará una evaluación preliminar de primer nivel del estado de conservación actual y vulnerabilidades con la finalidad de establecer los sectores más críticos. A continuación, y partiendo de las muestras de materiales de la fase anterior, se elaborarán los ensayos de caracterización de las muestras.
  - i. Paralelamente, se diseñará un prototipo de sensores basados en tecnologías *Open Access* para la monitorización de parámetros físicos-mecánicos de los lienzos (presión, humedad

relativa y desplazamientos de las fábricas, así como datos climatológicos del entorno).

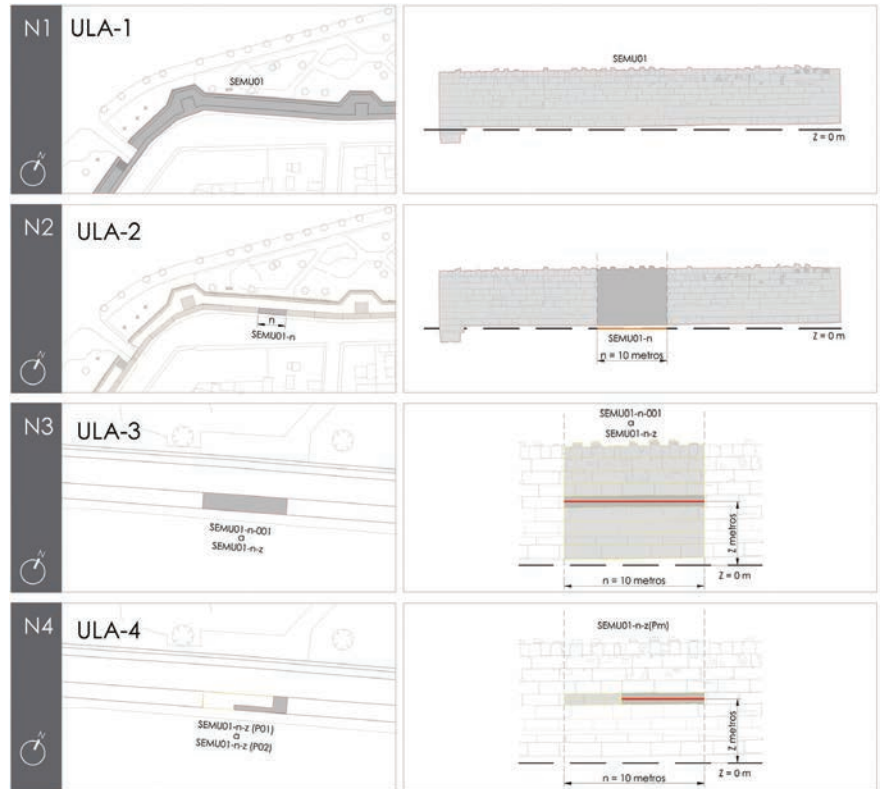
- j. Volcado de datos, actualización y análisis. Se considera el volcado de la información en el sistema GCD desarrollado, tanto los datos correspondientes a la inspección, como los de los ensayos de laboratorio y métodos de inspección. A continuación se actualizarán los parámetros y factores del sistema GCD para realizar una evaluación de riesgos de segundo nivel más precisa, con la que se establecerán los sectores críticos, estrategias de actuación y planificación de un protocolo de conservación y mantenimiento preventivo.
- k. Fase de transferencia y difusión de resultados. En base al sistema GCD y seleccionando los contenidos, se elaborará una guía interactiva relativa a través de una web institucional sobre los valores patrimoniales y museológicos del bien patrimonial. De este modo, los resultados serán revertidos, tanto a la ciudadanía como a aquellos técnicos especializados relacionados con la conservación del patrimonio construido en tierra. Para dicha labor de transferencia se emplearán las herramientas y plataformas institucionales de datos abiertos que la GUS tiene habilitadas para tal fin.

#### **7.4. Estructura y herramientas del sistema GCD**

En primer lugar, es necesario definir el concepto de unidad lógica de análisis (ULA), que es el componente básico del procedimiento metodológico propuesto. Esta unidad es un elemento escalable que corresponde a una entidad geográfica puntual, lineal o poligonal. La clave reside en cómo se conectan y relacionan entre sí las diferentes ULAs, y en su correspondencia con la concepción constructiva de estos muros de tapia. En la Figura 2 se describen gráficamente estas relaciones. Se establecen 4 niveles anidados, N1 a N4. A cada nivel corresponde una ULA y unos atributos por medios de tablas de datos. Cada ULA se identifica con un código alfanumérico, que hace

referencia a la provincia, el tipo de edificación y primer código numérico. El primer nivel (N1) corresponde a la ULA general (ULA-1, para el caso de la Muralla de la Macarena sería SEMU01), un shape poligonal normalmente asociado a una cota Z= 0 metros que engloba todo el perímetro del objeto, en este caso la muralla de la Macarena (torres, lienzos y barbacanas).

**Figura 2.** Relaciones espaciales que se establecen entre las distintas unidades lógicas de análisis (ULAs). Elaboración propia.



Este nivel se subdivide en varios tramos que constituyen el nivel N2 y un conjunto de ULAs (ULA-2, por ejemplo SEMUI01-n, donde n es un número correlativo de 0 a n), que nuevamente corresponden a entidades poligonales de longitud variable “n” metros y asociados también a una cota Z= 0 metros. La extensión de las unidades podría

abarcar desde lienzos completos a tramos más reducidos. Para el caso de la Macarena se han tomado 10 metros, ya que siendo dos codos mamunies  $2 \times 47,12$  cm (Roldán-Medina and Roldán-Medina 2015) –esta medida es el módulo (alto) del cajón almohade (Amparo Graciani and Tabales 2008)–, si se dividen las longitudes libres de lienzos entre torres, obtenemos divisiones aproximadas a 3, 4 o 5 sectores. Los restos hasta completar la longitud del lienzo se dejan ambos lados de las torres, siendo estos otras ULA-2. En cualquier caso, el parámetro  $m$  se puede ajustar según la escala y precisión que se quiera desarrollar. Cada torre se identifica con una ULA-2.

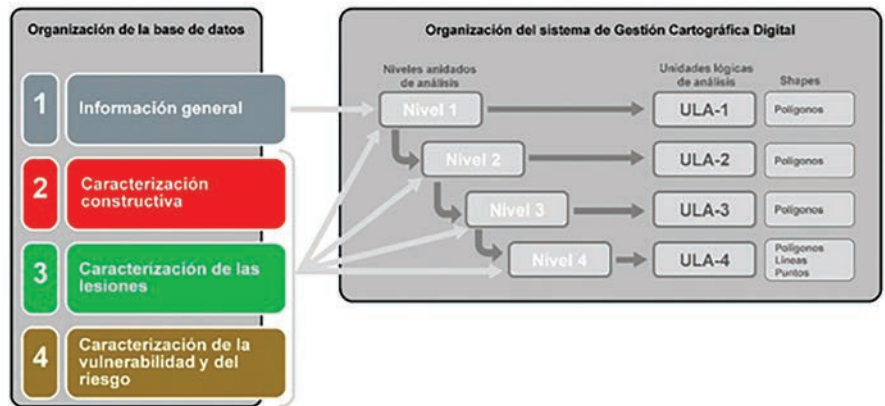
El siguiente nivel anidado N3 corresponde a una ULA (ULA-3, ejemplo SEMU01-n-z, siendo  $z$  una cota positiva o negativa en centímetros en referencia a una rasante cero preestablecida) de geometría poligonal. Estas unidades dividen la ULA-2 en sectores horizontales superpuestos que representan cada uno de los hilos de la fábrica de tapia. Por ello, como el alto del hilo o módulo de la fábrica suele rondar los dos codos mamunies, están separados unos 85-95 cm (85-90 cm para el caso de la Muralla de la Macarena). Por lo tanto, cada ULA-3 tiene asociada una cota  $Z$  diferente y un tramo vertical de muro variable. Por último, el nivel N4 (ULA-4, ejemplo SEMU01-n-z-(Pm/Lm/Dm) donde  $P$ ,  $L$  y  $D$  son elementos polígono, línea o punto respectivamente, y  $m$  es un número correlativo entre 0 y  $m$ ) define detalles dentro de las ULA-3, por lo que en este caso las entidades geográficas serán polígonos, líneas o puntos contenidos en la forma ULA-3. Estas unidades se pueden asociar a cambios de la técnica constructiva, de materiales o presencia de lesiones que afecten parcialmente a la ULA-3.

Este árbol de relaciones no es necesario desarrollarlo por completo para toda extensión del bien. Su nivel de precisión puede ser adaptado según las necesidades de mantenimiento, monitorización o conservación, o a los recursos disponibles. Así, por ejemplo, en determinados tramos con peor estado de conservación o en los que hayan de colocarse dispositivos de monitorización, se podrá profundizar en

el árbol de anidado de ULA y dejar otros sectores con un nivel de caracterización más sencilla.

Para cada nivel anidado se aportarán tablas de datos asociadas, según se detalla en la Figura 3. En términos generales, la tabla de identificación general –que contiene datos de localización, datación, contexto, intervenciones, etc...– sirve de nexo de relaciones con otras tablas que contendrán datos constructivos (técnicas y materiales), a cerca del estado de conservación (lesiones y causas), sobre las vulnerabilidades (evaluación de factores de riesgo) y la monitorización (datos de sensores).

**Figura 3.** *Parámetros destinados a la caracterización de las unidades geográficas. Elaboración propia.*



## 7.5. Conclusiones

Dada la necesidad vigente de definir procedimientos sencillos para la conservación y el mantenimiento predictivo de los bienes culturales, se plantean estrategias encaminadas al uso generalizado de los GIS a una escala arquitectónica. A través de la GDC se aporta un planteamiento metodológico que fomenta el empleo de las herramientas geográficas para la caracterización detallada de la arquitectura patrimonial. Si bien dicho procedimiento puede ser desarrollado mediante herramientas de software libre, también pueden adquirir mayor presencia a través del uso de GIS corporativos y la creación de modelos BIM.

De este modo, se está generando un catálogo de datos espaciales a escala arquitectónica relativos a la muralla histórica de Sevilla, destinado a la conservación preventiva de dicho bien cultural. A través de dicho trabajo, se ha diseñado un modelo predictivo que se adapta a las necesidades del proyecto, los recursos existentes y la particular naturaleza del caso de estudio.

En este sentido, la importancia de establecer criterios unificados queda patente en el planteamiento realizado. Al desarrollar una estrategia metodológica que busca integrar diferentes escalas de resolución y componentes disciplinares, se requiere que el desarrollo de los trabajos adquiera un alto grado de coherencia gráfica, temática y terminológica.

Por otro lado, la información generada se estructurará a través de diferentes componentes temáticas, que debido a su naturaleza transversal servirán como herramienta de trabajo interno para el control y seguimiento del estado material del bien, y adicionalmente, se podrá emplear como instrumento de difusión y musealización del monumento mediante el posterior desarrollo tecnológico de aplicaciones digitales.

Finalmente, se observa como el caso de estudio se adecua a los límites de un trabajo que pretende funcionar como un episodio piloto. Para tal fin, se ha realizado una selección preliminar de elementos representativos para cada unidad de trabajo, de modo que puedan resultar suficientemente significativos para poder extender el modelo creado a la totalidad de los lienzos de la muralla histórica de la ciudad.

## **Agradecimientos**

Los autores quieren expresar su agradecimiento a aquellos agentes e instituciones que han mostrado interés por el presente trabajo, especialmente a la Gerencia de Urbanismo de Sevilla, a través de su Servicio de Renovación Urbana y Conservación de la Edificación, y su Infraestructura de Datos Espaciales de Sevilla. A su vez, el V Plan

Propio de Investigación la Universidad (IDE Sevilla) ha colaborado en la financiación relativa a la redacción de la propuesta.

## Referencias

- Canivell J., *Characterization Methodology to Efficiently Manage the Conservation of Historical Rammed-Earth Buildings*, in *Rammed Earth Conservation*, edited by C. Mileto, F. Vegas, V. Cristini, Rammed Earth Conservation, London, Taylor & Francis Group, 2012, pp. 283-288.
- Canivell J., Graciani A., *Constructive Characterization of Historical Rammed-Earth Walls in Almohad Fortresses in the Ancient Reign of Seville*, in «Arqueología de La Arquitectura», 12, 2015, <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2015.003>.
- Canivell J., Graciani A., *Muralla de Sevilla (1984-2008)*, en *La restauración de la tapia en la Península Ibérica : criterios, técnicas, resultados y perspectivas*, 2014, <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4924184>.
- Daza P.G., Sáez Rodríguez A.J., *Tapial o Fábricas Encofradas En Recintos Urbanos Andalusíes*, en *II Congreso Internacional "La Ciudad En Al-Andalus y El Magreb"* Algeciras, 2002, Granada, Fundación Legado Andalusi, pp. 561-626.
- García-Tapial J., *Proyecto de Rehabilitación de La Muralla de La Macarena (Sector Puerta de Córdoba) Fase III*, Sevilla, 2006.
- García-Tapial J., Cabeza Méndez J.M., *Restauración de La Murallas de La Macarena*, en «Aparejadores: Boletín Del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla», 20, 1986, pp. 9-17.
- García-Tapial J., Cabeza Méndez J.M., *Restauración de Las Murallas Del Jardín Del Valle*, en «Aparejadores: Boletín Del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla», 26, 1988, pp. 26-31.
- García-Tapial J., Cabeza Méndez J.M., *Recuperación de La Cerca Almohade de La Ciudad de Sevilla En El Recinto de La Casa de La Moneda*, en «Archivo Hispalense», 72(220), 1989, pp. 291-297.
- Graciani A., Canivell J., *Revisión de Las Intervenciones En Fábricas de Tapia En Andalucía Occidental*, en *Restauración de La Tapia En La Península Ibérica. Criterios, Técnicas, Resultados, Perspectivas*, edited by F. Mileto, C., Vegas, General de Ediciones de Arquitectura, 2014, pp. 30-41.
- Graciani A., Tabales M.A., *El Tapial En El Área Sevillana. Avance Cronotipológico Estructural*, en «Arqueología de La Arquitectura», 5, 2008, pp. 135-158.
- Guarner I., *La Restauración de La Muralla de Niebla*, en «El Croquis», 14, 1983, pp. 8-9.

- López Martínez F. J., *Tres Experiencias de Intervención Sobre Obras de Tapia, En Murcia, en Actas Del III Congreso Internacional de Rehabilitación Del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. Congreso Internacional de Rehabilitación Del Patrimonio Arquitectónico y Edificación*, Granada, 1996, Madrid, Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, pp. 379-383.
- López Vicente M., *Proyecto Básico y de Ejecución de Reparación de Las Murallas de Niebla, Huelva* [No Publicado], 2009.
- López Martínez F.J., 2012. *Restoration of Rammed Earth Structures*, en *Rammed Earth Conservation*, Mileto, Vegas & Cristini (Eds.), London, Taylor & Francis Group, 2012, pp. 21-27.
- Mascort-Albea E. J., *Mapas Para El Patrimonio: Caracterización Técnica de Las Iglesias Medievales de Sevilla Mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG)*, Universidad de Sevilla, 2018, <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/70745>.
- Mascort-Albea E.J., Meynier-Philip M., *Strategies for Conservation of Religious Heritage in the Metropolitan Area of Lyon/Saint-Étienne (France). Short Research Stay and Methodological Transfer*, en *IDA 2017. 1st International Congress on Advanced Doctoral Research in Architecture*, Sevilla, España, Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Universidad de Sevilla, 2017, pp. 675-684, <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/70006>.
- Mascort-Albea E.J., Ruiz-Jaramillo J., López Larrínaga F., de la Peña Bernal A., *Sevilla, Patrimonio Mundial: guía cultural interactiva para dispositivos móviles*, en «Revista PH», 90 (October), 2016, pp. 152-68, <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/3778>.
- Mascort-Albea Emilio J., *Datos geográficos abiertos para la conservación preventiva del patrimonio arquitectónico*, en «Revista PH», 92, 2017, pp. 228-229, <http://www.iaph.es/revistaph/index.php/revistaph/article/view/3948#.Wed111u0PIU>.
- Morales A.J., *Un Episodio En El Derribo de Las Murallas de Sevilla*, en «Laboratorio de Arte», 25(2), 2013, pp. 689-700, [http://institucional.us.es/revistas/arte/25/vol\\_II/art\\_9.pdf](http://institucional.us.es/revistas/arte/25/vol_II/art_9.pdf).
- Pada, *Plan de Arquitectura Defensiva de Andalucía (PADA)*, 2009, <http://www.juntadeandalucia.es/organismos/cultura/areas/bienes-culturales/programas-conservacion/paginas/programa-conservacion-pada.html>.
- Roldán-Medina F.J., *Análisis Antropométrico de La Mezquita-Catedral de Córdoba*, en «Informes de La Construcción», 67(539), 2015, e093. <https://doi.org/10.3989/ic.14.024>.
- Suárez Garmendia J.M., *Arquitectura y Urbanismo En La Sevilla Del Siglo XIX*, Sevilla, España: Diputación Provincial de Sevilla, 1986.

Valor Piechotta M., *La Muralla Medieval de Sevilla. Otra Interpretación*, en *Sevilla Arqueológica. La Ciudad En Época Protohistórica, Antigua y Andalusí*, edited by José Beltrán Fortes and Oliva Rodríguez Gutiérrez, Sevilla, España: Ayuntamiento de Sevilla; Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 2014.



## 8.

# LE TECNOLOGIE *NO-DIG* PER LA RICERCA, LA MAPPATURA E LA DIAGNOSTICA DELLE RETI

DANIELA LADIANA, MICHELE DI SIVO

### Sommario

Il sottosuolo urbano è progressivamente riconosciuto quale luogo fisico entro cui attivare politiche d'intervento e regole di comportamento coerenti con i principi di sostenibilità ambientale e fattibilità economica e sociale; una vera e propria risorsa di cui è necessario fare un uso razionale, avendo la consapevolezza del suo limite di sfruttamento.

Le pubbliche amministrazioni devono garantire e migliorare le prestazioni delle reti – minimizzando al contempo i costi finanziari e ambientali – mediante metodi e strumenti d'ottimizzazione dei processi al fine di perseguire obiettivi di miglioramento continuo dei livelli di servizio erogati come della sostenibilità delle infrastrutture.

Lo sviluppo delle tecnologie non distruttive per la mappatura, la diagnostica e la riabilitazione delle infrastrutture a rete assume un ruolo di rilievo poiché la necessità di effettuare interventi sulle infrastrutture esistenti minimizzando al contempo gli impatti con le funzioni urbane e con l'ambiente trova in queste una soddisfacente risposta. In questo contributo si descrivono le principali tecnologie per la diagnostica non distruttiva per la mappatura delle reti.

### Parole chiave

Sottoservizi; manutenzione; tecnologie non distruttive; mappatura; strumenti.

### 8.1. La manutenzione programmata dei sottoservizi

La dinamica della crescita delle nostre città<sup>1</sup> porta a riflettere sul dato che quasi la metà del patrimonio infrastrutturale urbano esistente è stata realizzata almeno 50 anni fa, e che tale consistente parte non è certo connotata per la qualità della costruzione o per l'accurato studio, anzi, si manifestano già importanti fenomeni d'obsolescenza e degrado che è necessario contrastare.

La maggiore attenzione dei cittadini ad aspetti quali la qualità della vita, la salute, e la sostenibilità ambientale, inoltre, comporta nuovi livelli d'esigenza rispetto alle prestazioni, già critiche, delle infrastrutture urbane. Si configura, quindi, l'espressione di un significativo bisogno di rinnovo per sostituzione o riqualificazione delle infrastrutture obsolete, insostenibili<sup>2</sup> o al termine del proprio ciclo di vita.

È noto, infatti, che gran parte delle reti idriche e fognarie sta per giungere al termine della propria vita utile e le probabilità di malfunzionamento aumentano con l'avanzare dell'invecchiamento. Si produce, quindi, un inevitabile incremento del tasso di guasto e una diminuzione dei livelli d'affidabilità; pertanto anche nel settore delle *utilities*, sarebbe necessario pervenire ad una programmazione d'interventi di manutenzione di sostituzione o di riabilitazione che rifuggano da quello che si configura, oltre che un vero e proprio "accanimento terapeutico", come un significativo spreco di risorse finanziarie e ambientali.

Gli interventi a guasto avvenuto, reiterati nel tempo, su parti di sub-sistemi che hanno concluso, o sono prossimi a concludere, il proprio ciclo di vita, comportano, infatti, non solo, come si è detto, degli sprechi ma anche importanti interferenze con l'erogazione delle funzioni urbane, senza che, al contempo, si produca alcun vantaggio se non quello di rimandare ad un futuro, in ogni caso molto prossimo, ulteriori interventi anch'essi caratterizzati da una efficacia temporanea.

Un'attenta programmazione delle azioni consentirebbe il risparmio di tali reiterate riparazioni.

Nella pratica del settore, le politiche di gestione sono, invece, generalmente distinte da approcci tesi a ritardare oltre ogni ragionevole

soglia gli interventi di manutenzione, soprattutto nel caso della sostituzione o della riqualificazione di parti consistenti dei sistemi, per procrastinare le spese ingenti che ne derivano; sarebbe, però, opportuno valutare con maggiore attenzione i benefici conseguenti dall'adozione di una tempestiva programmazione delle stesse.

Va rilevato che alla proliferazione dei guasti e dei degradi nelle infrastrutture urbane, nella maggior parte dei casi, è relazionata un incremento dei livelli di rischio; se ne possono formulare alcuni esempi:

- la diminuzione dei livelli di servizio della rete stradale comporta rischi per la circolazione degli autoveicoli oltre che costi sociali ed ambientali derivanti dall'interruzione del traffico;
- le rotture nelle condotte fognarie possono comportare la contaminazione delle acque e del sottosuolo;
- le consistenti rotture delle condotte possono determinare la diminuzione dei flussi idrici con conseguenze rilevanti in caso d'incendio;
- l'inefficienza dei sistemi di evacuazione delle acque pluviali può provocare allagamenti con consistenti danni ai residenti e alle attività economiche e costituire fonte di pericolo per la circolazione veicolare.

Gli esempi citati non sono esaustivi, ma esemplificano come una tempestiva politica d'intervento possa evitare rischi potenziali.

Mantenere o sostituire elementi dei sottoservizi è un interrogativo con il quale i gestori delle *utilities* si confrontano quotidianamente. La scelta non può essere però basata esclusivamente su valutazioni finanziarie sul breve periodo ma su analisi del tipo costi/benefici: oltre ai costi diretti dell'intervento è necessario, infatti, valutare anche i costi indiretti quali l'impatto sulle utenze e le interferenze con le attività cittadine.

Un'infrastruttura in buone condizioni garantisce la possibilità di erogare il livello di servizio cui ogni cittadino ha diritto, mentre un'infrastruttura degradata o menomata nel funzionamento comporta un decremento nella qualità della vita in ordine ai problemi derivanti dai guasti e dai degradi e loro possibili ripercussioni sugli altri sistemi e,

non ultimo, dalle attività derivanti dal ripristino del funzionamento in caso di guasto (produzione di rumore e polveri, possibili danni ad altri sistemi, interferenze con le funzioni urbane, ecc.).

Programmare una manutenzione tempestiva è importante, poiché i livelli di servizio erogati dalle infrastrutture urbane influenzano i fattori di crescita demografica ed economica di una città.

## 8.2. Il contesto normativo

L'importanza della corretta gestione delle reti e del sottosuolo è stato recepito nel nostro Paese per la prima volta a livello normativo dal decreto del P.R. del 16 settembre 1996, n. 610 recante modifiche al decreto P.R. 16 dicembre 1992, n. 495, "Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo codice della strada", in cui si dispone all'art. 54 la realizzazione di cunicoli e gallerie per l'allocazione nel sottosuolo dei pubblici servizi in strutture adeguatamente dimensionate e concepite in modo tale da consentire la manutenzione ordinaria e straordinaria senza la manomissione del corpo stradale e delle sue pertinenze.

Per dare le necessarie precisazioni in materia, il 3 marzo 1999, è stata emanata la Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri – nota come Direttiva Micheli – che prevedendo l'adozione del *Piano Urbano Generale dei Servizi del Sottosuolo* (PUGSS), un nuovo strumento di gestione del sottosuolo urbano, fornisce indicazioni non soltanto per l'ottimizzazione della disposizione delle infrastrutture interrate, ma soprattutto per l'attuare una gestione e un controllo integrati delle attività che riguardano il sottosuolo. Obiettivo della direttiva è, infatti, quello di razionalizzare l'impiego del sottosuolo in modo da favorire il coordinamento per la realizzazione delle opere, facilitare la tempestività degli interventi, consentire la regolare agibilità del traffico ed evitare, per quanto possibile, il disagio alla popolazione dell'area interessata ai lavori ed alle attività commerciali ivi esistenti.

Le finalità connesse sono quelle di contribuire ad evitare gli effetti di congestionamento del traffico causato dalle sezioni occupate, contenere i consumi energetici, ridurre i livelli d'inquinamento, sal-

vaguardare l'ambiente ed il paesaggio nonché realizzare economie a lungo termine.

Vi si legge, infatti:

Le disposizioni stesse sono dirette, altresì, a consentire la facilità di accesso agli impianti tecnologici e la relativa loro manutenzione, e tendono a conseguire, per quanto possibile, il controllo e la rilevazione delle eventuali anomalie attraverso sistemi di segnalazione automatica ed evitare, o comunque ridurre per quanto possibile al minimo, lo smantellamento delle sedi stradali, le operazioni di scavo, lo smaltimento del materiale di risulta fino alle località di discarica ed il successivo ripristino della sede stradale<sup>3</sup>.

Il PUGSS assegna al sottosuolo la funzione di “contenitore ordinato ed intelligente” dei sottoservizi, indicando un processo graduale di sviluppo all'interno di una strategia generale di trasformazione delle modalità di servire la città.

La direttiva consiglia l'utilizzo di strutture sotterranee polifunzionali che permettano la posa dell'insieme dei sottoservizi in una struttura facilmente accessibile, ampliabile con nuovi sistemi e controllabile con videoispezioni.

Per la realizzazione degli impianti nel sottosuolo, in accordo con le Norme Tecniche UNI e CEI pertinenti, sono definite tre categorie standard di ubicazione dei vari servizi:

- a. in trincea previa posa direttamente interrata o in tubazioni sotto i marciapiedi o altre pertinenze stradali;
- b. in polifore, manufatti predisposti nel sottosuolo per l'infilaggio di canalizzazioni;
- c. in strutture polifunzionali, cunicoli e gallerie pluriservizi percorribili.

Il dettato normativo, in sostanza, è finalizzato ad orientare alla corretta gestione delle reti nel sottosuolo urbano mediante la definizione di regole operative e di modalità di controllo.

La direttiva, tra l'altro, si esprime a favore dell'impiego delle tecnologie *trenchless*, ovvero che non prevedano o riducano la manomissione del suolo

[...] relativamente ai servizi interrati, qualora sussistano dubbi sulla effettiva localizzazione degli impianti tecnologici, deve essere valutata, di volta in volta, la possibilità di impiego di sistemi tecnici innovativi che consentano interventi nel sottosuolo senza l'effrazione della superficie, sia per la conoscenza di quanto sottostante (indagine geognostica), sia per la posa di cavi (perforazione orizzontale controllata)<sup>4</sup>.

Il lavoro più consistente è stato, ad oggi, svolto dalla Regione Lombardia che ha legiferato in proposito emanando:

- L.R. Lombardia n. 26/2003 Titolo IV “Disciplina dei servizi di interesse economico generale. Norme in materie di gestione dei rifiuti, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche” (art. 35);
- L.R. Lombardia n. 12/2005 “Legge per il governo del territorio” (art. 9) in cui il PUGSS è considerato parte integrante del Piano dei Servizi nell’ambito dell’elaborazione del Piano di Governo del Territorio (PGT);
- D.G.R. n. 5900 del 21 novembre 2007 “Determinazioni in merito alle specifiche per il rilievo e la mappatura georeferenziata delle reti tecnologiche (art. 37 lett. D.l.r. 26/2003 e art. 4 l.r. 29/1979)”;
- R.R. Lombardia n. 6/2010 “Criteri guida per la redazione dei PUGSS e criteri per la mappatura e la georeferenziazione delle infrastrutture”.

Importante è stata anche l’istituzione del “Laboratorio Sottosuolo” – progetto infraistituzionale e infra-regionale finalizzato ad individuare tecnologie, prassi e modelli organizzativi innovativi per una più razionale gestione del sottosuolo urbano.

### **8.3. Le tecnologie *no-dig* o *trenchless***

*No-dig* (non distruttive) o *trenchless* (senza scavo) sono i sinonimi utilizzati per indicare le tecnologie impiegate nelle operazioni d’installazione, riabilitazione, sostituzione, diagnostica e mappatura di servizi interrati come tubazioni, cavidotti e cavi (acquedotti, fognature, reti elettriche, di telecomunicazione e del gas, ecc.) senza porre in atto, o minimizzando, le operazioni di scavo; ovvero, riducendo gli impatti

con l'ambiente e le attività urbane e contenendo, al contempo, i tempi di esecuzione.

Le tecnologie *no-dig*, pur differenziandosi notevolmente tra loro per impiego, strumentazione adottata e metodi, possono essere sostanzialmente raggruppate in due macro-categorie, tecnologie per:

- la diagnostica, la ricerca e la mappatura di tubazioni interrato;
- la riparazione, la riabilitazione e la sostituzione delle tubazioni esistenti.

Le prime permettono di attuare quelle indagini conoscitive che – unitamente a quelle geologico e geotecniche tradizionali – consentono di compiere le scelte progettuali relative alla tecnica d'intervento; grazie a tali tecnologie è, infatti, possibile localizzare e mappare i servizi interrati ed eseguire ispezioni approfondite dello stato di conservazione delle condotte e delle loro connessioni. Applicazioni importanti sono anche quelle dell'individuazione di perdite in atto o di eventuali allacci abusivi.

Al secondo gruppo appartengono quelle tecnologie che permettono di eseguire la riparazione, la riabilitazione e la sostituzione di condotte esistenti mediante un limitato uso dello scavo.

Tali interventi si distinguono a loro volta in:

- *Strutturali*. Volti al ripristino delle capacità di sopportare i carichi esterni.
- *Non strutturali*. Di ripristino delle capacità operative riducendo le perdite per effetto della chiusura di fessure e crepe delle pareti della condotta.

La scelta dell'adeguata tecnologia d'intervento – con scavo o *no-dig* – deve essere effettuata in modo da ottimizzare le risorse finanziarie, umane e ambientali tenendo conto delle specifiche condizioni espresse dal contesto e dal sito. I possibili benefici derivabili dall'adozione delle TT (*Tecnologie Trenchless*) sono:

- la riduzione dei ritardi dei lavori provocati dalla non conoscenza dei sottoservizi presenti nell'area di cantiere;
- la riduzione dei ritardi dei lavori provocati dalla eventuale rottura di linee in fase di scavo;



**Figura 1.** Indagini-georadar (ENVIA, Studio Associato di Geologia e Geofisica, Bologna).

- la riduzione dei costi di revisione del progetto provocati da cause impreviste;
- la minimizzazione delle interruzioni di servizio agli utenti delle reti;
- la minimizzazione dei disagi arrecati al traffico pubblico e privato;
- la riduzione di eventuali danni al territorio circostante il cantiere;
- la riduzione del livello d'inquinamento acustico;
- il miglioramento nella prevenzione dei rischi da lavoro nei cantieri stradali.

Un ambito privilegiato per l'applicazione delle tecnologie *no-dig* è da considerarsi i contesti storici, dove strade di larghezza limitata con difficoltà a predisporre percorsi alternativi per la mobilità veicolare, presenza di edificato storico con fondazioni poco profonde, consistente presenza di attività e funzioni indispensabili per l'intera città (uffici della pubblica amministrazione, università, attività commerciali, ecc.) costituiscono il complesso di fattori che ne consigliano l'applicazione.

Si preferiscono tali approcci anche per le aree sottoposte a vincolo paesaggistico o storico, o per quelle in cui le relazioni venutasi a determinare nelle fasi di crescita della città tra infrastrutture e edificato hanno prodotto condizioni limite quali la posizione di condotte storiche ancora in uso al di sotto o all'interno d'edifici o a profondità di posa significative rispetto all'attuale piano stradale.

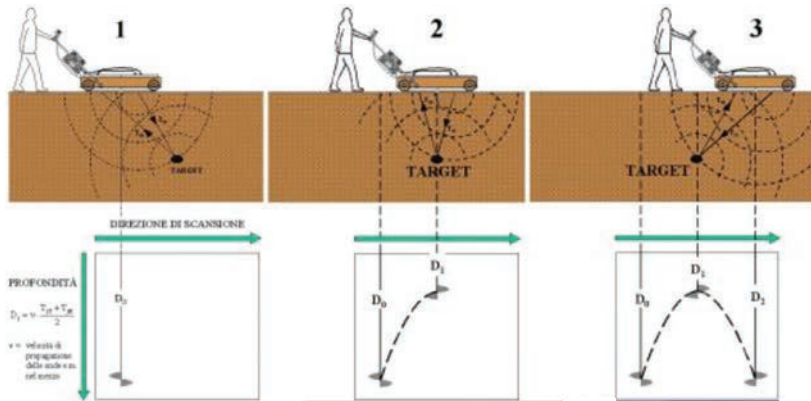
Le TT sono oggetto di studio e di applicazione sempre più diffusa in tutto il mondo, in special modo negli Stati Uniti dove si è sviluppato un ramo dell'ingegneria che va sotto il nome di SUE (*Subsurface Utility Engineering*, definizione presente in *ASCE Standard 38-02* redatto dall'*American Society of Civil Engineers*) che riguarda tutte le operazioni connesse all'attività di mappatura, progettazione, posa e coordinamento di reti di sottoservizi. Le tecnologie, le procedure, le attività sviluppate dalla SUE sono finalizzate a minimizzare costi, rischi e danni ambientali connessi alla realizzazione di nuove infrastrutture sotterranee e alle operazioni di manutenzione di quelle esistenti.

Nel seguito di questo contributo si porrà il focus dell'attenzione sulle tecnologie per la mappatura e la diagnostica poiché s'intende sottolineare come fondamentale la fase della conoscenza delle reti al fine di ottimizzare la programmazione della successiva fase d'intervento, sia essa condotta con tecnologie *trenchless* o tradizionali.

#### **8.4. La mappatura e la diagnostica delle reti**

Per pianificare efficacemente la manutenzione delle reti è necessaria la conoscenza non solo dei materiali, delle tecnologie e dello stato di degrado ma anche l'acquisizione dei dati dimensionali e planoaltimetrici.

La maggior parte dei Comuni non dispone di rilievi aggiornati delle infrastrutture che insistono nel proprio sottosuolo (acqua, gas, energia elettrica, fognature, teleriscaldamento, telecomunicazioni e linee dati) e, ancora meno, di una cartografia georeferenziata; i rilievi, quando esistenti, sono stati eseguiti con criteri e metodologie diverse in funzione delle esigenze e delle capacità operative dei singoli gestori e, quindi, non sono confrontabili. Non sono note, perciò, in nessun caso, le posizioni relative delle reti, conoscenza indispensabile per operare in sicurezza sulla singola infrastruttura senza correre il rischio di danneggiare le altre durante le operazioni di scavo. Ciò comporta una situazione di estrema difficoltà provocata da possibili, o meglio, probabili, quanto imprevedibili interferenze che gli operatori si trovano quotidianamente ad affrontare con la conseguenza di rallentamento dei lavori, varianti ai tracciati previsti o addirittura danni ingenti ad altri sottoservizi (rotture alle condotte idriche e fognarie, tranciamento dei cavi delle fibre ottiche, ecc.).



**Figura 2.** Schema dimostrativo del sistema georadar (Concesse dallo Studio Geondagini).

Il tema della sicurezza degli interventi è interessante, poiché – di là delle responsabilità civili derivanti dai danni provocati ad altre *utilities* – appare davvero singolare che in tale ambito, gli interventi manutentivi rischino quotidianamente di produrre danni maggiori di quelli cui tentano di porre rimedio.

La situazione, già critica, si è poi complicata ulteriormente perdurando a tutt'oggi l'abitudine di non registrare l'ubicazione delle nuove condotte anche nel caso dell'applicazione delle più recenti tecnologie di perforazione orizzontale di cui, se sono note le linee di tracciamento, è certo che se ne ignorano le quote di posa.

L'esecuzione di qualsiasi tipo di intervento nel sottosuolo – è evidente – non può però prescindere dall'acquisizione di quelle conoscenze fondamentali per determinare nella fase progettuale, le più idonee tecniche e metodologie esecutive che consentono di operare in condizioni di sicurezza.

All'inizio della pianificazione di qualsiasi azione di manutenzione sulle reti esistenti è, quindi, indispensabile porre in atto un'accurata campagna conoscitiva per l'acquisizione dei dati riguardanti materiali, dimensioni, ubicazione e stato di degrado. In base ai risultati di tali indagini – unitamente a quelle geologico-geotecniche sui terreni interessati – è possibile compiere le scelte progettuali relative alla tecnologia più adatta alle condizioni rilevate.

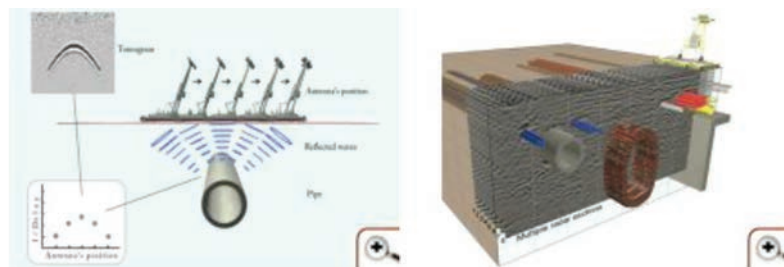
Lo Standard *ASCE 38-02 (Standard Guideline for the Collection and Depiction of Existing Subsurface Utility Data)* definisce 4 livelli d'indagine per classificare la qualità, l'affidabilità delle informazioni inerenti ai sottoservizi. Questi livelli permettono ai tecnici utilizzatori di sapere come sono state raccolte e di riconoscere i casi in cui sono richieste indagini aggiuntive o ulteriori approfondimenti tecnici.

Di seguito sono elencati i 4 livelli *ASCE 38-02*:

- *Livello di qualità D*: informazioni derivanti da dati storici e da materiale cartografico esistente;
- *Livello di qualità C*: informazioni ottenute dalle indagini svolte su manufatti superficiali (tombini, cabine, ecc.) relativi a servizi interrati e correlate con integrazioni derivanti dal livello di qualità D;
- *Livello di qualità B*: informazioni ottenute attraverso l'applicazione di appropriate metodologie geofisiche condotte in superficie per determinare l'esistenza e la posizione planimetrica dei sottoservizi;
- *Livello di qualità A*: precisa localizzazione orizzontale e verticale dei sottoservizi ottenuta mediante verifica con scavo in punti critici per determinare, oltre alla posizione, il tipo, le dimensioni, lo stato di conservazione, il materiale costituente e altre caratteristiche dei sottoservizi stessi.

Questi livelli consentono agli operatori del sottosuolo di conoscere l'affidabilità del dato a loro disposizione e di rapportarlo ai possibili rischi e impatti dell'intervento da programmare.

**Figura 3.** Tecnologia radar multifrequenza per la ricerca di sottoservizi urbani: cavidotti, tubazioni, condotte idriche/gas/fognarie (concessa da GEOSERVICE s.a.s., Villa San Pietro-CA).



La localizzazione e la valutazione dello stato dei servizi interrati possono essere effettuate con: telecamere, georadar, geofoni ed induttori (vedi tabella 1).

L'efficacia e l'uso delle tecnologie *no-dig* per la mappatura e la diagnostica delle reti è legata ad una molteplicità di parametri quali, la profondità di posa, la natura del terreno, il materiale con cui queste sono state realizzate, le loro dimensioni, la prossimità ad altre infrastrutture e le condizioni d'esercizio (con fluido in pressione oppure no).

Per l'efficacia del processo diagnostico, è necessaria una buona cognizione del sistema su cui si opera, delle prestazioni della strumentazione e dei necessari processi d'indagine da porre in atto.

Nella tabella 1 sono specificate le caratteristiche principali degli strumenti attualmente in uso per le indagini non distruttive sui sottoservizi interrati; va rilevato che i limiti della singola strumentazione possono essere efficacemente superati da un uso combinato delle stesse.

## 8.5. Conclusioni

L'attivazione di un adeguato processo manutentivo sui sottoservizi impone come obiettivo primario la conoscenza di tali sistemi. La programmazione degli interventi – dal semplice ripristino delle condizioni anteriori all'evoluzione dei fenomeni di degrado, alla rimozione di possibili cause, agli interventi migliorativi suggeriti dalla possibile non rispondenza agli standard definiti, alla rimozione o riduzione dei rischi eventualmente presenti – impone, infatti, la conoscenza dei materiali, delle dimensioni, delle giaciture e delle quote di posa.

La direttiva Micheli, nel fornire indicazioni per pervenire a forme di gestione dei sottoservizi caratterizzate da maggiore efficienza e rispetto dell'ambiente, indica nelle tecnologie *trenchless* o *no-dig* la via privilegiata al processo diagnostico e alla riabilitazione delle reti. Le tecnologie *no-dig* costituiscono, infatti, una importante opportunità per diminuire gli impatti sull'ambiente urbano e naturale. Va altresì, specificato che anche queste devono essere correttamente gestite per

non generare ulteriori problemi in futuro come nel caso delle perforazioni orizzontali che rischiano di produrre una nuova forma di “inquinamento” del sottosuolo per le quote di posa ignote oltre che estremamente variabili<sup>5</sup>.

Le difficoltà in cui si incorre, attualmente, nella gestione e manutenzione delle infrastrutture in sottosuolo sono state prodotte dalla sconsiderata abitudine di non rappresentarle mentre sono in fase di programmazione e/o di posa; abitudine nella quale, purtroppo, tuttora si persevera.

La pubblica amministrazione dovrebbe assumere un ruolo di programmazione e di controllo più incisivo agevolando il processo di mappatura che oltre alla descrizione delle reti può consentire di pervenire ad ulteriori importanti risultati quali l'individuazione di reperti archeologici, con importanti ricadute per la conoscenza del patrimonio storico-archeologico e la evidenziazione di quelle perdite idriche o fognarie che possono generare il franamento di porzioni stradali.

L'attività di gestione e manutenzione delle reti, a fronte della complessità ed estensione del patrimonio dovrebbe assumere, finalmente, la dimensione di processo di tipo sistemico fornendosi di un linguaggio e di regole codificate che facilitino lo scambio delle informazioni e di un'adeguata strumentazione per l'acquisizione e il governo dei flussi d'informazione, ovvero, di sistemi informativi (GIS dedicati, con software *open source*) che supportino il miglioramento dei processi di conoscenza come dei modelli organizzativi.

**Tabella 1 - PRINCIPALI STRUMENTI PER LA MAPPATURA E LA DIAGNOSTICA DEI SOTTOSERVIZI****Telecamera**

Per effettuare la diagnosi dello stato di degrado delle condotte non in pressione e individuare i punti delle perdite o possibili ostruzioni si può attuare la videoispezione. Tramite tale tecnica è possibile, infatti, pervenire ad una precisa identificazione di tutte le anomalie all'interno della condotta quali: fessurazioni, cedimenti, disassamento dei giunti, ovalizzazioni, schiacciamenti, presenza di corpi estranei; riduzioni di sezione dovuta a depositi, sedimentazioni e presenza di allacci abusivi.

La videoispezione permette di vedere ed individuare i difetti attraverso una telecamera che trasmette in tempo reale le immagini ad un monitor. Secondo la dimensione della sezione della condotta è possibile utilizzare una sonda robotizzata o manuale.

**Georadar**

Noto in campo internazionale con il termine anglosassone di Ground Penetrating Radar, GPR – pone in atto una indagine basata sulla riflessione delle onde elettromagnetiche. Utilizzato nelle condizioni ambientali opportune, è particolarmente efficace per l'analisi stratigrafica degli strati più superficiali delle aree investigate senza interferire sulle loro caratteristiche fisiche, meccaniche e chimiche.

L'indagine consiste nell'invio nel terreno d'impulsi elettromagnetici a diversa frequenza (radio frequenze) generati da gruppi di antenne emittenti e nella misura del tempo impiegato dal segnale a ritornare alle antenne riceventi dopo essere stato riflesso da eventuali discontinuità intercettate durante il suo percorso. Quando le onde elettromagnetiche incontrano il limite tra due materiali con diverse caratteristiche dielettriche, la parte d'energia riflessa è captata dall'antenna ricevente e, in seguito ad un trattamento d'amplificazione e di filtraggio, è visualizzata su un monitor. Le riflessioni possono essere provocate dal cambiamento delle proprietà elettriche del sottosuolo, dalla variazione del contenuto d'acqua, da cambiamenti litostratigrafici, dalla presenza di strutture o da vuoti presenti nel terreno.

### **Induttometro**

Questa tecnica d'indagine si basa sulla misura della variazione dei campi elettromagnetici indotti nel terreno attraverso l'impiego di strumentazioni composte da una bobina trasmittente ed una ricevente movimentate da un operatore.

Le anomalie di campo elettromagnetico si relazionano alla presenza nel sottosuolo di materiali conduttori. Attraverso l'indagine si localizzano i campi magnetici "indotti" su un conduttore; lo strumento può essere utilizzato per l'individuazione di cavi e di tubi metallici, non funziona, invece, per tubazioni di materiale plastico salvo che non siano forniti di nastro d'indicazione con banda metallica. La profondità d'indagine varia in un range da -0,50 a -4,00 metri con una debole dipendenza di penetrazione in funzione del tipo di terreno. L'operatore deve impiegare idonee tecniche di "taglio investigativo" per ridurre al minimo le interferenze di corpi limitrofi anch'essi assorbenti il campo elettromagnetico.

### **Localizzatore acustico**

Per la localizzazione dei vettori in polietilene privi del nastro d'indicazione con banda metallica che ne consentirebbe l'individuazione con l'induttometro, si utilizza una piccola massa battente fissata all'esterno del tubo. Questa, calibrata e regolabile elettronicamente, imprime un rumore a bassa frequenza alla tubazione che si trasmette per medio-piccole distanze che può essere ricevuto mediante l'ausilio di un geofono.

### **Geofono**

È uno strumento che oltre ad essere utilizzato insieme al localizzatore per mappare le condotte in polietilene si rivela di grande utilità per la rilevazione delle perdite non solo d'acqua, ma di un qualsiasi fluido in pressione. Può perciò essere utilizzato nella diagnostica delle reti acquedottistiche, degli impianti antincendio, e degli impianti civili ed industriali. Il principio del suo funzionamento si basa sull'ascolto del rumore provocato dalle vibrazioni meccaniche che la perdita induce sulla tubazione.

## Note

<sup>1</sup> In Italia, l'andamento della produzione edilizia è stato caratterizzato da un importante *trend* di crescita che ha comportato, dagli anni '50 ad oggi, a raddoppiare lo stock abitativo e, conseguentemente, la dimensione delle città. Gli anni '60 sono stati quelli contraddistinti dalla maggiore fase espansiva: le periferie urbane nel loro desolante aspetto costituiscono l'esito di tale forte impulso. Negli anni '80, tale crescita ha subito un significativo rallentamento confermatosi negli ultimi due decenni.

<sup>2</sup> Ad esempio, condotte che comportino consistenti perdite idriche.

<sup>3</sup> Art. 1.3 della Direttiva del 3 marzo 1999: "Razionale sistemazione nel sottosuolo degli impianti tecnologici" (G.U. n. 58 in data 11 marzo 1999), Il Ministro dei Lavori Pubblici - Delegato per le Aree Urbane.

<sup>4</sup> Art. 5.4.

<sup>5</sup> In tale campo sarebbe opportuno imporre l'obbligo alla restituzione in pianta ed in sezione l'esatta ubicazione dei tubi con specificazione delle quote di giacitura almeno ogni 3 m.

## Bibliografia

Bobylev N., *Mainstreaming sustainable development into a city's Master plan: A case of Urban Underground Space use*, in «Land use policy Elsevier», 26, 4, 2009, pp. 1128-1137.

Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n. 46, edizione speciale del novembre 2007, Varese, Laboratorio Sottosuolo della Regione Lombardia, *Atlante dei sistemi geognostici per la mappatura delle reti tecnologiche*.

Committee on Underground Engineering for Sustainable Development, Committee on Geological and Geotechnical Engineering, Board on Earth Sciences and Resources, Division on Earth and Life Studies and National Research Council of the National Academies, *Underground Engineering for Sustainable Urban Development*, The National Academies Press, Washington, D.C., 2013.

Di Sivo M., *Manutenzione Urbana. Strategia per la sostenibilità della città*, Firenze, Alinea, 2004.

Ladiana D., *Urban Maintenance: a Strategy for Sustainability*, in A.A.V.V., *Atti del convegno Sharing Knowledge and Success for the Future*, 18° Euromaintenance 2006 - 3° World-congress of Maintenance, Berna, MM Support GmbH, 2006, pp. 35-39.

Ladiana D. (a cura di), *Manutenzione e gestione sostenibile dell'ambiente urbano*, Quaderno n. 5 del LabQSM, Firenze, Alinea, 2007.

Ladiana D., *Pianificazione della gestione e manutenzione delle infrastrutture urbane. L'approccio top-down e bottom-up*, Quaderno n. 7 del LabQSM, Firenze, Alinea, 2008.

Pinetto L., Casulini R., *La pianificazione del sottosuolo nell'evoluzione normativa e le prospettive di sviluppo nella disciplina lombarda*, in «Sottosopra», Periodico del Laboratorio Sottosuolo realizzato da Regione Lombardia Direzione Generale Reti e Servizi di Pubblica Utilità e Sviluppo Sostenibile, anno 3, numero 3, novembre - dicembre 2009, pp. 16-19.



## MANUTENZIONE E CONSERVAZIONE





## 9.

# LA CONSERVAZIONE PROGRAMMATA DEL PATRIMONIO STORICO-ARCHITETTONICO. TECNOLOGIA DI PROCESSO BASATA SULLA CONOSCENZA E L'INFORMAZIONE

MICHELE DI SIVO

### Sommario

I fenomeni di degrado che sempre più spesso investono il nostro patrimonio storico-architettonico, anche in relazione ai disastri meteorologici, indicano la conservazione programmata come possibile scelta culturale e strategica, un efficace strumento per il mantenimento dei patrimoni e dei loro contesti in relazione ai molteplici fattori di rischio che connotano ciascuno specifico ambito urbano e territoriale.

Conservare attraverso le tecnologie di manutenzione, difatti, può garantire una maggiore permanenza nel tempo, poiché tale approccio si costruisce innanzitutto come strumento di conoscenza, comprensione, dei sistemi nelle loro mutevoli dinamiche di relazione col contesto. L'interesse di questa tecnologia di processo è di aprire la pratica della conservazione a un approccio di tipo processuale che sposta l'interesse dall'evento restaurativo alla sequenza delle azioni di prevenzione, ma anche dal singolo monumento all'insieme del patrimonio di un territorio.

Il saggio mette in evidenza all'interno di questa tecnologia di processo l'importanza della fase della conoscenza e dei suoi strumenti.

Si evidenzia che l'atto conservativo in quanto processo, postula un giudizio critico culturalmente e scientificamente determinato la cui adeguatezza è correlata alla qualità della conoscenza su cui lo stesso ripone; tale atto deve essere fondatamente e periodicamente reiterato per la definizione/aggiornamento delle strategie e delle modalità d'intervento da programmare col progetto di conservazione.

L'apparato conoscitivo, pertanto, si costituisce come fondamentale riguardo all'individuazione delle numerose componenti da mantenere e nella continua programmazione, attuazione, verifica delle previsioni e degli esiti degli interventi, nonché nel permanente adeguamento, affinamento, degli strumenti d'indagine, delle previsioni.

Il processo di conservazione per potersi implementare nel tempo deve essere alimentato da un sistema di conoscenze e da un flusso costante d'informazioni utili a orientare verso l'ottimizzazione delle scelte.

Le operazioni propedeutiche e fondamentali per la scelta delle forme, dei modi e dei tempi degli interventi consistono, infatti, in una costante pratica di analisi, monitoraggio, diagnosi, archiviazione di dati: attraverso i controlli, programmati e periodici, possono essere valutate la validità delle misure adottate nella fase di programmazione, e si possono registrare le eventuali trasformazioni subite dal sistema "Manufatto-Ambiente" in interazione.

I sistemi BIM (Building Information Modelling) del tipo HBIM (Heritage Building Information Modelling) in tale studio sono individuati come fondamentali strumenti poiché consentono una descrizione metrica, qualitativa affidabile, completa e costituiscono l'elemento fondamentale per ogni progetto di conoscenza per la conservazione poiché riducono la complessità della realtà a un modello univoco.

Un importante indirizzo di ricerca nella direzione della costruzione di un processo di conservazione effettivamente di carattere sistemico, ovvero capace di includere l'analisi di tutti i possibili rischi alle diverse possibili scale di interazione del singolo manufatto col proprio contesto, è individuato nella costruzione di strumenti capaci di mettere in relazione il livello di conoscenza dell'edificio con quello del suo contesto territoriale: l'integrazione di BIM e GIS potrebbe consentire una visione più approfondita e relazionale dei fenomeni di rischio.

### **Parole chiave**

Conservazione programmata; processo; conoscenza; informazione; strumenti.

### 9.1. Verso la conservazione programmata

Di fronte ai fenomeni di degrado che investono in modo sempre più frequente il nostro patrimonio storico-architettonico, spesso derivanti dal connubio tra incuria e azione distruttiva del tempo – anche in relazione ai disastri meteorologici, all’inquinamento urbano e ai problemi derivanti dalla mobilità –, la conservazione programmata si configura come una fondamentale e, ormai sempre più ineludibile, scelta culturale e strategica. Questa deve uscire dalla dimensione dello straordinario per avviarsi finalmente verso quella dell’ordinarietà e costituirsi efficace strumento per una conservazione ragionata del patrimonio in una regolare gestione nel tempo che abbia come fine il mantenimento degli edifici e dei loro contesti in relazione ai molteplici fattori di rischio che connotano ciascuno specifico ambito urbano e territoriale.

L’inazione genera condizioni di grave deterioramento dello stato del patrimonio storico: la mancanza d’intervento, nel tempo, conduce a un progressivo incremento del degrado a sua volta causa di ulteriori forme di danneggiamento in un’evoluzione di crescente gravità. Per la conservazione dei manufatti in uno stato voluto è preferibile non attendere di pervenire a livelli di decadimento avanzato e quindi all’*estrema ratio* delle azioni di correzione di tipo episodico come il ripristino mediante interventi di restauro.

Prevedere la manutenzione programmata per la conservazione del patrimonio storico-architettonico, in tal senso, consente di operare un passaggio, prima che tecnico innanzitutto di tipo culturale, dall’*evento* conservativo – *ex-post* la progressione dei fenomeni di danno – il restauro, al *processo* conservativo, la cosiddetta *conservazione programmata* – *ex-ante*, preventiva, rispetto all’evoluzione degli stessi fenomeni.

Tali riflessioni sono state reiterate nel tempo, sin dalla metà dell’Ottocento, senza che ne siano effettivamente conseguiti esiti di tipo applicativo; la manutenzione preventiva, infatti, è viepiù decisamente auspicata per la conservazione del patrimonio storico, ma poi, mai realmente posta in atto.

È possibile registrare tale posizione in diversi autori, la più nota è certamente quella di John Ruskin, che nelle sue *The Seven Lamps of Architecture* del 1849, affermava: «Il principio che vige oggi [...] consiste prima nel trascurare gli edifici per procedere poi al loro restauro. Prendetevi cura solerte dei vostri monumenti, e non avrete alcun bisogno di restaurarli. Poche lastre di piombo collocate a tempo debito su un tetto, poche foglie secche e sterpi spazzati via in tempo da uno scroscio d'acqua, salveranno sia il soffitto che i muri dalla rovina»<sup>1</sup>.

Camillo Boito, nel 1893, si espresse in maniera molto simile evidenziando che «per quanto lodevole possa riuscire il restauro di un edificio, il restaurare deve considerarsi pur sempre una triste necessità. Un mantenimento intelligente deve sempre prevenirla»<sup>2</sup>.

Posizione puntualmente affermata nelle successive carte del restauro.

Nel 1931, la Carta d'Atene, indica, infatti, la necessità di preferire le operazioni di manutenzione rispetto alle attività di restauro, profondamente invasive. Al punto II vi si legge: «La Conferenza ha inteso la esposizione dei principi generali e delle dottrine concernenti la protezione di monumenti. Essa constata che, pur nella diversità dei casi speciali a cui possono rispondere particolari soluzioni, predomina nei vari Stati rappresentati una tendenza generale ad abbandonare le restituzioni integrali e ad evitare i rischi mediante la istituzione di manutenzioni regolari e permanenti atte ad assicurare la conservazione degli edifici»<sup>3</sup>.

Nella stessa si evidenzia la criticità delle problematiche ambientali che impongono adeguati approcci di studio fisici e chimici per porre in atto un'adeguata manutenzione<sup>4</sup>.

Anche nelle Italiane "Istruzioni per il restauro dei monumenti" erogate dal Ministero della Pubblica Istruzione nel 1938, si legge al punto 2 «Costituisce esigenza fondamentale prevenire tempestivamente, attraverso un'attenta manutenzione, ogni causa di deperimento dei monumenti e delle opere d'arte [...]»<sup>5</sup>.

La Carta di Venezia del 1964 nell'articolo 4 afferma, sembrerebbe in modo perentorio: «La conservazione dei monumenti impone anzitutto una manutenzione sistematica».

Raccomandazioni ripetute nel 1972 nella Carta Italiana del Restauro all'Allegato b. Istruzioni per la condotta dei restauri architettonici. «Premesso che le opere di manutenzione tempestivamente eseguite assicurano lunga vita ai monumenti, evitando l'aggravarsi dei danni, si raccomanda la maggiore cura possibile nella continua sorveglianza degli immobili per i provvedimenti di carattere preventivo, anche per evitare interventi di maggiore ampiezza»<sup>6</sup>.

Negli anni Sessanta Cesare Brandi, fondatore dell'ICR, teorizza il concetto di "restauro preventivo", indicando con tale tipo d'intervento l'insieme delle azioni che consentono di evitare o ritardare il vero e proprio restauro, per così dire, di ripristino.

«[...] per restauro preventivo deve intendersi tutto ciò che mira a prevenire la necessità di un intervento di restauro sicché il restauro preventivo si pone non meno importante del restauro effettivo. E al restauro preventivo dovrebbero indirizzarsi le autorità preposte alla conservazione delle opere d'arte. [...] È chiaro, a questo punto, che non meno che nel restauro effettivo, dovranno confluire nel restauro preventivo i risultati, le scoperte, le invenzioni scientifiche che abbiano riferimento ai campi che interessano la sussistenza dell'opera d'arte: dalle ricerche sulla luce e sugli effetti della luce alla scelta delle sorgenti luminose, e così per il calore, l'umidità, le vibrazioni, i sistemi di condizionamento, di imballaggio, di sospensione, di disinfestazione. In tal senso l'elenco non potrà mai risultare definitivo, ma richiederà aggiornamenti continui»<sup>7</sup>.

La cultura di manutenzione, s'inizia a diffondere con l'affermazione delle teorie brandiane di prevenzione avverse all'invasività dei restauri tradizionali.

L'allievo di Cesare Brandi, Giovanni Urbani, alla direzione dell'Istituto Centrale di Restauro, ritiene anch'egli indispensabile adottare strategie conservative volte a salvaguardare l'autenticità materiale dell'opera; muovendo dall'idea del restauro preventivo di Brandi mette a punto un approccio che chiama "conservazione programmata" che propone un sistematico controllo delle condizioni sia dell'oggetto sia dell'ambiente di conservazione, «per rallentare quanto più

*possibile la velocità dei processi di deterioramento, intervenendo in pari tempo e se necessario con trattamenti manutentivi appropriati ai vari tipi di materiali»<sup>8</sup>.*

Nella sequenza delle Carte del Restauro, anche le successive Carta della Conservazione e del Restauro degli Oggetti d'Arte e di Cultura<sup>9</sup> del 1987, nonché la Carta di Cracovia<sup>10</sup> del 2000, hanno ribadito l'eccezionalità dei restauri e la preferenza della prassi conservativa, da attuarsi attraverso il controllo ambientale, le ispezioni e il monitoraggio.

## **9.2. La Conservazione programmata come processo**

Sin dalle prime riflessioni di John Ruskin fino agli scritti degli autori della cultura europea del restauro, la tutela del patrimonio storico attraverso la manutenzione è vista come quella che meglio si accorda con un approccio alla conservazione che sia al contempo il più cautelativo possibile – implicando il minimo intervento e la massima considerazione per l'autenticità dell'opera – e che presenti un carattere metodologicamente trasmissibile. La conservazione programmata rappresenta, difatti, una pratica di cura vigile e continuativa dei monumenti, che non implica inserzioni e mutamenti nella compagine costruttiva e strutturale dell'edificio ma ne prolunga la vita utile, mantenendo nel tempo le prestazioni e l'utilità residue.

I concetti di manutenzione e conservazione come cura costante si connotano, in tale interpretazione come importanti avanzamenti culturali, scelta di civiltà e di sviluppo, orientamenti di grande portata perché finalizzati a tramandare nel tempo il patrimonio edilizio e ambientale di valore storico che costituisce la memoria di una collettività.

Conservare attraverso le tecnologie di manutenzione può garantire al patrimonio pervenuto sino a noi una maggiore permanenza nel tempo, ciò in ordine al fatto che questo approccio si costituisce, innanzitutto, come fondamentale strumento di conoscenza, comprensione, riappropriazione dei sistemi oggetto di studio non astrattamente isolati ma nelle mutevoli dinamiche di relazione col contesto.

La manutenzione, intesa non come azione, ma come disciplina scientifica, è sorta nel campo bellico e si è progressivamente estesa agli altri settori: quello aeronautico, della produzione industriale e, in seguito, in quello edilizio, sviluppando, in ciascun ambito, specifiche declinazioni. Sembrerebbero maturi i tempi – se non per la sua efficacia, per una progressiva diminuzione della spesa pubblica – per favorire la sua affermazione anche nel mondo dei Beni Culturali.

La manutenzione programmata, nell'ambito della conservazione, sostituisce alla sua finalità primaria del mantenimento dello stato di efficienza di un sistema, quella della *preservazione dell'oggetto essenzialmente nel suo ordine materico e morfologico*, nella dimensione e significato di monumento-documento, così come ci è stato consegnato dal passato in vista di una sua trasmissione al futuro.

Giovanni Urbani nel suo *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria* fornisce la definizione di conservazione programmata:

«Una simile tecnica, alla quale qui diamo il nome di conservazione programmata, è di necessità rivolta prima che verso i singoli beni, verso l'ambiente che li contiene e dal quale provengono tutte le possibili cause del loro deterioramento. Il suo obiettivo è pertanto il controllo di tali cause per rallentare quanto più possibile la velocità dei processi di deterioramento, intervenendo, ove necessario, anche con trattamenti manutentivi appropriati ai vari tipi di materiali»<sup>11</sup>.

L'approccio manutentivo alla salvaguardia e alla conservazione proposto da Giovanni Urbani, nel corso degli ultimi anni, sia pure condiviso dalla comunità scientifica, non è ancora entrato a far parte della cultura dei diversi attori che intervengono nel processo di conservazione del patrimonio storico-architettonico sul territorio. Questi, difatti, spesso, disattendono le modalità della conservazione programmata; sembrerebbe pertanto, non propriamente acquisita l'importanza dell'organizzazione scientifica del processo manutentivo, inteso non, come talvolta accade, in termini riduttivi, di semplice messa in atto di azioni tecnico-operative ma come capacità di organizzare un processo complesso volto a conoscere, studiare, ciascun edificio e a

gestire nella sua globalità il patrimonio affidato continuativamente nel tempo.

La gestione di un processo complesso di carattere multidisciplinare come quello della conservazione programmata postula l'acquisizione di *nuove capacità manageriali e organizzative*, lo sviluppo di nuove competenze nelle figure professionali responsabili e in tutti gli altri i soggetti interessati al fine dell'ottimizzazione di tutti i processi collegati, ampliando il discorso del restauro verso una dimensione di crescita delle competenze e di capacità operativa, istituzionali, imprenditoriali e professionali in ciascuno specifico territorio.

L'interesse di questa tecnologia di processo è di aprire la pratica della conservazione a un approccio di tipo processuale che sposta l'interesse non solo, come si è sottolineato, dall'evento restaurativo alla sequenza temporale delle azioni di prevenzione, ma anche dal singolo oggetto architettonico all'insieme degli stessi, ovvero dal singolo monumento all'insieme del patrimonio di un territorio, ma viepiù dal risanamento del degrado del singolo edificio alla complessità delle relazioni che questo intesse con i fattori contestuali siano essi di carattere antropico o naturale alla piccola come alla grande scala.

La manutenzione programmata per la conservazione, infatti, rappresenta un approccio sia programmatico sia operativo dove ciascun intervento è ricondotto a un sistema di azioni coerenti con la formulazione di una programmazione tecnica e gestionale ad ampio spettro che contempla la valutazione delle condizioni del singolo edificio, delle precedenze e priorità d'intervento nell'ambito del patrimonio complessivamente valutato e delle risorse disponibili dal punto di vista finanziario. Si tratta di un approccio volto al deciso superamento della cultura del restauro inteso come evento episodico ed esclusivamente riparativo di danni conclamati e consistenti, a vantaggio di una nuova visione di tipo *processuale* e quindi continua nel tempo dell'attività di conservazione e che pretende di realizzare condizioni per la permanenza dell'edificio alla luce di una costante attenzione alla sua evoluzione fisica ma anche funzionale.



**Figura 1.** Licheni (foto di ing. Antonio Baldini, Carrara)



**Figura 2.** Effetti sulla pietra dei processi erosivi (foto prof. Michele Di Sivo).

La conservazione preventiva, difatti, non consiste esclusivamente nell'agire per impedire danni e degradi ma vigila sui meccanismi legati all'utilizzo e all'abbandono valutando idonei usi in una logica di rivalorizzazione permanente dell'oggetto.

Il progetto di manutenzione per la conservazione si pone come scelta che si attua nel presente riferendosi alla dimensione futura sulla base di dati che possono mutare tanto più ci si allontana dall'oggi; si propone come organizzazione processuale, tanto più complessa quanto più numerosi sono gli elementi in gioco.

La base fondante di tale approccio consiste in un impegno continuo finalizzato alla *conoscenza* del "sistema ambiente-manufatto-u-so" nei suoi singoli componenti.

L'apparato conoscitivo si costituisce come fondamentale riguardo all'individuazione delle numerose componenti da mantenere e nella continua programmazione, attuazione, verifica delle previsioni e degli esiti degli interventi, nonché nel permanentemente adeguamento, affinamento, degli strumenti d'indagine, delle previsioni.

Le operazioni propedeutiche e fondamentali per la scelta delle forme, dei modi e dei tempi degli interventi consistono, infatti, in una costante pratica di analisi, monitoraggio, diagnosi, archiviazione di dati: attraverso i controlli, programmati e periodici, possono essere valutate la validità delle misure adottate nella fase di programmazione, e si possono registrare le eventuali trasformazioni subite dal sistema in interazione "Manufatto-Ambiente".

Il processo di conservazione, quindi, per potersi implementare nel tempo deve essere alimentato da un sistema di conoscenze e da un flusso costante d'informazioni utili a orientare verso l'ottimizzazione delle scelte.

### 9.3. Il progetto conservativo e la conoscenza

La conservazione preventiva e programmata è una metodologia di carattere tecnico e manageriale finalizzata alla salvaguardia fisica del patrimonio storico-architettonico, fondata sull'attenta individuazione delle situazioni di rischio e sulla pianificazione sistematica d'inter-

venti manutentivi a bassa invasività. Il fine è di evitare/procrastinare importanti interventi di restauro con evidenti vantaggi di ordine economico e culturale.

La conservazione programmata definisce criteri, metodi e procedure che consentono di progettare, programmare ed eseguire gli interventi di manutenzione sul patrimonio architettonico monumentale in funzione di due dimensioni fondamentali: la *durata*, attraverso il massimo contenimento possibile dei processi di decadimento del costruito e della sua consistenza fisica, e la *sicurezza* attraverso la prevenzione di tutti i possibili rischi che possono minacciare il monumento.

Si tratta di una tecnologia di carattere innovativo che consiste in un approccio sistemico all'organizzazione di processi, riferiti alla scala territoriale come al più minuto componente, per la prevenzione di tutti i possibili rischi che gravano sull'edificio. Pilastro di questa tecnologia è la *conoscenza* del manufatto e del suo intorno e l'aggiornamento della stessa in relazione all'evoluzione delle dinamiche di degrado o di possibile danno.

Tale assunzione, già ampiamente condivisa nella comunità scientifica, ha ricevuto una significativa formalizzazione nel *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio* (il cosiddetto Codice Urbani del 2004) che, nell'articolo 29, recepisce e promuove l'innovativo approccio sistemico al tema della conservazione spostando l'accento dall'intervento diretto sul singolo bene al complesso delle attività "indirette" di studio, di monitoraggio e di diagnosi<sup>12</sup>.

La conservazione programmata, per lo sviluppo delle procedure connesse al processo di gestione del patrimonio storico, deve necessariamente dotarsi di un approccio capace di restituire la complessità dei fenomeni e della rete di relazioni fra gli stessi; la normativa individua un possibile modello metodologico-concettuale nel cosiddetto "approccio sistemico", introdotto da Von Bertalanffy con la sua Teoria Generale dei Sistemi<sup>13</sup>.

Si presenta, quindi, come di assoluta rilevanza il problema della *conoscenza*. Nell'ottica sistemica, la conservazione programmata in

quanto processo, postula nelle sue prime fasi, e poi ciclicamente nel tempo, di acquisire, e progressivamente approfondire, la conoscenza relativa all'organismo edilizio in merito alle tecniche, agli strumenti e ai materiali utilizzati, alle evoluzioni subite nel corso della storia, alle condizioni di rischio derivanti dall'ambiente urbano e territoriale.

L'atto conservativo in quanto processo, postula un giudizio critico culturalmente e scientificamente determinato – di lettura e interpretazione del manufatto e dei fenomeni che lo coinvolgono – la cui adeguatezza è correlata alla qualità della conoscenza su cui lo stesso ripone; tale atto deve essere fondatamente e periodicamente reiterato – in ordine all'evoluzione di fattori intrinseci ed estrinseci al manufatto –, per la definizione/aggiornamento delle strategie e delle modalità d'intervento da programmare col progetto di conservazione.

Lo studio, l'analisi dell'edificio, del suo ambiente, il controllo dei processi naturali o patologici di degrado si configurano come gli elementi di conoscenza e informazione indispensabili ad alimentare l'attività di manutenzione/conservazione programmata poiché permette di acquisire un'approfondita conoscenza dell'organismo architettonico e, quindi, di sviluppare la capacità di prevedere – e quindi prevenire – l'evoluzione delle azioni degradative o di possibile danno.

L'intervento conservativo, difatti, deve essere fondato su dati scientifici acquisiti attraverso l'impiego dei mezzi più appropriati che l'evoluzione delle tecnologie mette a disposizione, tenendo conto del carattere interdisciplinare del problema investendo i campi della chimica, della fisica, della biologia, della geologia, dell'informatica. La necessità di conoscere e documentare il patrimonio storico, di fatti, si confronta con un ampio spettro di possibili caratterizzazioni di elementi, di parti, di dinamiche, di relazioni, presupponendo la messa in atto di studi di carattere multidisciplinare i cui esiti devono condurre alla sicura individuazione dei necessari interventi conservativi declinati negli aspetti del consolidamento statico e strutturale o dell'integrità dei componenti e della materia di costruzione e, ove possibile, di riduzione/eliminazione di tutti i possibili rischi legati al contesto.



**Figura 3.** Alveolizzazione causata da degrado (foto di ing. Antonio Baldini, Carrara).

Il tema della conoscenza e della messa in atto di un flusso costante d'informazioni comporta la necessità dell'adozione di strumenti e metodi capaci di ottimizzare la conoscenza del singolo edificio come dell'insieme degli elementi che costituiscono il patrimonio di un determinato territorio.

Una descrizione metrica affidabile e completa costituisce l'elemento fondamentale per ogni progetto di conoscenza per la conservazione poiché riduce la complessità della realtà a un modello univoco. In particolare, la fotogrammetria digitale ed i sistemi di scansione 3D inducono a rilevare tridimensionalmente e con risoluzioni elevate i corpi edilizi non restituendo semplicemente i volumi in termini di geometrici ma nella loro materialità.

All'evoluzione della documentazione tridimensionale è corrisposto negli ultimi anni un uso sempre più diffuso a livello internazionale dei sistemi BIM (*Building Information Modelling*) del tipo HBIM (*Heritage Building Information Modelling*) i cui utilizzi nel campo della conservazione lasciano presagire nuovi sviluppi.

La ricerca in questo campo è orientata, infatti, a determinare metodi e strumenti utili a realizzare archivi digitali di dati relativi alla descrizione geometrica e morfologica della fabbrica, all'articolazione delle componenti costruttive con le relative informazioni materiche, all'analisi e agli studi derivanti dai processi diagnostici.

Una delle tematiche più interessanti sulle quali è in atto la ricerca per l'innovazione nel campo dei sistemi di modellazione HBIM è la creazione di strumenti capaci di portare la gestione e il controllo del processo di conservazione su piattaforme interoperabili per potenziare ulteriormente la capacità di programmare la conservazione dei patrimoni mediante lo scambio e la condivisione di dati tra i diversi operatori che intervengono nel processo anche su base territoriale. Tale risultato può essere attuato attraverso l'ideazione di strumenti progettuali avanzati e integrati, basati sui sistemi BIM e GIS.

Il sistema GIS potrebbe consentire di estendere il valore dei dati di progettazione del *Heritage Building Information Modelling* digitale attraverso la visualizzazione e l'analisi delle strutture interessate

nell'ambiente di contesto. L'integrazione di BIM e GIS potrebbe difatti consentire una visione più approfondita e relazionale dei fenomeni di rischio al fine di generare un migliore processo di decisione, comunicazione e comprensione relativo la conservazione dei monumenti.

#### **9.4. Conclusioni**

La conservazione del patrimonio storico intesa come prevenzione del degrado è ormai riconosciuta e condivisa come l'approccio che consente la conservazione dell'autenticità dei beni culturali.

Anche se appare evidente che la transizione verso questo modello non si attuerà a breve termine, si può, comunque, oggi registrare una diffusa e accresciuta attenzione verso la "conservazione programmata" come ambito prioritario di ricerca applicata.

Si tratta di dispiegare, per ciascun manufatto e per il loro insieme in un determinato contesto, un processo volto a studiare, osservare, misurare le condizioni di conservazione, valutare l'efficacia e la periodicità delle azioni manutentive, nonché individuare e analizzare tutte le possibili fonte di rischio e le corrispondenti forme di prevenzione e protezione.

Elementi di riflessione sono correlati alle modalità d'implementazione dei sistemi di gestione della conservazione programmata in quanto processo complesso di programmazione di strategie, progetti e azioni conservative che riguardano la piccola come la grande scala. L'inveramento di tale processo postula il potenziamento delle capacità professionali dei tecnici e lo sviluppo di un mercato d'impresie orientate all'erogazione di servizi avanzati legati alla diagnostica e alla gestione e popolamento dei sistemi informativi.

La ricerca deve essere pertanto sempre più orientata a sviluppare ottimizzare gli strumenti per il governo dei sistemi di conoscenza legati ai processi di conservazione per il potenziamento dell'efficacia e dell'efficienza delle scelte e delle azioni volte alla permanenza del patrimonio storico-architettonico.

## Note

<sup>1</sup> La lampada della memoria, pp. 209-230. Di seguito vi si legge: «Vigilate su un vecchio edificio con attenzione premurosa; proteggetelo meglio che potete e ad ogni costo, da ogni accenno di deterioramento. Contate quelle pietre come contereste le gemme di una corona; mettetegli attorno dei sorveglianti come se si trattasse delle porte di una città assediata; dove la struttura muraria mostra delle smagliature, tenetela compatta usando il ferro; e dove essa cede, puntellatela con travi; e non preoccupatevi per la bruttezza di questi interventi di sostegno: meglio avere una stampella che restare senza una gamba. E tutto questo, fatelo amorevolmente, con reverenza e continuità, e più di una generazione potrà ancora nascere e morire all'ombra di quell'edificio».

Ruskin, J., *The Seven Lamps of Architecture*, London, 1849, trad. it., *Le sette lampade dell'architettura*, con presentazione di Di Stefano R., Milano, Jaca Book, 1982.

<sup>2</sup> Camillo Boito, *Restaurare o conservare. I restauri in architettura. Dialogo primo*, in *Id., Questioni pratiche di belle arti. Restauri, concorsi, legislazione, professione, insegnamento*, Hoepli, Milano, 1893, pp. 3-32.

<sup>3</sup> Carta d'Atene (1931) punto II «La Conferenza ha inteso la esposizione nei principi generali e delle dottrine concernenti la protezione di monumenti. Essa constata che, pur nella diversità dei casi speciali a cui possono rispondere particolari soluzioni, predomina nei vari Stati rappresentati una tendenza generale ad abbandonare le restituzioni integrali e ad evitare i rischi mediante la istituzione di manutenzioni regolari e permanenti atte ad assicurare la conservazione degli edifici. Nel caso in cui un restauro appaia indispensabile in seguito a degradazioni o distruzioni, raccomanda di rispettare l'opera storica ed artistica del passato, senza proscrivere lo stile di alcuna epoca. La Conferenza raccomanda di mantenere, quando sia possibile, la occupazione dei monumenti che ne assicura la continuità vitale, purché tuttavia la moderna destinazione sia tale da rispettare il carattere storico ed artistico».

<sup>4</sup> Carta d'Atene (1931) punto VI «La conferenza constata che nelle condizioni della vita moderna i monumenti del mondo intero si trovano sempre più minacciati dagli agenti esterni; e, pur non potendo formulare regole generali che si adattino alla complessità dei casi, raccomanda:

1) la collaborazione in ogni paese dei conservatori dei monumenti e degli architetti coi rappresentanti delle scienze fisiche, chimiche, naturali per raggiungere risultati sicuri di sempre maggiore applicazione;

2) la diffusione, da parte dell'Ufficio internazionale dei Musei, di tali risultati mediante notizie sui lavori intrapresi nei vari Paesi e le regolari pubblicazioni. La Conferenza, nei riguardi della conservazione della scultura monumentale, considera che l'asportazione delle opere dal quadro pel quale furono create è come principio da ritenersi inopportuna. Essa raccomanda a titolo di precauzione la conservazione dei modelli originari, quando ancora esistono, e l'esecuzione dei calchi quando essi mancano».

<sup>5</sup> Istruzioni per il restauro dei monumenti (1938), punto 2 «Costituisce esigenza fondamentale prevenire tempestivamente, attraverso un'attenta manutenzione, ogni causa

di deperimento dei monumenti e delle opere d'arte; a tale garanzia preventiva, diretta alla conservazione del dato storico nella sua integrità, deve particolarmente indirizzarsi l'attività degli Uffici Governativi preposti alla tutela del patrimonio artistico, con la partecipazione di tutti gli Enti pubblici e privati comunque interessati».

<sup>6</sup> Carta Italiana del Restauro, 1972, Allegato b. Istruzioni per la condotta dei restauri architettonici.

<sup>7</sup> «Restauro preventivo è direzione inconsueta che potrebbe anche indurre nell'errore di credere che possa esservi una specie di profilassi che, attuata come una vaccinazione, possa immunizzare l'opera d'arte nel corso del tempo. Viceversa, per restauro preventivo deve intendersi tutto ciò che mira a prevenire la necessità di un intervento di restauro sicché il restauro preventivo si pone non meno importante del restauro effettivo. E al restauro preventivo dovrebbero indirizzarsi le autorità preposte alla conservazione delle opere d'arte. L'importanza del restauro preventivo, come prevenzione e salvaguardia, si trova naturalmente affermata nella definizione del restauro, identificato nel momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte e non già in base ai procedimenti tecnici ai quali è demandato l'intervento di restauro.

Come prevenzione e salvaguardia dell'opera d'arte, il restauro preventivo si dirama nelle direzioni più varie, e la definizione di queste direzioni dovrà essere dedotta dalla natura dell'opera d'arte. In quanto l'opera d'arte si definisce in primo luogo nella sua duplice polarità storica ed estetica, la prima direttiva d'indagine sarà quella relativa a determinare le condizioni necessarie per il godimento dell'opera e come opera d'arte e come monumento storico. In secondo luogo l'opera d'arte si definisce nella materia o nelle materie di cui consta: e qui l'indagine dovrà essere portata sullo stato di consistenza della materia, e successivamente sulle condizioni ambientali, in quanto ne permettano, ne rendano precaria, o direttamente ne minaccino la conservazione. È chiaro, a questo punto, che non meno che nel restauro effettivo, dovranno confluire nel restauro preventivo i risultati, le scoperte, le invenzioni scientifiche che abbiano riferimento ai campi che interessano la sussistenza dell'opera d'arte: dalle ricerche sulla luce e sugli effetti della luce alla scelta delle sorgenti luminose, e così per il calore, l'umidità, le vibrazioni, i sistemi di condizionamento, di imballaggio, di sospensione, di disinfestazione. In tal senso l'elenco non potrà mai risultare definitivo, ma richiederà aggiornamenti continui». Brandi C., *Teoria del restauro*, Lezioni raccolte da L. Vlad Borrelli, J. Raspi Serra, G. Urbani, Edizioni di Storia e Letteratura, Roma, 1963.

<sup>8</sup> Urbani G., *Intorno al restauro*, Skira, Milano, 2000.

<sup>9</sup> Carta della Conservazione e del Restauro degli Oggetti d'Arte e di Cultura 1987 Definizioni. «Manutenzione: l'insieme degli atti programmaticamente ricorrenti rivolta a mantenere le cose di interesse culturale in condizioni ottimali di integrità e funzionalità, specialmente dopo che abbiano subito interventi eccezionali di conservazione e/o restauro». Provvedimenti di conservazione. «Conservazione e restauro possono non essere uniti e simultanei, ma essi sono complementari e in ogni caso un programma di restauro non può prescindere da un adeguato programma di salvaguardia, di manutenzione e prevenzione».

<sup>10</sup> Carta di Cracovia 2000, nata in seguito alla conferenza internazionale sulla conservazione dei Beni Culturali. Scopi e metodi: «La manutenzione e riparazione sono una parte fondamentale del processo di conservazione del patrimonio. Queste operazioni devono essere organizzate tramite la ricerca sistematica, le ispezioni, il controllo, il monitoraggio e le prove. Il possibile degrado deve essere previsto e descritto nonché sottoposto ad appropriate misure di prevenzione».

<sup>11</sup> Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Istituto Centrale del Restauro (1976), Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Progetto esecutivo, TECNECO, Roma.

<sup>12</sup> Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”. Articolo 29.

«1. La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro.

2. Per prevenzione si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto.

3. Per manutenzione si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell’integrità, dell’efficienza funzionale e dell’identità del bene e delle sue parti.

4. Per restauro si intende l’intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all’integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l’intervento di miglioramento strutturale».

<sup>13</sup> L’approccio sistemico si costituisce come rilevante poiché consente di effettuare una lettura dei singoli fenomeni come parte di un tutto, piuttosto che come elementi isolati, e richiede la capacità di riconoscere la vasta articolazione, l’interdipendenza e l’interazione tra i diversi possibili nuclei di fattori, valori e potenzialità in gioco, tali per cui le attività conoscitive e le azioni su un elemento del sistema o del sub-sistema implicano variazioni ed effetti anche sulle altre variabili. Bertalanffy L., *General System Theory. Development, Applications*, George Braziller, New York, 1968.

## Bibliografia

Bertalanffy L., *General System Theory. Development, Applications*, New York, George Braziller, 1968.

Boito C., *Restaurare o conservare. I restauri in architettura. Dialogo primo*, in Id., *Questioni pratiche di belle arti. Restauri, concorsi, legislazione, professione, insegnamento*, Milano, Hoepli, 1893.

Brandi C., *Teoria del restauro*, Lezioni raccolte da L. Vlad Borrelli, J. Raspi Serra, G. Urbani, Roma, Edizioni di Storia e Letteratura, 1963.

- Buono C., *La manutenzione dei monumenti. Impostazione metodologica per un nuovo approccio alla manutenzione dei beni architettonici: principi e orientamenti*, in «Manutenzione. Tecnica e Management», 11(11), 2004, pp. 15-18.
- Cattaneo M., Di Sivo M., Furlanetto L., Ladiana D., *Cultura di manutenzione*, Firenze, Alinea, 2009.
- Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”. Articolo 29.
- Della Torre S. (a cura di), *La conservazione programmata del patrimonio storico- architettonico: linee guida per il piano di manutenzione e il consuntivo scientifico*, Milano, Guerini, 2005.
- Della Torre S., Pracchi V., *Il restauro tra evento e processo: sfumature di significato nel concetto di minimo intervento*, in *Il minimo intervento nel restauro*, Atti del convegno di Siena, Firenze, Nardini, 2004, pp. 27-38.
- Di Sivo M., *Il progetto di manutenzione*, Firenze, Alinea, 1987.
- Di Sivo M., *Manutenzione urbana: strategia per la sostenibilità della città*, Firenze, Alinea, 2004.
- Di Sivo M., Ladiana D., *Sicurezza e manutenzione dell’ambiente costruito*, Firenze, Alinea, 2009.
- Ferracuti G., *La manutenzione ambientale*, in Gruppo Dioguardi (a cura di), *La manutenzione urbana*, «Il sole 24 Ore», Milano, 1990.
- Gasparoli P., Talamo C., *Manutenzione e Recupero. Criteri, metodi e strategie per l’intervento sul costruito*, Firenze, Alinea, 2006.
- Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Istituto Centrale del Restauro, *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Progetto esecutivo*, TECNECO, Roma, 1976.
- Ruskin J., *The Seven Lamps of Architecture*, London, 1849, trad. it., *Le sette lampade dell’architettura*, con presentazione di R. Di Stefano, Milano, Jaca Book, 1982.
- Urbani G., *Intorno al restauro*, Milano, Skira, 2000.



# 10. STRATEGIE E STRUMENTI DELLE TECNOLOGIE DI MANUTENZIONE PER LA CONSERVAZIONE PROGRAMMATA DEL PATRIMONIO STORICO-ARCHITETTONICO

DANIELA LADIANA

## Sommario

La Conservazione programmata è un approccio innovativo che deriva dall'applicazione delle tecnologie manutentive alla conservazione dei beni architettonici.

Con lo studio delle modalità di attuazione del connubio tra conservazione e manutenzione, l'approccio conservativo ha iniziato a mutuare fondamentali concetti e termini dalla cultura tecnologica, tra cui, in particolare, il controllo del "processo", l'approccio sistemico e l'analisi dei rischi e delle criticità.

Il saggio analizza le specificità e i possibili scenari di evoluzione per l'avanzamento della cultura della conservazione programmata in relazione ai fondamentali apporti di quella tecnologica e manutentiva.

L'adozione della logica manutentiva nella conservazione implica, innanzitutto, di mutuare da quest'ambito – come il dibattito in atto evidenzia – la natura di processo. Il passaggio dall'evento al processo conservativo, è certamente fondamentale poiché impone la necessità di innovare, profondamente, le modalità con le quali sono state poste in atto fino ad oggi lo studio e la conoscenza dell'opera e i relativi interventi; ma, d'altra parte, è inevitabile considerare che l'erogazione di processi organizzati postula, a sua volta, azioni di ottimizzazione di quegli stessi sistemi che i processi devono generare e alimentare permanentemente.

Per operare efficacemente, si rende, infatti, necessaria la condivisione di lessico, contenuti, modalità e strumenti di lavoro all'interno di una comunità. Emerge così la necessità di operare anche, per la definizione delle carat-

teristiche e dei modi d'implementazione del sistema che deve organizzare e gestire i suddetti processi.

Per l'ultimo aspetto analizzato, l'approccio all'individuazione e alla prevenzione dei rischi – strumento fondamentale per determinare, in un patrimonio di uno specifico ambito territoriale, le priorità d'intervento in relazione ai valori e alle minacce in causa -, si evidenzia la necessità di un potenziamento degli strumenti per la formulazione strategica delle priorità d'azione a partire dalla valutazione degli effettivi impatti potenziali di un mancato intervento. Inoltre, poiché è facile che i rischi si possano addensare non solo nei luoghi fisici, specialmente lì dove si producono numerose intersezioni tra attività poste in atto da soggetti diversi e in tempi differenti, è importante che le analisi dei rischi vengano condotte anche a livello di processo.

### **Parole chiave**

Conservazione programmata; cultura di manutenzione; controllo di processo; approccio sistemico; analisi dei rischi; rischi di processo.

## **10.1. Conservazione e manutenzione programmate**

Già da alcuni anni, in riferimento ai beni culturali, si preferisce parlare di “conservazione” anziché di “restauro”<sup>1</sup>. Secondo il Codice dei Beni Culturali, la conservazione del patrimonio è assicurata da «una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro»<sup>2</sup>.

Si è assunta la consapevolezza che gli obiettivi della riduzione/eliminazione delle condizioni di rischio per gli edifici in relazione al contesto anche territoriale nonché del controllo dei processi di degrado – in termini di rallentamento della progressione del degrado naturale ed eliminazione dei fattori di generazione di quello patologico – può essere efficacemente perseguito solo ponendo in atto un processo di cura erogato costantemente nel tempo, mediante le tecnologie di manutenzione.

La manutenzione è affermata come parte integrante del progetto di conservazione e si costituisce come fondamentale approccio me-

todo logico alla definizione delle scelte progettuali. Tale innovazione nel campo della conservazione si concreta sostanzialmente nella volontà di determinare modalità di acquisizione delle logiche manutentive per pianificare e predisporre interventi mirati a una corretta conservazione e salvaguardia del patrimonio.

La coniugazione tra le tecnologie manutentive e la conservazione del patrimonio storico definisce il nuovo approccio della “Conservazione programmata”, una tecnologia di grande innovazione del settore che necessita – attraverso la ricerca e la sperimentazione – di definire e porre in atto metodi e strumenti derivati dall’ibridazione dei saperi propri della disciplina manutentiva con quella conservativa: o più precisamente, di declinare i metodi e gli strumenti della manutenzione agli obiettivi della conservazione.

L’obiettivo della manutenzione, nel processo conservativo, difatti, non è in via prioritaria, come per l’edilizia corrente, di garantire la durata del ciclo di vita utile e il livello delle prestazioni dell’edificio, poiché un bene architettonico d’interesse storico artistico è certamente andato ben oltre la soglia della “vita utile attesa”, così come le “prestazioni residue” erogate dallo stesso sono sicuramente inferiori a quelle che sono attualmente considerate come accettabili. Le finalità della manutenzione nell’edilizia corrente, si connotano, pertanto, per un’impostazione, estranea a quella dei beni culturali in cui domina il principio strategico della conservazione indefinita e del massimo contenimento possibile dei processi di decadimento della consistenza fisica del costruito attraverso la massimizzazione della permanenza della consistenza materica, limitando le trasformazioni, le demolizioni e i ripristini solo ai casi di comprovata necessità.

L’assunto fondamentale dell’approccio conservativo alla manutenzione è che l’edificio oggetto della conservazione programmata deve essere inteso in ogni sua parte come *unicum* irripetibile; non postula il ripristino dell’opera, bensì, il monumento-documento è studiato e conservato integro, protetto da ogni possibile alterazione poiché «la

coscienza storica sa che ogni calcolo e ogni integrazione umana è suscettibile dell'errore soggettivo»<sup>3</sup>.

Ciò non significa che non hanno importanza la funzionalità e l'uso – che sappiamo essere la miglior garanzia per la conservazione di un monumento – ma, più semplicemente, si sottomettono tali esigenze a quelle della conservazione. Questo comporta determinare, per ciascun edificio, le modalità di uso compatibili con le caratteristiche dello stesso, accettando livelli di prestazione più bassi rispetto alle esigenze contemporanee, in nome della conservazione di elementi non riproducibili.

La penetrazione della cultura manutentiva nella conservazione, d'altro canto, comporta l'acquisizione dell'importanza dei requisiti di *manutenibilità* secondo i quali, attraverso interventi riconoscibili e reversibili, è possibile facilitare nel tempo, l'attuazione dei programmi che prevedono il controllo, il monitoraggio e gli interventi manutentivi. L'*accessibilità*, difatti, è una componente fondamentale della manutenzione, in quanto, permettendo di raggiungere l'edificio in tutte le sue parti, consente di ravvisare più facilmente indizi di degrado e sollecitare gli interventi, in particolar modo, per quanto riguarda le coperture che rappresentano le principali fonti d'innesco del degrado strutturale.

Con il Codice Urbani e dunque, con l'esplicita codificazione del rapporto tra conservazione e manutenzione dei beni architettonici, l'approccio conservativo ha iniziato a porsi in relazione a fondamentali concetti e termini propri della cultura tecnologica, tra cui, in particolare: il controllo del "processo", l'approccio sistemico e l'analisi dei rischi e delle criticità.

Si evidenzia, difatti, innanzitutto, che l'indispensabile passaggio da un approccio alla conservazione di tipo episodico a quella di tipo programmato si pone in atto attraverso l'implementazione di un *processo* fortemente connotato in termini di *retroazione*.

L'importanza dei *feedback* sulle fasi, dipendono dal fatto che le verifiche sperimentali e le conseguenti riflessioni consentono un continuo affinamento delle analisi, delle decisioni e degli interventi,

ovvero, di reiterare nel tempo, con sempre maggiore efficienza ed efficacia, un processo circolare connotato da analisi, diagnosi, pianificazione, programmazione, attuazione, controllo, verifica dei risultati e *feedback* delle informazioni. Si tratta di un processo in cui l'acquisizione della conoscenza ha un rilevante valore cibernetico; l'acquisizione dei dati – pertinenti, completi, corretti e non eccedenti rispetto alle finalità per le quali sono raccolti – è funzionale a guidare il processo decisionale verso scelte ottimali; ciò comporta un notevole impegno nella dimensione immateriale dello studio e dell'osservazione finalizzate alla conoscenza, al controllo, al monitoraggio della struttura. L'azione, l'intervento riparativo, di ripristino è evitato dall'assidua azione finalizzata a interrompere i processi di degrado, alla prevenzione dei possibili danni.

Il processo conservativo deve definire e mettere in atto permanentemente un sistema di scelte e decisioni sulle "politiche di manutenzione" in relazione ai propri obiettivi.

Decidere se agire prima o dopo l'evento di guasto di un componente implica scegliere se adottare la "manutenzione incidentale"<sup>4</sup> che agisce solo dopo la rottura, oppure ricorrere alla "manutenzione preventiva", secondo la quale, si eseguono riparazioni/sostituzioni delle componenti prima della rottura.

L'attenzione alla conservazione della materia porta a favorire, nella maggior parte dei casi, la messa in atto di politiche del tipo "a guasto avvenuto" piuttosto che "preventive", salvo che il fenomeno della rottura non produca una condizione di "proliferazione del guasto" in cui la rottura di un elemento è, a sua volta, causa di ulteriori danni. A scopo preventivo, assumono un ruolo rilevante, le operazioni di pulizia e di piccola manutenzione<sup>5</sup> da reiterare costantemente nel tempo a difesa dell'edificio<sup>6</sup>.

La "manutenzione secondo condizione", in effetti, rappresenta la politica di programmazione più vicina alla pratica conservativa. Non potendo disporre di dati statistici sull'evoluzione dei fenomeni di degrado e, dovendo desumere le informazioni dallo stesso edificio, la manutenzione secondo condizione appare come la politica più idonea per la

conservazione. Questa postula un'attenta conoscenza dell'edificio finalizzata a definire, sulla scorta di dati derivanti da indagini specifiche, la programmazione degli interventi strettamente necessari.

## 10.2. La conservazione programmata come sistema

L'adozione della logica manutentiva nella conservazione comporta essenzialmente di mutuare da quest'ambito la natura di processo la cui durata deve coincidere con quella del monumento da preservare.

Si promuove un mutamento di prospettiva per limitare il ricorso alle azioni episodiche e slegate nel tempo, gli "eventi clamorosi", per dare inizio a un approccio alla conservazione inteso, invece, come prevenzione e cura assidua.

Lo scarto tra *evento* e *processo* conservativo, costituisce un fondamentale passaggio non solo culturale ma anche tecnologico e organizzativo, innovando, profondamente, le modalità con le quali sono state tradizionalmente poste in atto lo studio e la conoscenza dell'opera e i relativi interventi.

La conservazione programmata, difatti, postula, sostanzialmente, una contiguità perenne al patrimonio oggetto di cura, per implementare un processo di studio e intervento finalizzato a individuare e realizzare, continuativamente, le azioni utili a rallentare i processi di decadenza e a prevenire i possibili danni.

Un altro elemento di connotazione della conservazione, mutuato dall'approccio manutentivo, è la prevalenza della dimensione della gestione delle conoscenze, dei flussi d'informazione, rispetto a quella della realizzazione di lavori.

La conservazione programmata minimizza l'azione sulla consistenza materiale dell'edificio, le "opere", per connotarsi, prevalentemente, nella logica di costante organizzazione ed erogazione di servizi implementando tecnologie adeguate nelle diverse fasi del processo di gestione, coerenti con le problematiche riscontrate e in grado di fornire efficaci e duraturi benefici in termini conoscitivi e conservativi. Si tratta di porre in atto un processo in permanente evoluzione e specializzazione anche in relazione alle continue innovazioni delle tecniche e de-

gli strumenti di documentazione della consistenza dell'edificio e delle tecnologie diagnostiche e di governo degli interventi.

Per operare in tal senso, è necessario strutturare non più e non solo progetti, bensì *processi organizzati* e condivisi di gestione, in cui devono essere stabilite procedure, istruzioni operative, modulistica, sistemi informativi per la gestione dei dati.

Si rendono necessari strumenti condivisi di lavoro in grado di governare in maniera univoca i procedimenti per l'analisi, il monitoraggio, la diagnostica, l'esecuzione e il controllo dei lavori, in riferimento ad una pluralità di edifici, per operare efficacemente all'interno di una comunità – costituita dai tecnici e dagli operatori istituzionali, professionali e dalle imprese in ciascun ambito territoriale – che deve condividere, con continuità, lessico, contenuti e modalità.

Emerge la necessità di operare non solo, come si è rilevato, in termini metodologici e strumentali per l'ottimizzazione dell'organizzazione dei processi, bensì, anche, per la definizione delle caratteristiche e dei modi d'implementazione del "sistema" che deve organizzare e gestire i suddetti processi.

A tal proposito vale la pena ricordare l'affermazione di Reginal Lee riferita alla manutenzione edilizia:

programmare la manutenzione vuol dire organizzare un sistema complesso nel quale interagiscono fattori tecnici, economici, procedurali. Per gestire il funzionamento di questo sistema, organizzarne le attività e, soprattutto, valutarne i costi, è necessario muoversi in spazi disciplinari diversi, occorre in pratica disporre di conoscenze e strumenti che rientrano nel campo delle tecniche di programmazione, dei criteri di pianificazione economica delle risorse, dei sistemi di gestione delle informazioni, dei modelli organizzativi delle imprese di manutenzione<sup>7</sup>.

Si evince, dunque, la duplice natura della conservazione programmata: è un *processo* ma è anche un *sistema*.

Si attua come processo che accompagna l'esistenza dei patrimoni e implica l'attivazione di un sistema garante dell'organizzazione/erogazione dello stesso. Per organizzare e implementare il processo descritto è, infatti, necessario pervenire a un vero e proprio *Sistema di Conservazione Programmata*, ovvero, un macrosistema socio-tecnico

consistente in due sistemi in permanente relazione: uno, costituito dal patrimonio di edifici di uno specifico contesto, e l'altro, costituito dall'insieme delle risorse umane e materiali organizzate, il cui requisito fondamentale è la capacità di rispondere tempestivamente ed efficacemente alle necessità connesse all'organizzazione, implementazione del processo che si attua su patrimonio nell'ambito di un contesto ambientale evolutivo in cui si possono produrre sempre nuovi rischi.

L'implementazione del processo dovrebbe realizzarsi con la massima inclusività degli attori locali dei luoghi in cui insistono i monumenti per condividere contenuti e modalità del nuovo approccio che governa il processo di conservazione e anche per generare possibili cooperazioni e sinergie per la gestione delle azioni di conservazione programmata. A tal fine è fondamentale sollecitare permanentemente il confronto e il dibattito sui metodi e gli strumenti adottati, o in via di adozione, nell'ambito delle istituzioni e degli organi di tutela.

L'intervento di conservazione, difatti, per essere sostenibile e produrre esternalità positive su ciascun ambito territoriale deve rapportarsi alla condizione economica e produttiva della specifica realtà locale in relazione anche alle capacità imprenditoriali e alla presenza di abilità artigianali e costruttive.

Si tratta di innescare un circolo virtuoso tra risorse territoriali, capacità imprenditoriali e artigianali disponibili, e qualità degli interventi.

Se l'obiettivo del sistema di gestione è, innanzitutto, quello di garantire la sopravvivenza e l'identità del patrimonio nel tempo, individuando le modalità e le priorità d'intervento, e ottimizzando, al contempo, l'uso delle risorse umane e finanziarie, è possibile articolare un elenco di obiettivi specifici subordinati:

- migliorare la conoscenza del patrimonio,
- perseguire la durata dei materiali e dei componenti originali in opera,
- migliorare i sistemi di diagnosi e monitoraggio,
- definire e disporre dei dati sulla vulnerabilità del patrimonio,

- disporre di strumenti di supporto alle decisioni sulle priorità e sui tempi degli interventi,
- implementare interventi adeguati alle caratteristiche dell'opera,
- monitorare i risultati degli interventi,
- migliorare l'efficacia degli interventi,
- migliorare l'archiviazione e la catalogazione dei dati sulle caratteristiche fisiche/storiche dell'opera, sulle indagini diagnostiche e di monitoraggio, sulle modalità d'intervento.

La messa in atto di un sistema di tale tipo, basato evidentemente sul miglioramento continuo, comporta la costituzione di un vero e proprio campo di lavoro che postula un'evoluzione culturale di tutti gli operatori istituzionali, del mondo professionale e imprenditoriale, e che richiede di accostare alle competenze tecniche consolidate nuove capacità di carattere organizzativo e manageriale.

Se per conservare il patrimonio storico esistente s'intende promuovere oltre che gli studi anche la prassi dell'approccio alla conservazione programmata sembrerebbe pertanto opportuno apprestare dei modelli organizzativi per l'ottimizzazione della gestione, oltre che strumenti idonei, per governare il processo manutentivo.

L'odierna sfida che caratterizza il governo della conservazione programmata dei patrimoni storici architettonici è, quindi, quella della ricerca, messa a punto e sperimentazione di nuove forme organizzative a livello istituzionale e imprenditoriale, nonché una strumentazione specifica per il governo di un processo complesso. Modelli, metodi e strumenti che aiutino a decidere: *"Dove, come e quando intervenire"* – modi e priorità –, tenuto conto delle risorse disponibili.

### **10.3. La valutazione dei rischi come strumento strategico**

Una parte fondamentale del processo di conservazione e gestione del monumento nel tempo è quella della conoscenza, ovvero, dell'analisi della storia e delle caratteristiche del manufatto in relazione al suo contesto al fine di individuare e comprendere tutti gli aspetti che devono informare l'intervento di conservazione. La

conoscenza si configura a tutti gli effetti come la preconditione indispensabile all'azione.

Di carattere multidimensionale, la fase della conoscenza del patrimonio storico, si presenta come critica perché diretta a riconoscere al tempo stesso *valori* e potenziali *vulnerabilità* al fine della determinazione delle idonee modalità, priorità e tempi d'intervento.

La programmazione dell'azione conservativa impone, difatti, un'attenta valutazione di molteplici aspetti, al fine di determinare soluzioni congruenti alla difesa dai possibili danni nel rispetto dei valori riconosciuti.

Per garantire la sopravvivenza dell'edificio, è indispensabile, compiere un'attenta individuazione e valutazione di tutti i "fattori avversi" che possono influire sulla durata, o produrre danni. A tal fine deve essere innanzitutto osservato il contesto ambientale, inteso come fonte continua di condizioni che possono compromettere l'integrità dell'edificio. Saranno individuate le azioni prodotte dagli agenti:

- naturali (pioggia, grandine, neve, sole, agenti biologici, ecc.);
- intrinseci (umidità, interazione chimica tra i materiali, ecc.);
- combinati (pioggia e neve, piogge acide, radiazioni ultraviolette e pioggia, ecc.)

Tali agenti possono indurre il degrado, l'usura fisica del sistema o degli elementi tecnici comportando danni in termini di perdita della consistenza materica dell'edificio.

Le osservazioni sul contesto ambientale devono essere accompagnate da valutazioni relative le condizioni di sicurezza rispetto a tutti i possibili pericoli derivanti dal sito – in particolare, a quelli sismico e idrogeologico –, al fine di determinare le modalità per ridurre o eliminare le eventuali condizioni di rischio agendo sui pericoli del contesto o sulle relative vulnerabilità insite nell'edificio.

Figura 1. Fasi della gestione del rischio.



La prevenzione del rischio non si limita alla valutazione della sola pericolosità sismica, ma si estende anche a quella idrogeologica che si produce a causa dell'inappropriata edificazione così come dalla sospensione delle coltivazioni di presidio manutentivo dei pendii; nonché alle condizioni che favoriscono l'innescò degli incendi che colpiscono, spesso dolosamente, amplissime aree distruggendo ecosistemi, paesaggio e beni di ogni tipo. A queste pericolosità, si devono aggiungere anche quelle derivanti dalle attività produttive – quale, ad esempio, l'eventuale presenza d'industrie chimiche –, poiché è evidente che la possibile *magnitudo* dei potenziali danni può essere catastrofica laddove i fattori di pericolosità dipendenti dall'uomo si combinino con quelli inerenti alle caratteristiche geodinamiche e geologiche dei siti; difatti «la gravità degli eventi sismici sarà maggiore nelle località segnate dal dissesto idrogeologico e da inadeguata gestione delle costruzioni storiche, ovvero errata realizzazione di quelle recenti; né va ignorato l'effetto che un danno strutturale da sisma dovuto, ad esempio, ad errata localizzazione di impianti industriali

inquinanti (anche solo potenzialmente) può determinare a danno di tutte le componenti, viventi e non, di un territorio»<sup>8</sup>.

È indispensabile, pertanto, considerare ciascun monumento congiuntamente al territorio di riferimento come un sistema dinamico in relazione: le azioni – naturali e antropiche – che intervengono negli ambiti territoriali, alla piccola come alla grande scala, possono, difatti, produrre sempre nuovi rischi per la conservazione<sup>9</sup>.

L'indagine delle criticità, dei pericoli, delle vulnerabilità presenti, mira a individuare quelle debolezze che, se rapportate ai fattori scatenanti (naturali e antropici), potrebbero compromettere la condizione di equilibrio arrecando danno al patrimonio.

L'approccio all'individuazione e alla prevenzione dei rischi, si può costituire come uno strumento fondamentale per individuare, per un patrimonio di uno specifico ambito territoriale, le priorità d'intervento in relazione ai valori e alle minacce in causa. Può supportare il processo di scelta/decisione, per la formulazione strategica delle priorità d'azione a partire dalla valutazione degli effettivi impatti potenziali di un mancato intervento per la minimizzazione dei possibili danni.

Gli obiettivi della conservazione, della sostenibilità finanziaria del processo conservativo, insieme con quelli di sviluppo economico territoriale e di sicurezza del monumento e dell'ambiente possono essere perseguiti congiuntamente all'interno di un processo integrato di gestione del rischio in cui si rifletta la complessità del sistema territorio-monumento.

Un'impostazione siffatta, consentirebbe di uscire dalla situazione di continua urgenza – generalmente a seguito di eventi calamitosi – in cui si programmano interventi volti a tamponare condizioni di grande pericolosità, per perseguire in maniera organizzata adeguati livelli di sicurezza del sistema monumento-territorio.

Negli ultimi anni, in modo non sistematico e soprattutto in Lombardia – grazie alla collaborazione fra l'Istituto Centrale per il Restauro, la Regione Lombardia e il Politecnico di Milano –, si è tenuto

vivo il tema della riduzione dell'entità del rischio, per operare sulla riduzione della vulnerabilità.

Con il *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria* già del 1976, Giovanni Urbani introdusse tale visione assumendo gli edifici come oggetti complessi in relazione con l'ambiente descritto a partire da un rilevamento generale dei fattori di rischio<sup>10</sup>. La ricerca in atto esplora attualmente la possibilità di affiancare, alla connotazione principalmente descrittiva e diagnostica della Carta del Rischio, potenzialità programmatiche per la pianificazione di una cura vigile dei monumenti.

Lo strumento dell'analisi e della gestione dei rischi può supportare la conservazione programmata del patrimonio non solo nella dimensione *hard*, materiale, dei rischi che minacciano l'edificio nella sua consistenza fisica ma, anche, in quella *soft* del dispiegarsi del processo di conservazione.

È facile che i rischi si possano addensare non solo nei luoghi fisici, ma anche nei processi, specialmente lì dove si producono numerose intersezioni tra attività poste in atto da soggetti diversi e in tempi differenti. La probabilità che si possano verificare eventi indesiderati, infatti, aumenta col prodursi delle interferenze tra distinti sistemi organizzativi, orientati da diversi obiettivi e finalità. Tipicamente, quando la frammentazione nell'implementazione del processo per opera di distinti attori comporta l'autonomia delle fasi di diagnostica e di studio, da quella programmatica e da quella esecutiva con conseguenti difficoltà, se non impossibilità, di ricevere *feedback* sugli interventi eseguiti. Quest'aspetto incide negativamente, poiché può comportare una perdita delle informazioni e conseguentemente a un processo di conservazione in cui più facilmente si possono produrre errori.

La gestione del rischio nella conservazione programmata può migliorare il processo di analisi-decisione-intervento e ridurre l'occorrenza del possibile *rischio tecnico* che si può produrre in qualsiasi fase<sup>11</sup>.

Tale strumento potrebbe essere finalizzato a definire in maniera accurata gli obiettivi tecnici del progetto, le condizioni, i tempi, i costi, con un potenziamento dell'efficienza e dell'efficacia programmatica, grazie all'individuazione, ridimensionamento, eliminazione degli aspetti critici connessi all'implementazione del processo. Si potrebbero in tal modo contenere gli eventuali rischi di perdite nella consistenza fisica dei monumenti, levitazione dei costi, spreco di risorse, duplicazione dei processi, ridondanza delle informazioni; nonché migliorare i processi decisionali impostando strategie in grado di ridurre l'impatto delle variabilità e delle incertezze riducendo i rischi a un livello accettabile.



Figura 2. Fattori del rischio tecnico

#### 10.4. Conclusioni

L'adozione della tecnologia della manutenzione per la conservazione del patrimonio storico-architettonico apre prospettive di lavoro per la costruzione d'idonei strumenti utili ad alimentare le fasi d'informazione/decisione in termini di nuove forme di organizzazione e governo della conoscenza e delle informazioni al fine di definire e governare, controllare gli interventi.

Il processo d'individuazione e valutazione dei rischi, si configura come strumento strategico del processo decisionale della conservazione, postulando, l'adozione di un approccio che può:

- essere riferito alla grande come alla piccola scala;
- operare nella dimensione del breve come del lungo periodo;
- assumere la complessità sistemica della molteplicità di relazioni che s'istaurano all'interno di un determinato territorio.

La valutazione dell'entità dei rischi consente di pervenire alla definizione di strategie di azione da programmare in relazione alle criticità riscontrate. Tale forma di programmazione, infatti, non solo stabilisce i tipi di azioni e i tempi in cui eseguirli, ma distingue anche tra gli elementi del sistema in funzione della loro vulnerabilità, classificando ciò che è oggetto d'intervento in relazione alla probabilità di subire un danno (di maggiore o minore gravità) e dosando gli interventi nel tempo in modo che l'attenzione sia posta di volta in volta sugli elementi del patrimonio potenzialmente a rischio.

L'approccio alla prevenzione dei rischi può garantire l'obiettivo della conservazione dell'integrità della materia anche grazie alla valutazione degli eventi avversi connessi all'implementazione del processo di conservazione.

## Note

<sup>1</sup> La manutenzione è diventata «[...] la regina del fronte della conservazione. Il restauro una tantum assomiglia sempre più al metodo ormai condannato in medicina che dimentica l'importanza dell'impostazione preventiva per concentrarsi sull'operazione chirurgica acrobatica e spettacolare, ma necessariamente traumatica e rischiosa». Marconi P., *Arte e cultura della manutenzione*, Editori Laterza, Bari, 1984.

<sup>2</sup> SEZIONE II - MISURE DI CONSERVAZIONE, art. 29. Conservazione.

1. La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro.
2. Per prevenzione si intende il complesso delle attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto.
3. Per manutenzione si intende il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti.
4. Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di opera-

zioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale. *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*, D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 (pubblicato nella Gazz. Uff. 24 febbraio 2004, n. 45, S.O.).

<sup>3</sup> Riegl A., *Il culto moderno dei monumenti. Il suo carattere e i suoi inizi*, 1903, ed. a cura di Scarrocchia S., Abscondita, Milano, 2011.

<sup>4</sup> Detta anche "manutenzione a guasto avvenuto".

<sup>5</sup> Queste operazioni apparentemente banali – come pulire le superfici, rinnovare strati di protezione, pulire i canali di raccolta delle acque e i pozzetti, estirpare la vegetazione dalle murature, ecc. – sono di fondamentale importanza per la durata dell'edificio.

<sup>6</sup> Come esorta Ruskin: «Prendetevi cura solerte dei vostri monumenti, e non avrete alcun bisogno di restaurarli. Poche lastre di piombo collocate a tempo debito su un tetto, poche foglie secche e sterpi spazzati via in tempo da uno scroscio d'acqua, salveranno sia il soffitto che i muri dalla rovina». Ruskin, J., *The Seven Lamps of Architecture*, London, 1849, trad. it. 1982, *Le sette lampade dell'architettura*, con presentazione di Di Stefano R., Milano, Jaca Book.

<sup>7</sup> Lee R., *Manutenzione edilizia programmata. Strategie, strumenti e procedure*, FrancoAngeli, Milano, 1993.

<sup>8</sup> Petrarola P., Negri A., Valerio V., *Dalla conoscenza alla prevenzione. Opinioni ed esperienze a confronto sul rischio sismico in Italia / From knowledge to prevention. Opinions and experiences on seismic risk in Italy in comparison*, «Il Capitale culturale», n. 16, 2017.

<sup>9</sup> Ad esempio, si possono citare possibili modificazioni negli schemi di traffico veicolare con maggiore produzione di vibrazioni e inquinamento; i disboscamenti, l'interruzione delle pratiche di irreggimentazione delle acque con la produzione di frane; l'apertura di cantieri di costruzione e scavi con pericoli di stabilità derivanti dalla modificazione del regime delle acque nel suolo.

<sup>10</sup> In tale direzione opera, a livello nazionale, l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro che ha implementato il Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio (SIT CdR), uno strumento che permette valutare il rischio a cui sono esposti i beni in rapporto al loro *vulnerabilità* e alle *pericolosità* insite nel territorio cui appartengono. La finalità principale della Carta è, infatti, la valutazione del rischio cui sono soggetti i beni culturali allo scopo di programmarne l'attività di conservazione, sulla base di dati e indicatori omogenei per tutto il territorio nazionale a partire dall'analisi e dall'elaborazione dei dati sullo stato di degrado dell'edificio (indicatore di vulnerabilità) e dal pericolo potenziale di fenomeni ambientali, territoriali e antropici (indicatore di pericolosità).

<sup>11</sup> Germanà M. L., *Significati dell'affidabilità negli interventi conservativi*; in Germanà M. L. (a cura di), Sposito A., *La conservazione affidabile per il patrimonio architettonico*, Dario Flaccovio, Palermo, 2004.

## Bibliografia

- Buono C., *La manutenzione dei monumenti*, in «Manutenzione. Tecnica e Management», novembre, Milano, Thomas Industrial Media, 2004.
- Cattaneo M., Di Sivo M., Furlanetto L., Ladiana D., *Cultura di manutenzione*, Firenze, Alinea, 2009.
- Cecchi R., Gasparoli P., *La manutenzione programmata dei beni culturali edificati. Procedimenti scientifici per lo sviluppo di piani e programmi di manutenzione. Casi studio su architetture di interesse archeologico a Roma e Pompei*, Firenze, Alinea, 2011.
- Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137”, Articolo 29.
- Della Torre S. (a cura di), *La conservazione programmata del patrimonio storico-architettonico: linee guida per il piano di manutenzione e il consuntivo scientifico*, Milano, Guerini, 2005.
- Ferracuti G., *La manutenzione ambientale*, in Gruppo Dioguardi ed., *La manutenzione urbana*, in «Il sole 24 Ore», Milano, 1990.
- Di Sivo M., *Il progetto di manutenzione*, Firenze, Alinea, 1987.
- Di Sivo M., Ladiana D., *Sicurezza e manutenzione dell’ambiente costruito*, Firenze, Alinea, 2009.
- Gasparoli P., Talamo C., *Manutenzione e Recupero. Criteri, metodi e strategie per l’intervento sul costruito*, Firenze, Alinea, 2006.
- Germanà M.L., *Significati dell’affidabilità negli interventi conservativi*, in Germanà M.L., Sposito A. (a cura di), *La conservazione affidabile per il patrimonio architettonico*, Palermo, Dario Flaccovio, 2004.
- Lee R., *Manutenzione edilizia programmata. Strategie, strumenti e procedure*, Milano, FrancoAngeli, 1993.
- Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, Istituto Centrale del Restauro, *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Progetto esecutivo*, Roma, TECNECO, 1976.
- Riegl A., *Il culto moderno dei monumenti. Il suo carattere e i suoi inizi*, 1903, ed. a cura di Scarrocchia S., Milano, Abscondita, 2011.
- Ruskin J., *The Seven Lamps of Architecture*, London, 1849, trad. it., *Le sette lampade dell’architettura*, con presentazione di R. Di Stefano, Milano, Jaca Book, 1982.

Urbani G., *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria, progetto esecutivo*, Roma, ICR-Tecneco, 1975.

Urbani G., *Intorno al restauro*, Milano, Skira, 2000.

# 11. CONSERVACIÓN DEL LEGADO TÉCNICO CULTURAL DEL REAL CUERPO DE INGENIEROS EN PANAMÁ: EL PATRIMONIO FORTIFICADO DE PORTOBELLO Y SAN LORENZO

PATRICIA CID, LEONARDO CASINI, SANTIAGO LEÓN, SEBASTIÁN GÓMEZ, CARLOS JARAMILLO, MIRTA LINERO BARONI, MARIA SCALICI

## Sommario

Las fortificaciones de Portobello y San Lorenzo representan un importante testimonio de la aplicación en el Nuevo Mundo de los modelos desarrollados en Europa entre los siglos XVI y XVIII. Las primeras estructuras en Panamá fueron proyectadas por el ingeniero italiano Battista Antonelli a finales del siglo XVI, en el ámbito de un amplio plan estratégico de defensa regional para el Caribe las cuales, se encuentran entre las primeras aplicaciones en América de la tipología de la “Fortificazione alla Moderna”. Luego del ataque inglés por el almirante Vernon a Portobello (1739), San Lorenzo (1740) y Cartagena de Indias (1741), la Corona Española decidió realizar un nuevo plan de defensa que contará con Ignacio Sala y Manuel Hernández del Real Cuerpo de Ingenieros como los principales exponentes encargados de la redefinición de estas “Plazas fortificadas” y quienes emplearán los modelos planteados por las Reales Academias Militares españolas bajo la influencia de las teorías francesas de la época.

El texto a continuación, presenta los resultados del estudio efectuado a los Fuertes construidos durante la segunda mitad del siglo XVIII en la costa Atlántica de Panamá el cual, se ha concentrado en el análisis de las técnicas constructivas y en el estudio de los modelos técnicos y formales de referencia de la época, con la finalidad de individuar un método para la conservación de las estructuras y documentación del contexto cultural donde se desarrollaron.

## Parole chiave

Reales Academias Militares españolas; Ignacio Sala; ingeniería militar española; puertos fortificados; patrimonio arquitectónico; conservación de bienes culturales.

### 11.1. Introducción

Los Fuertes de Portobelo y San Lorenzo forman parte de un amplio sistema de estrategia militar implantado en la costa atlántica de Panamá que pertenecen a dos períodos reconocibles. El primero, realizado por los ingenieros militares Antonelli (Battista Antonelli, Cristoforo Rota Antonelli y Juan Bautista Antonelli) entre los siglos XVI y XVII y proyectado bajo las bases del sistema italiano de la *“fortificazione alla moderna”* introducido en España por el rey Felipe II y posteriormente, implantado en el Caribe para la defensa de la ruta político – comercial.

El segundo período, en cambio, contempla la actualización y extensión del sistema defensivo a través de la incorporación de nuevas instalaciones militares construidas durante el siglo XVIII por el Real Cuerpo de Ingenieros de la corona española y creadas bajo las nuevas teorías y parámetros franceses las cuales, estarán a cargo del Gobernador de Cartagena de Indias y Comandante General de la Armada Española, Ignacio Sala y luego, ejecutadas por el ingeniero militar Manuel Hernández, formado en la Real Academia de Matemáticas de Barcelona.

Actualmente, los Fuertes de Portobelo y San Lorenzo son monumentos históricos nacionales y reconocidos como *“Patrimonio Cultural de la Humanidad”* por UNESCO desde 1980. A partir del 2012, su alto grado de degradación, la pérdida de algunos de sus componentes y estructuras, la falta de recursos económicos e institucionales de tipo actuativo, la incapacidad de una rápida intervención ante las calamidades naturales y una limitada planificación de conservación los han llevado a ser inscritos en la Lista del *“Patrimonio Mundial en Peligro”*<sup>1</sup>.

A pesar del interés de las instituciones responsables panameñas, la carencia de medios económicos suficientes han limitado las intervenciones técnicas necesarias a sus estructuras. Por esta razón, el Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO ha pedido a Panamá, en julio del 2015, la elaboración de nuevas medidas normativas “urgentes” que permitan implementar estrategias correctivas e individualizar acciones claras y específicas ante este caso y la posible pérdida de su “Valor Universal Excepcional”.

En el presente, la problemática de las Fortificaciones de Portobello y San Lorenzo continúa a ser un caso de “Emergencia Nacional” para el cual, se ha creado un programa de rescate que deberá ser implementado antes de julio de 2019, según los acuerdos con UNESCO. Los resultados de la presente investigación<sup>2</sup> brindan información que permite profundizar en el conocimiento de las construcciones militares de época colonial y colaborar con material que sirva de base para las correctas praxis de intervenciones restaurativas y conservativas que preserven el lenguaje arquitectónico y tecnológico constructivo de estos monumentos, así como, su estudio desde el campo académico.

Consiste en una investigación de tipo cualitativa y aplicada con orientación al campo histórico, técnico, científico y educativo dedicado a estudiar y documentar el sistema tecnológico constructivo de época colonial utilizado en el siglo XVIII por la Corona Española en las fortificaciones del Caribe panameño, como una estrategia para la conservación y preservación del lenguaje técnico y arquitectónico de las estructuras más representativas de este complejo monumental.

Para los análisis comparativos, se utilizó una base histórica conformada por documentación original como planimetrías, estados de cuentas de las obras, comunicaciones sobre la administración de la obra, materiales y trabajadores obtenidos en el Archivo General de Indias de Sevilla, el Instituto de Historia y Cultura Militar de Madrid, el Centro Geográfico del Ejército de Madrid y el Archivo General de la Nación de Colombia, así como, importantes tratados de fortificación

(Vauban, Sala, Lucuze, Sánchez Taramas y Rojas) alusivos al conocimiento de formación de los ingenieros militares embarcados hacia América.

Con la finalidad de verificar la información histórica, los tratados y los proyectos militares estudiados con lo construido en el lugar, se procedió a la organización y toma de datos *in situ* a través de la clasificación por tipologías de los principales elementos arquitectónicos, estructurales y decorativos que caracterizan los cuerpos de las fortificaciones, al levantamiento métrico de éstos, al estudio de los materiales constructivos y su dimensionamiento, y a la identificación de las técnicas edilicias empleadas.

El funcionamiento del sistema tecnológico constructivo fue analizado a través del levantamiento fotogramétrico y tridimensional. Complementan la información recopilada, visitas técnicas a las fortificaciones de Cartagena de Indias y Cádiz relacionadas con la figura del ingeniero militar Ignacio Sala, importantes para la comparación de las estrategias defensivas, arquitectónicas y constructivas realizadas en Panamá.

Los materiales constructivos de las fortificaciones, así como, los posibles sitios de extracción de los componentes principales fueron individuados mediante la colaboración del Departamento de Paleocología y Arqueología del Instituto Smithsonian de Investigación Tropical. Análisis macroscópicos permitieron en fase inicial, identificar la caracterización litológica de los materiales rocosos los cuales, fueron confirmados a través de los análisis petrográficos en laboratorio de las muestras tomadas. Mientras que, el estudio de los morteros históricos, sus componentes, granulometría, morfología y las relaciones cuantitativas de éstos fueron analizados en Italia, en el laboratorio del Departamento de Restauración y Conservación de Bienes Culturales de la empresa Restauro Italia s.r.l.

El análisis histórico – técnico desde la perspectiva de la arqueología vertical estuvo a cargo de la Dra. Mirta Linero Baroni de Arqueología Asesores, quien por su valiosa experiencia como Directora del Departamento de Arqueología del Patronato de Panamá Viejo, brindó

importante información comparativa entre ambos sitios monumentales, entre otros.

El arte de construir de las Fortificaciones Atlánticas de Panamá del siglo XVIII se documentará en un manual que expresa gráficamente, la información técnica y científica obtenida, acompañada de textos explicativos sobre la caracterización arquitectónica de estos monumentos.

El manual será utilizado como instrumento para la difusión de la técnica constructiva del siglo XVIII y del legado histórico – cultural de los exponentes del Real Cuerpo de Ingenieros en el territorio americano.

### **11.2. Sistema Fortificado de la Costa Atlántica de Panamá**

Del complejo fortificado de la costa atlántica de Panamá, las estructuras más representativas y que conservan en mayor parte la integridad de sus edificaciones son: el **Fuerte de San Lorenzo** en la boca del río Chagres (ver Figura 1) y las **Baterías de San Fernando** (ver Figura 2), **Santiago** (ver Figura 3) y **San Jerónimo** (ver Figura 4) en la bahía de Portobelo. En cuanto a las estructuras menores que se extendían como puntos de observación y defensa, en su gran mayoría han desaparecido o cuenta con restos en ruinas.



**Figura 1.** *Fuerte de San Lorenzo. Fotografía: L. Casini y P. Cid, 2018.*



**Figura 2.** *Baterías de San Fernando (baja y alta), Portobelo. Fotografía: L. Casini y P. Cid, 2018.*

**Figura 3.** Batería de Santiago, Portobello. Fotografía: L. Casini y P. Cid, 2018.



**Figura 4.** Batería de San Jerónimo, Portobello. Fotografía: P. Cid y L. Casini, 2017.



En San Lorenzo, las fortificaciones fueron fundamentalmente construidas en piedra; mientras que, en Portobelo, en bloques coralinos. Sus muros eran revestidos con un mortero para la protección de su superficie ante los agentes atmosféricos y naturales de la selva húmeda tropical de Panamá. Hoy en día, quedan muy pocos restos de mortero. Su aspecto formal cuenta con soluciones de ornato<sup>3</sup> que aplicaba un orden arquitectónico realizado en piedra labrada o en ladrillos, así como, dictaban las prácticas del Real Ejército de su Majestad, los Tratados de la época y las lecciones impartidas en las Reales Academias españolas (ver Figura 5).



**Figura 5.** Superior: Ejemplos de Portadas Principales para el Cuerpo de la Plaza, Tratado de Fortificación, Manuel Sánchez Taramas, 1769. Inferior: Portada Principal de la Batería de San Fernando en Portobelo (izquierda) y Cuerpo de Guardia del Fuerte de San Lorenzo (derecha). Fotografías: P. Cid y L. Casini, 2017.

### 11.3. Prácticas edilicias y tipológicas del Real Cuerpo de Ingenieros

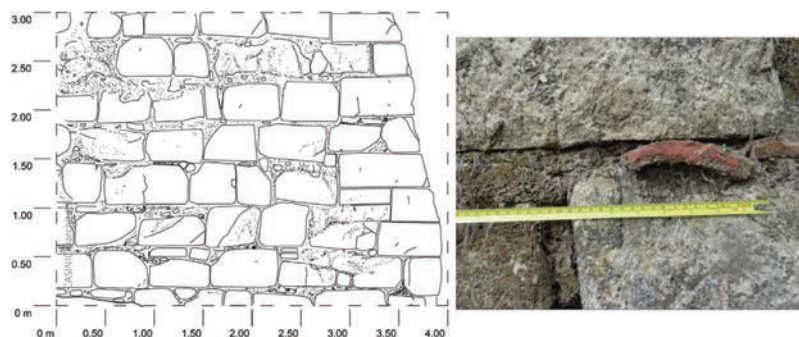
La organización de las obras estuvo comprometida a la extracción de la materia prima directamente en el lugar. En la investigación se han identificado tres afloramientos: uno, de roca sedimentaria: la “arenisca

calcárea o grainstone” en San Lorenzo. Y otro, de roca volcánica: la “andesita basáltica” en el lado de *tierra firme* y a espaldas de la batería de Santiago en Portobelo; y por último, otro de “andesita porfírica” al *otro lado de la bahía*, a orillas de la batería baja de San Fernando.

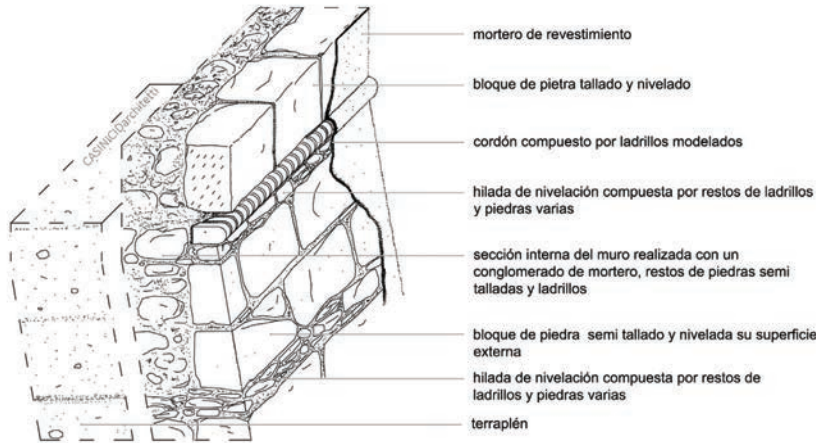
De acuerdo con los análisis petrográficos obtenidos, el **Fuerte de San Lorenzo** fue levantado sobre un promontorio de areniscas calcáreas, roca sedimentaria de grano medio, de estructura masiva, rica en conchas, con cuarzo, fedelspato y fragmentos líticos en menor proporción que sirvió de cantera para la producción de bloques de piedra y morteros durante las obras.

Las tipologías murarias del Fuerte difieren entre sí, de acuerdo al uso militar o civil de sus estructuras. Los muros perimetrales del foso, el área abaluartada y la luneta, sustancialmente, expuestos al combate están caracterizados por un aparejo pseudoisódomo de bloques de arenisca calcárea o grainstone<sup>4</sup>, tallados rectangulares cuyas dimensiones obtenidas oscilaron en hiladas de 40 a 42 cm (1 1/2 pie aprox.) de alto y de largo variable entre 56 y 80 cm (2 a 3 pies aprox) unidos por un mortero de colocación de espesor variable y con restos de ladrillos o tejas de relleno o también utilizados para la nivelación del plano de montaje de los bloques (ver Figura 6). Los bloques cuya profundidad pudo ser tomada, eran proporcionales a la altura de la hilada y venían apoyados a rellenos de tierra (área de la luneta), a la roca del promontorio (hornabeques), o a conglomerados de obra mixta conformados por cantos de dimensiones variables y formas irregulares y mortero de relleno que formaban los muros internos del área a uso civil.

**Figura 6.** Detalle constructivo de la estructura muraria en el Fuerte de San Lorenzo (izq.) y particular de la aplicación de restos de tejas como relleno y nivelación del plano de posa (der.), P. Cid y L. Casini, 2017.



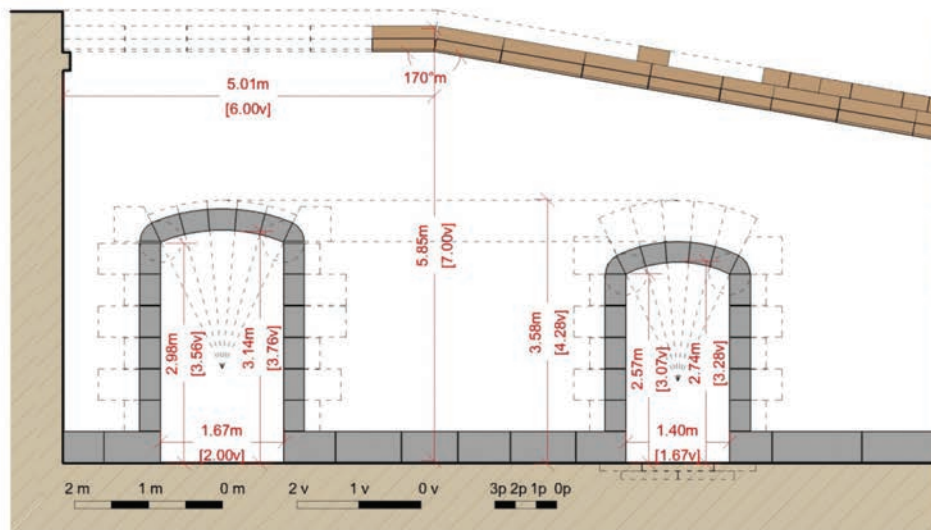
La unión entre la escarpa y el parapeto contaban con la decoración de un cordón formado por piezas de ladrillos con el lado externo de borde semicircular (ver Figura 7).



**Figura 7.** Representación tipológica de las cortinas perimetrales del Fuerte de San Lorenzo, P. Cid y L. Casini, 2017.

Los muros del área de la Plaza de Armas estaban conformados por una primera hilada de bloques *a vista* en arenisca calcárea o grainstone que definía además, el contorno de los vanos de ingreso a las habitaciones<sup>5</sup>; mientras que, el resto del muro se levantaba en arenisca volcánica<sup>6</sup> con 5 cm para el mortero de revestimiento y el relieve de los bloques. Una muestra de las técnicas y buenas prácticas edilicias utilizadas por los ingenieros militares a causa de lo propensa que es esta piedra a sufrir procesos de disolución y desgaste por exposición a agentes erosivos como el agua y el viento de los que, actualmente, padece. El borde de cornisa superior, en cambio, fue realizado con piezas de ladrillo (ver Figuras 8).

Los diversos procesos de construcción de la fábrica se han observado en el cambio de las técnicas y los tipos de materiales a causa de la paralización de las obras en el tiempo. Por ejemplo, en los muros internos de las galerías centrales en San Lorenzo, donde se aprecia la finalización del muro de mampostería en arenisca volcánica y luego, el inicio de otro período constructivo con la realización de dos hila-



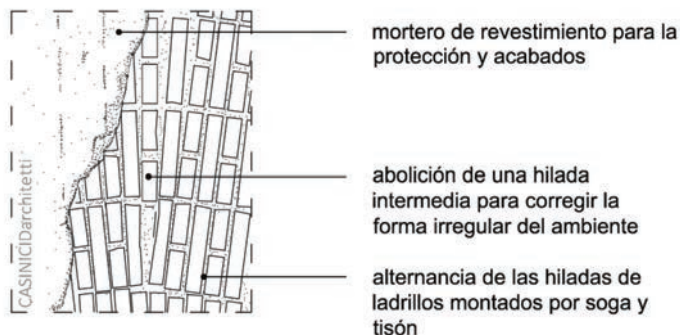
**Figura 8.** Superior: Levantamiento del sector sur (habitaciones y rampa) del Fuerte de San Lorenzo, P. Cid y L. Casini, 2017. Inferior: Hipótesis reconstructiva, P. Cid y L. Casini, 2017.

das de bloques tallados rectangulares en lodolita tobácea<sup>7</sup> que servían de imposta para la bóveda de ladrillos (ver Figura 9).



**Figura 9.** Elevación de una porción de muro y bóveda en galería, Fuerte de San Lorenzo, P. Cid y L. Casini, 2017.

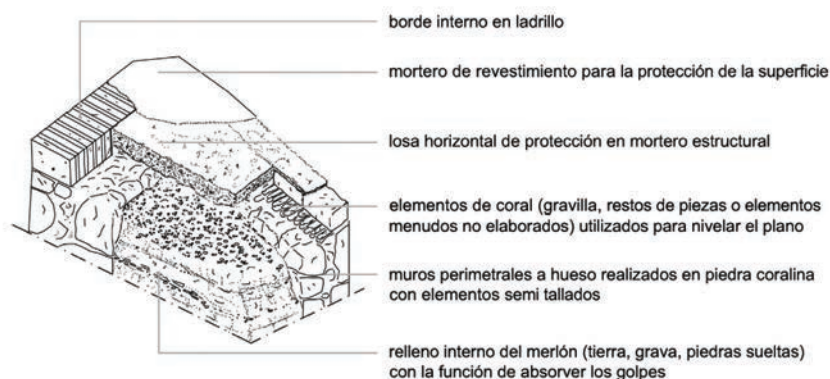
La actual falta del mortero original en algunas áreas de los ambientes abovedados, ha permitido leer la construcción de estos elementos. Todas las bóvedas son de medio cañón y en ladrillos de espesores variables que van de 3 a 4,5 cm por un ancho entre 12 y 13 cm (1/2 pie con el mortero de junta) y un largo entre 27 y 28 cm (1 pie) y fueron realizadas en hiladas alternadas montadas: una, de sogá, y la otra, de tisón; distribuidas en el sentido longitudinal de la galería (ver Figura 10).



**Figura 10.** Detalle constructivo de la bóveda de cañón en las galerías del Fuerte de San Lorenzo, P. Cid y L. Casini, 2017.

Por otro lado, algunas de éstas que aún conservan el mortero de revestimiento, también conservan la huella de las cimbras dejando apreciar el empleo de dos métodos que podrían corresponder a dos momentos distintos de construcción, a dos grupos de trabajadores, al cambio en la mano de obra o a la falta de material en la obra. El primero, por tablonos de madera donde la distancia marcada por la cimbra es de 2 metros aproximadamente lo que, equivaldría a 2 ½ varas. El segundo, en cambio, refleja marcas a una distancia mucho más breve y con pequeñas incisiones diagonales que se hipotiza, haya sido un sistema de cañas o bejucos amarrados con sogas que componían la cimbra misma.

La experiencia constructiva desarrollada en **Portobello** corresponde a dos sectores de la bahía. *Tierra firme* que alberga a las baterías de Santiago y San Jerónimo y *al otro lado de la bahía*, donde se encuentra el complejo fortificado de San Fernando. Las estructuras murarias eran realizadas en mampostería de bloques coralinos cubiertos por un mortero de revestimiento, con las esquinas de los muros y la boca de las troneras en una piedra con una cualidad estructural más resistente. En San Fernando, se identificó el packstone<sup>8</sup>; y en Santiago y San Jerónimo, la arenisca fosilífera<sup>9</sup> que también fue utilizada en los morteros (ver Figura 11).



**Figura 11.** *Detalle constructivo de cañonera - Portobello, P. Cid y L. Casini, 2018.*

El alto conocimiento edilicio previo que poseían los oficiales del Real Cuerpo de Ingenieros enviados a América debido a la formación en las Academias Militares y por laborar en zonas costeras de las costas española y mediterránea, les permitió contar con el dominio de las técnicas constructivas y el reconocimiento del material apto para ser utilizado en las fortificaciones militares según el tipo de función que habría desempeñado dentro del sistema constructivo, así como, el comportamiento de éste ante las condiciones naturales, ambientales y climáticas. Las costas atlánticas panameñas ofrecieron un lugar de alta concentración vegetativa y de crecimiento rápido, de altos niveles de humedad y expuestos a prolongados períodos de lluvia (8 a 10 meses) en los cuales, los ingenieros militares debieron organizar la programación de las obras de construcción y de mantención adaptando las técnicas de construcción a estas condiciones.

#### **11.4. Edificaciones Militares: los Repuestos de la Pólvora y el Cuerpo de Guardia**

Un recurso común utilizado por los ingenieros militares españoles fue la de aplicar un modelo o patrón único de edificación militar el cual, venía ilustrado en los tratados de la época junto con los parámetros arquitectónicos y de construcción. A continuación, se describen los **Repuestos de Pólvora** de las Baterías de San Fernando y San Jerónimo en Portobelo, y el **Cuerpo de Guardia** del Fuerte de San Lorenzo como ejemplos de las edificaciones militares presentes en estas fortificaciones.

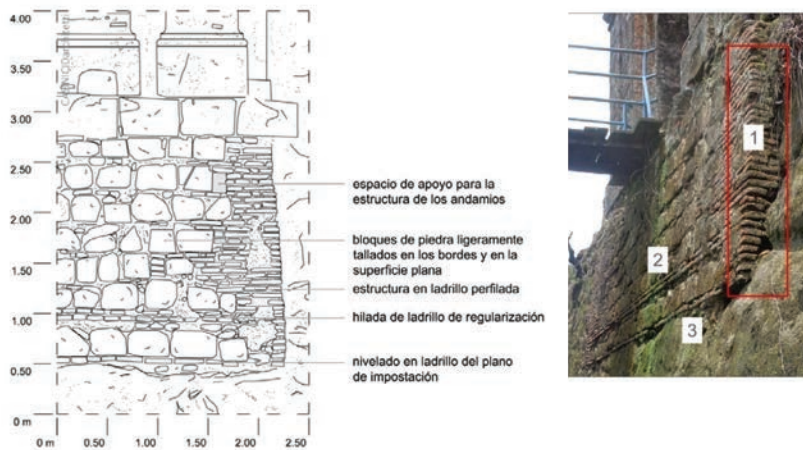
En Portobelo, los *“repuestos de pólvora”* de San Fernando, San Jerónimo y el *“almacén de pólvora”* ubicado alejado de la bahía, mantendrán la tipología individuada por los tratados de la época, adecuando sus dimensiones a la capacidad necesaria que se requería para albergar la pólvora. Una descripción precisa, la encontramos en el Tratado de Lucuze<sup>10</sup>.

En Portobelo, las murallas y los 4 *estribos* o contrafuertes de los repuestos de pólvora fueron construidos predominantemente con bloques coralinos tallados y revestidos con mortero.

Las dos pendientes del techo y de los contrafuertes fueron realizadas con restos de ladrillos rotos<sup>11</sup> que luego, eran cubiertos por una capa de mortero impermeabilizante (*cocciopesto*); mientras que, los bordes de las inclinaciones eran de ladrillos montados de tabla y con el extremo externo semicircular. La cumbrera fue realizada con bloques coralinos tallados en forma triangular con el área central adaptada para embonar en una cumbre plana de 2 hiladas de ladrillos montados a tabla de 1 pie de ancho y que en los lados de las fachadas eran decorados con elementos hechos con ladrillos y modelados con mortero (*cocciopesto*). En la parte baja del techo, el alero era creado por una cornisa realizada del mismo modo apenas descrito.

El interior de los repuestos de la pólvora eran abovedados de cañón y paredes y techos revestidos de mortero. En los muros del ingreso y el opuesto, se colocaron las ventanas en alto y a mitad de los muros laterales, los *respiraderos* o aspilleras de ventilación *a dado*. En cuanto a la construcción de la bóveda para el almacén de la pólvora, Sánchez Taramas escribe sobre los diversos modos de construir una bóveda a través del estudio de diversos tratadistas de la época<sup>12</sup>.

El **Cuerpo de Guardia** del Fuerte de San Lorenzo, ingreso principal a la Plaza, fue construido sobre un promontorio (ver Figura 12) que conecta con la luneta frontal hacia la defensa de tierra a través de un puente levadizo. El aspecto actual no corresponde en su plenitud al aspecto original, ya que, se han perdido casi totalmente las superficies del mortero de revestimiento, de los acabados externos y parte de los internos, así como, todos los componentes de madera de los cierres y del puente levadizo, además de, una buena parte de las ornamentaciones ubicadas en la parte superior de la cobertura y en correspondencia con los ejes de las pilastras.



**Figura 12.** *Detalle constructivo de la base del Cuerpo de Guardia realizada sobre el promontorio, Fuerte de San Lorenzo (izq.), Notas (der.): 1. Estructura perfilada en ladrillos, 2. Hilada de ladrillo de nivelación, 3. Nivelación en ladrillos del plano de posa, P. Cid y L. Casini, 2018.*

A pesar de esto, es evidente el objetivo de enriquecer y distinguir la construcción con una formalidad a través de la decoración de las pilastras externas que, por el uso militar vienen propuestas coherentemente con un tamaño relacionado con un orden toscánico.

Está formado por un paralelepípedo de base cuadrangular de alrededor 8.2 varas equivalentes a cerca 3.5 toesas de lado, correspondientes a 6.8 metros aproximadamente, y cubierto por una bóveda esquifada al extradós. La altura interna al intradós de la bóveda de cubierta fue tomada en la cota media del nivel de piso determinado como el original<sup>13</sup> y es de cerca 7.3 varas, correspondientes a 3.1 toesas y cerca de 6.10 metros. La finalidad de esta construcción era la de albergar al cuerpo de guardia y de contener y proteger la estructura y los mecanismos del puente levadizo que garantían el acceso al fuerte.

El espesor medio del aparejo murario se encuentra en el orden de una vara, aproximadamente 3 pies y alrededor de los 80 cm. Es mixto y está constituido por sillares de piedra delineados en planos sub paralelos<sup>14</sup>, alternados por sillares horizontales en ladrillo dispuestos para nivelar los planos horizontales. Otros ladrillos, en cambio, eran empleados para rellenar los espacios vacíos entre los bloques de piedra. Las hiladas externas expuestas a los agentes atmosféricos presen-

tan una trama relativamente más regular con respecto a las internas que muestran piezas de restos de bloques mucho más heterogéneas. La parte superior del aparejo murario, así como, se observa en las hiladas externas, está realizada en ladrillo. Una señal de la necesidad de crear un nivel de posa terminal homogéneo, funcional a la imposta y estribo de la bóveda esquinada de cubierta y a la realización del alero del entablamento.

A nivel de ornamentación, todas las molduras están realizadas en ladrillo. En un inicio, cubiertas y protegidas por el mortero de revestimiento, así como, todavía se observa en las áreas menos expuestas y en el interior de la construcción. Con excepción de algunos elementos labrados todavía presentes sobre la cornisa en unión con la cubierta, no hay obras en piedra tallada.

### **11.5. Los Morteros Históricos y sus diversas aplicaciones**

Se recogieron muestras de los morteros utilizados en la colocación de cantos de piedra, en revestimientos de superficies murarias y en las cubiertas de los almacenes para la pólvora (baterías de San Jerónimo y San Fernando) para el análisis petrográfico en laboratorio. Los resultados de la microscopía óptica polarizada identificaron un tipo de aglomerante en común para todas las muestras, la “cal ligeramente hidráulica”, así como, la composición mineralógica del componente agregado o árido, su granulometría y morfología, y la posible presencia de elementos tales como, ejemplos en arcillas cocidas, calizas cocidas o la adición de aditivos de diversos tipos que pueden ser indicativos de tecnologías de producción particulares.

De acuerdo a los resultados mineralógicos, la cal fue realizada de una roca sedimentaria caracterizada por una matriz microesparítica – esparítica con componentes calcáreos dominantes y fragmentos de cuarzo, líticos y restos fósiles. En el caso de San Lorenzo, la arenisca calcárea o grainstone y en Portobello, la arenisca fosilífera para las baterías en *tierra firme* y la packstone para el complejo de San Fernando.

Se han determinado 2 tipos de arenas compuestas en los morteros de las áreas analizadas. En San Lorenzo, los resultados arrojaron la

prevalencia de una arena fina y homogénea compuesta por fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias, al igual que, en las baterías de San Jerónimo y Santiago en Portobelo que fueron utilizadas para los morteros de colocación. En San Fernando, en cambio, se encontró una arena compuesta por una parte de origen volcánico y otra, carbonática.

A través del estudio de los morteros históricos se alcanzó el objetivo principal de determinar las características de éstos de acuerdo a su función en la fábrica constructiva. De acuerdo a los valores obtenidos y su aplicación se identificaron 3 tipos: un mortero de tipo estructural de granulometría gruesa y no homogéneas utilizado para la creación de las plataformas de las rampas, de las áreas de las cañoneras y la losa que cubre los merlones de las troneras; y otro, fino y homogéneo para la colocación de los bloques. Un segundo, de tipo impermeabilizante *cocciopesto* donde predominan las arcillas en un compuesto fino o medio – fino y no homogéneo utilizado para la protección de las cubiertas de los repuestos de pólvora, garitas y la parte superior de elementos decorativos expuestos al golpe del agua de lluvia. Y por último, un mortero de revestimiento para la protección de muros y fachadas fino y ligeramente no homogéneo el cual, se llegó a observar que su estratigrafía era realizada con 2 a 3 capas de constitución.

En la batería de San Jerónimo en Portobelo, en cambio, se desarrollaron estructuras que se relacionan con los parámetros y composición de los morteros de colocación encontrados en San Lorenzo pero, de una granulometría más fina. Esto ha permitido identificar que períodos de construcción y ubicación distinta han compartido la misma técnica de elaboración de la mezcla para los morteros de colocación. En este caso, nos referimos al reducto del siglo XVII, al almacén de la pólvora de la batería *a flor de agua* de mitad del siglo XVIII y a las estructuras de las ampliaciones de San Lorenzo realizadas posteriormente.

## 11.6. Conclusiones

El conocimiento cultural, técnico y científico de un bien histórico es fundamental en la definición de estrategias de salvaguarda y valoración conscientes con lo que el monumento representa e incluye. Este permitirá crear el enfoque necesario para la definición de una metodología y un programa apropiado de intervención. Las Fortificaciones de Portobello y San Lorenzo son ejemplos únicos y representan una obra maestra del ingenio creativo humano (criterio i – inscripción UNESCO), así como, las adaptaciones posteriores de las características de su arquitectura militar a causa de nuevas estrategias defensivas y de combate (criterio iv) las cuales, representan además, el desarrollo estructural y tecnológico de un sistema militar que funcionó en el Caribe durante los siglos XVI, XVII y XVIII.

Los modelos arquitectónicos e ingenierísticos formales analizados confirman la aplicación de los modelos militares en uso por el Real Cuerpo de Ingenieros de España durante el siglo XVIII y que siguen patrones codificados que continuarán su aplicación en las estructuras militares de los diversos territorios de la corona española. El reconocimiento de los materiales válidos para la construcción, la resistencia mecánica de éstos y su comportamiento ante los factores de degradación, forman parte del bagaje de conocimientos técnicos que los ingenieros del Real Cuerpo debían poseer y ser en grado de aplicarlos en la creación de un sistema tecnológico fortificado para el éxito de la empresa real defensiva.

El manejo de las técnicas constructivas, en cambio, ha estado sujeto a la reinterpretación por la mano de obra a disposición y al grado de especialización en lo requerido. Esto ha ocasionado una construcción condicionada, además, por recursos económicos insuficientes para su terminación y mantención. El reflejo de esta problemática se puede apreciar en el degrado estructural de las fortificaciones de Portobello y San Lorenzo donde, por ejemplo, la interrupción de los períodos constructivos no han permitido la realización de un tejido continuo y entrelazado de su estructura lo que, en algunos sectores y sin una mantención adecuada y continua, ha provocado la separa-

ción de sus partes. Este es el caso también, de elementos estructurales que no se realizaron, posiblemente, por causa de un presupuesto limitado o por una mala administración de obra, como en el caso entre los ingenieros Belestá y Narváez (1786-1796)<sup>15</sup>.

Un factor importante y recurrente en la problemática histórica de estas fortificaciones ha sido el tema de la mantención de estas obras. El deterioro y degradación de las estructuras por un ambiente tan agresivo como el del sector atlántico de Panamá y sin intervenciones periódicas significativas han causado al día de hoy, la pérdida no sólo de elementos individuales sino, de áreas y sectores a diversa escala que no serán recuperables por falta, además, de documentación accesible al lenguaje arquitectónico y constructivo original.

Con la finalidad de documentar la actual información que resta de las estructuras existentes y su complementación a través de material histórico y análisis técnicos y científicos, el presente proyecto de investigación levantó las expresiones arquitectónicas y constructivas más representativas de este complejo monumental fortificado para la preservación de su información histórico – cultural y la recuperación de su lectura original.

## Note

<sup>1</sup> Decision Report WHC-12/36.COM/7B.102, p. 173. Paris, 11 May 2012. Document WHC-12/36.COM/19, p. 221. 36° Session, WHC - UNESCO. Saint Petersburg, Russian Federation. 24 June-6 July 2012.

<sup>2</sup> El Proyecto de Investigación “Análisis de las Técnicas de Construcción de los Fuertes de Portobelo y San Lorenzo” es un aporte a las autoridades panameñas que salvaguardan el patrimonio histórico-cultural de Panamá: Instituto Nacional de Cultura (INAC), Dirección Nacional de Patrimonio Histórico (DNPH) y Patronato de Portobelo y San Lorenzo (PPSL). El proyecto ha sido financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá, proyecto 29 – 2017 – FID16 – 144.

<sup>3</sup> Como por ejemplo, menciona Lucuze en relación a los ingresos: «*La portada se hace de piedra labrada; con el ornato de un orden de Arquitectura Toscano, ò Dorico, correspondiente al decoro y magnificencia del Principe, con el Escudo de las Armas Reales. [...]*». Lucuze, Pedro de: “Sección primera, cap. XVII, Obras Accesorias”, en *Principios de Fortificación que contienen las definiciones de los términos principales de las obras de*

*Plaza, y de Campaña, con una idea de la conducta regularmente observada en el Ataque, y Defensa de las Fortalezas, Barcelona, 1772, p. 76.*

<sup>4</sup> Las descripciones de este litotipo correspondió a un tamaño de grano fino a medio de (< 0.5 mm) de color crema-rojizo con textura clástica, caracterizada por una composición híbrida que incluye material siliciclástico y calcáreo.

<sup>5</sup> Esta tipología en las fachadas también ha sido recuperada en la restauración de las habitaciones de la “Punta de Chiriquí” de la Muralla Defensiva del Casco Antiguo de la Ciudad de Panamá, como rescate de las características originales.

<sup>6</sup> Roca sedimentaria de grano fino (< 0.25 mm) de color crema-grisáceo con textura masiva, caracterizada por una baja densidad relativa. La abundante presencia de material arcilloso que produce la tonalidad grisácea de esta unidad y la textura terrosa, evidencia el actual grado de alteración de la roca.

<sup>7</sup> Roca volcánica tobácea o sedimentaria finogranular con alto contenido de material volcagénico de grano muy fino con textura masiva de color crema claro, caracterizada por su baja densidad relativa y el alto contenido de material arcilloso que imprimen un aspecto terroso.

<sup>8</sup> Roca sedimentaria calcárea de color rojizo, grano – soportada, compuesta predominantemente por bioclastos (fragmentos de moluscos) finos a medios, lodo calcáreo y óxidos de hierro.

<sup>9</sup> Roca sedimentaria clástica de color pardo amarillento con partículas tamaño arena fina a media de cuarzo, fragmentos líticos y restos de moluscos cementados con material calcáreo.

<sup>10</sup> Lucuze, Pedro de: “Sección primera, Cap. S. XIX – Edificios Principales”, en *Principios de Fortificación...*, op. cit., p. 89, figg. 82 y 83. «*Los almacenes, y repuestos de polvora dentro del recinto, se hacen à prueba [a prueba de bombas], con respiraderos en las paredes para la ventilacion: el pavimento inferior se guarnece de un entablado, levantado de tierra un pie, para preservar la polvora de la humedad: se hacen dobles la puerta y ventana, cubriendolas con planchas de hierro, y se toman todas las precauciones contra el incendio. El almacen se circuye de una pared sencilla, para que nadie se acerque à la puerta, ventana y respiraderos*».

<sup>11</sup> Probablemente, estos restos de ladrillos corresponden al material de relleno sobre la bóveda.

<sup>12</sup> Sanchez Taramas, Miguel: *Tratado de Fortificación, ò Arte de construir los Edificios Militares, y Civiles*. Barcelona, 1769, p. III, s. XIX, pp. 357-368, figg. 1 y 2.

«*El espesor de la Boveda es de 3 pies en los riñones, y se forma de 3 roscas de Ladrillo entero la una sobre la otra [según Vauban]; y tangentes à la superficie exterior, se disponen las dos vertientes del Texado [...]*».

«*Tambien se ha de notar, que es mucho mejor hacer la Boveda de una sola rosca de 3 pies de grueso, trabando bien los Ladrillos, que no formarla de 3 cascos diferentes; porque de este modo resultará una Obra de mayor robustez, y resistencia, [según Muller] [...]*».

«*[...] es provechoso dexar [dejar] puestas las Cimbras [cimbras] sobre que se construyan las Bovedas por espacio de seis meses à lo menos , para que la Obra tenga lugar*

*de enxugarse [secarse] y endurecerse sin sufrir empujo ; pues de otro modo seria preciso hacer los Muros mas robustos , para que la Boveda no se hundiese quitandole pronto las Cimbrias».*

<sup>13</sup> La cota del nivel de piso del área occidental exterior que cubre las galerías abovedadas del piso inferior, es fruto de una obra de impermeabilización sucesiva y no corresponde a la cota original. Esta situación también se encuentra en las alturas de las bases de las pilastras que hacia el lado oriental hacia la luneta, en cambio, conservan la altura original.

<sup>14</sup> Algunas obras de mantención del relleno de las juntas han modificado, parcialmente, la percepción del corte de los bloques los cuales, se aprecian menos regulares de cuanto en realidad, lo sean.

<sup>15</sup> AGNCo. SC. (Archivo General de la Nación de Colombia. Sección Colonia), Reales Cédulas, autos, causas criminales, certificados, MISCELANEA: SC.39,122,D.9, 1804. Informe de Obras de reconocimiento y fortalecimiento de la Plaza de Panamá. Respuesta a las “Cartas” de 1796 de Narváez sobre el problema de gestión de gastos de Juan Belestá al cual, Narváez tuvo que intervenir para finalizar las obras.

## ELENCO DEGLI AUTORI

### **Jacinto Canivel**

Universidad de Sevilla. Departamento de Construcciones Arquitectónicas II. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

### **Leonardo Casini**

Centro de Investigaciones para la Conservación del Patrimonio Arquitectónico y Urbano. Panamá

### **Patricia Cid**

Universidad Católica Santa María la Antigua, Panamá

### **Fabrizio Cinelli**

Università di Pisa, Scuola di Ingegneria - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni

### **Anna De Falco**

Università di Pisa, Scuola di Ingegneria - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni

### **Michele Di Sivo**

Università di Pisa, Scuola di Ingegneria - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni

### **Sebastián Gómez**

Smithsonian Tropical Research Institute. Center for Tropical Paleoecology and Archaeology. Panamá

**Amparo Graciani García**

Universidad de Sevilla. Departamento de Construcciones Arquitectónicas II. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

**Carlos Jaramillo**

Smithsonian Tropical Research Institute. Center for Tropical Paleocology and Archaeology. Panamá

**Antonio Jaramillo-Morilla**

Universidad de Sevilla. Departamento de Estructuras de la Edificación e Ingeniería del Terreno. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Avenida de Reina Mercedes 2. Seville, 41012, Spain

**Ewa Karwacka Codini**

Università di Pisa, Scuola di Ingegneria - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni

**Daniela Ladiana**

Dipartimento di Architettura di Pescara - Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti e Pescara

**Stefania Landi**

Università di Pisa, Scuola di Ingegneria - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni

**Santiago León**

Centro de Investigaciones para la Conservación del Patrimonio Arquitectónico y Urbano. Panamá

**Mirta Linero Baroni**

Arqueo Asesores. Asesoría en arqueología vertical. Panamá

**José Emilio Mascort-Albea**

Universidad de Sevilla. Departamento de Construcciones Arquitectónicas II. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

**Stefano Pagliara**

Università di Pisa, Scuola di Ingegneria - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni

**Michele Palermo**

Università di Pisa, Scuola di Ingegneria - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni

**Rocío Romero-Hernández**

Universidad de Sevilla. Departament de Construccions Arquitectòniques II. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

**Maria Scalici**

Restauro Italia s.r.l. Dipartimento di Restauro e Conservazione dei Beni Culturali. Italia

Finito di stampare nel mese di marzo 2019  
da Tipografia Bongi s.n.c. - San Miniato  
per conto di Pisa University Press