

MATERIALI E STRUTTURE

PROBLEMI DI CONSERVAZIONE



CLIMA CHE CAMBIA
BENI STORICI CHE RIMANGONO

NUOVA SERIE
ANNO XII
NUMERO 24
2023

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

SAPIENZA • UNIVERSITÀ DI ROMA

DIPARTIMENTO DI STORIA, DISEGNO E RESTAURO DELL'ARCHITETTURA

MATERIALI E STRUTTURE

PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

CLIMA CHE CAMBIA
BENI STORICI CHE RIMANGONO



NUOVA SERIE

XII

NUMERO 24

2023

MATERIALI E STRUTTURE. PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

© Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Piazza Borghese, 9 – 00186 – Roma

Rivista semestrale, fondata nel 1990 da Giovanni Urbani

Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 265 del 25/09/2012

Nuova serie, anno XII (2023), 24

ISSN 1121-2373

Direttore editoriale: Donatella Fiorani

Consiglio Scientifico: Giovanni Cangi, Maurizio Caperna, Francesco Doglioni, Paolo Fancelli, János Krähling, Alessandra Marino, Marica Mercalli, Dimitris Theodossopoulos, Fernando Vegas

Comitato di Redazione: Adalgisa Donatelli, Maria Grazia Ercolino (coordinatrice), Rossana Mancini, Chiara Mariotti, Sonia Pistidda, Leila Signorelli, Oana Tiganea, Luigi Veronese, Mariarosa Villani

In copertina: Venezia, il cortile del Palazzo Ducale durante l'*acqua grande* del 2019
(foto F. Trovò)

La rivista è di proprietà dell'Università degli Studi di Roma «La Sapienza»

© Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Piazza Borghese, 9 – 00186 – Roma

Roma 2023 – Edizioni Quasar di Severino Tognon s.r.l.

via Ajaccio 41/43 - 00198 Roma

tel. 0685358444 - fax 0685833591

Per ordini e abbonamenti:

www.edizioniquasar.it

info@edizioniquasar.it

Sommario

- 5 EDITORIALE
CAMBIAMENTI DEL CLIMA E CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO:
NODI E STRATEGIE PER UNA GESTIONE POSSIBILE
-DONATELLA FIORANI
- 9 GLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL PATRIMONIO
CULTURALE DI VENEZIA. PROPOSTA DI UN METODO PER LA
DEFINIZIONE DI MISURE DI CONTRASTO
-FRANCESCO TROVÒ
- 27 ANTICHE SUBSIDENZE E NUOVI CAMBIAMENTI CLIMATICI:
LE SFIDE ATTUALI PER IL PATRIMONIO MONUMENTALE
DI RAVENNA
-ANDREA UGOLINI
- 45 DANISH BUILDING CULTURE AND CLIMATE: INVESTIGATIONS
OF EXISTING KNOWLEDGE ON LIFE CYCLE ASSESSMENTS AND
CONSERVATION VALUES IN MODERNIST MULTI-STORY
HOUSING 1930-74
-BIRGITTE IANDERUP EYBYE, MOGENS A. MORGEN, NINA VENTZEL RIIS
- 69 SOSTENIBILITÀ E CURA DEL PATRIMONIO URBANO:
PER UN NUOVO MODELLO DI GESTIONE DELL'EFFICIENTAMENTO
ENERGETICO NEI CENTRI STORICI. UN CASO STUDIO
-MARIA VITIELLO
- 89 CAMBIAMENTI CLIMATICI E PATRIMONIO CULTURALE: METODI
E STRUMENTI DI PROTEZIONE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO
-ALESSANDRA BONAZZA, RAFFAELA GADDI, ALESSANDRO SARDELLA
- 111 ABSTRACT

Autori

DONATELLA FIORANI
Prof. Ordinario, Sapienza Università di Roma
donatella.fiorani@uniroma.1.it

FRANCESCO TROVÒ
Prof. Associato, IUAV
trovo@iuav.it

ANDREA UGOLINI
Prof. Associato,
Università *Alma Mater* di Bologna
a.ugolini@unibo.it

BIRGITTE TANDERUP EYBYE
Assistant Professor,
Aarhus School of Architecture
bte@aarch.dk

MOGENS A. MORGEN
Professor, Aarhus School of Architecture
mom@aarch.dk

NINA VENTZEL RIIS
Assistant Professor,
Aarhus School of Architecture
nvr@aarch.dk

MARIA VITIELLO
Ricercatore tdB, Sapienza Università di Roma
maria.vitiello@uniroma1.it

ALESSANDRA BONAZZA
Geologa, Ricercatore CNR
a.bonazza@isac.cnr.it

RAFFAELA GADDI
Chimica, Tecnologa, ISPRA
raffaella.gaddi@isprambiente.it

ALESSANDRO SARDELLA
Geologo, Ricercatore CNR
a-sardella@isac.cnr.it

Responsabili Peer Review per il presente numero:

MARTA ACIERNO, CARLOTTA COCCOLI, MARIA ELENA CORRADO, SILVIA CUTARELLI,
FRANCESCO DOGLIONI, GIOVANNA FRANCO, GUSTAF LEIJONHUFVUD, CLAUDIO MENICHELLI,
CHIARA PORROVECCHIO, VALERIA PRACCHI

Editoriale

*Cambiamenti del clima e conservazione del patrimonio:
nodi e strategie per una gestione possibile*

DONATELLA FIORANI

Il cambiamento climatico costituisce, come la guerra, un grande e irrisolto problema che agita la contemporaneità e minaccia il nostro patrimonio culturale. Mentre però la relazione fra guerra e distruzione del patrimonio appare immediata e diretta, il rapporto fra situazione climatica e architettura risulta particolarmente complesso, perché mediato da una molteplicità di fattori diversi.

L'architettura storica, in particolare, si è conformata attorno ai vincoli posti dai condizionamenti climatici: orientamento dei fabbricati, numero e grandezza dei vani in facciata, forma delle coperture, selezione e assemblaggio dei materiali costituiscono alcuni degli elementi che, assieme alla tipologia e alla disposizione degli impianti preindustriali, connotano gli edifici del passato, definendone in buona parte l'inconfondibile specificità.

Uno scenario totalmente diverso caratterizza invece l'architettura degli ultimi cinquant'anni che, almeno fino ai più recenti richiami per la sostenibilità, ha prevalentemente delegato alla tecnologia impiantistica il conseguimento del benessere interno degli ambienti. Tale delega fiduciosa è talvolta arrivata al compiacimento per la raggiunta indipendenza dai condizionamenti esercitati dal contesto, come dimostra la diffusione delle facciate vetrate ad ogni latitudine del pianeta.

Proprio la corrispondenza con le esigenze climatiche locali ha garantito quindi la maggiore sostenibilità dell'architettura storica, consentendole di rispondere alle sollecitazioni climatiche senza richiedere adattamenti e spese particolarmente onerosi.

La recente consapevolezza del rapido mutare delle condizioni climatiche del pianeta, che in meno di 150 anni ha visto la temperatura media aumentare di più di un grado centigrado, ha indotto una forte preoccupazione nei confronti degli scenari futuri. Secondo diversi Rapporti dell'Organizzazione delle Nazioni Unite, infatti, tale temperatura potrebbe aumentare ancora di altri 3,2 °C entro la fine del secolo, soprattutto a causa delle emissioni di biossido di carbonio e di metano, determinando gravi fenomeni siccitosi e alluvionali.

Nella situazione prefigurata, nuovi pericoli si prospettano per l'architettura storica, nell'immediato e nel futuro prossimo. Le problematiche di tutela attuali sono già piuttosto evidenti: il contenimento dell'uso dei carburanti fossili, ai quali si riconduce una consistente responsabilità nel riscaldamento del clima, ha infatti incrementato le nuove forme di produzione energetica da fonti rinnovabili; la conseguente diffu-

sione di pale eoliche e pannelli fotovoltaici ha quindi comportato un forte impatto sul paesaggio. Ugualmente, il ricorso indiscriminato alla coibentazione delle murature storiche, la cui apprezzabile inerzia termica è spesso già normalmente garantita dalla buona compattezza e dal consistente spessore, ha causato trasformazioni incongrue all'interno e all'esterno dei fabbricati; fra queste vi sono soprattutto la mutazione delle geometrie interne degli ambienti, specie se voltati, e la trasformazione delle facciate, con le cornici delle finestre un tempo emergenti dal filo della parete oggi annegate negli strati di rivestimento. Per non parlare dei nuovi materiali industriali, prodotti in virtù delle loro particolari caratteristiche isolanti e per questa ragione spesso sostituiti a quelli tradizionali già in opera malgrado la loro ancora verosimile efficienza.

Nel futuro, ai guasti determinati da modalità d'intervento che non distinguono l'edilizia storica tradizionale da quella industriale più recente, anche con la complicità di disposizioni normative non sufficientemente attente, il cambiamento climatico potrebbe indurre problemi ancor più consistenti. Una variazione di temperatura significativa come quella prevista genererebbe infatti pericoli diretti per gli edifici (specie le alluvioni) ma incrementerebbe anche notevolmente ulteriori pericolosità già esistenti, come frane o incendi.

È proprio questo secondo corno del problema a offrire maggiori stimoli alla ricerca nel campo del restauro, specie in riferimento al settore della conservazione programmata. Quest'ultima prospettiva, ideata da Giovanni Urbani quasi mezzo secolo fa, associa infatti alla previsione dei fenomeni di pericolosità indotti dall'ambiente o dagli esseri umani, la conoscenza specifica della vulnerabilità dei beni culturali destinati a subirne l'azione, al fine di determinare l'effettivo livello di rischio di perdita di questi ultimi. A questa strategia di valutazione si lega la possibilità di prevedere gli eventi futuri; tale previsione, come avviene normalmente in ambito scientifico, si basa sull'osservazione degli accadimenti passati. Uno dei casi più noti nel nostro campo riguarda la probabilità di occorrenza dei terremoti (su cui si calcola il livello di miglioramento strutturale degli edifici), ricavata dalla conoscenza della cronologia e dell'intensità dei sismi storicamente documentati. Fra l'altro, proprio l'osservazione dei fenomeni passati legati alla pericolosità del clima consente di comprendere se e in che misura la situazione sia effettivamente cambiata, valutazione alla base di una qualunque seria analisi scientifica.

Vagliata quindi l'effettiva mutazione delle condizioni passate, come si può procedere nella valutazione dei rischi indotti da eventi ambientali di cui sembrano essere sovvertite modalità e caratteristiche?

Gli scenari di ricerca che si aprono sono numerosi e coinvolgono molte discipline 'dure', dalle scienze ambientali alla fisica, dalla chimica al calcolo probabilistico; ad esse spetta il compito d'immaginare una nuova strategia previsionale, magari basata sui dati ancora limitati delle anomalie climatiche registrate in questi ultimi anni. Ad architetti, ingegneri e restauratori pertiene invece la responsabilità di capire come valutare le vulnerabilità degli edifici e dei loro apparati decorativi. Praticamente tutti i

settori del sapere dovrebbero partecipare alla messa a punto di modalità integrate per rispondere e attenuare rischi ed effetti di questo cambiamento e per intervenire nella prevenzione e nel post-emergenza. È probabilmente inutile aggiungere che anche la migliore integrazione di questi sforzi risulterà insufficiente se non sostenuta da una politica virtuosa e in grado di guardare seriamente al futuro.

Proprio per la particolare ampiezza dello spettro d'interessi, lo stato dell'arte in questa complessa materia appare ancora frammentario e stenta a trovare linee di convergenza consolidate almeno per tre ragioni fondamentali, consistenti nella diversa gerarchia degli interessi che animano uno o l'altro settore, nel disallineamento dell'approccio di studio nello scenario internazionale e nella conseguente difficile collimazione del lessico in grado di restituire pienamente le varie sensibilità.

Alcune ricerche in ambito nazionale e internazionale hanno proposto approcci e metodi di calcolo del rischio orientati piuttosto diversamente, che variano dalle modalità del *multicriteria decision making* alle ricerche di strategie computazionali capaci di relazionare fenomeni distanti fra loro per identificare livelli di rischio confrontabili su beni culturali differenti in contesti differenti. I sistemi su base decisionale, molto apprezzati in ambito aziendale e soprattutto utilizzati in contesti anglofoni, si affidano perlopiù alla messa a sistema di giudizi qualitativi di esperti in parte formulati su previsioni ipotetiche. Le strategie computazionali lavorano invece nella messa in relazione di dati provenienti da elaborazioni condotte all'interno di contesti specialistici, come chiaramente evidenziato dal sistema Carta del Rischio del Ministero della Cultura italiano; quest'ultimo ben sviluppa le potenzialità di georeferenziazione delle informazioni e dell'interoperabilità fra banche dati dello stesso ministero, separando la valutazione tecnica da quella legata a giudizi di valore.

Entrambe le modalità considerano uno scenario estensivo, al cui interno si vogliono evidenziare i diversi livelli di rischio dei beni culturali al fine di orientare precise strategie di prevenzione o d'intervento. La particolare prospettiva della conservazione programmata delineata da Urbani è infatti rivolta alla dimensione territoriale dei fenomeni; questa modalità trascende il singolo caso operativo su cui normalmente si applicano gli architetti restauratori, ma la presenza di questi ultimi risulta non meno indispensabile. Solo il loro intervento, infatti, aiuta a mantenere in cima alla gerarchia degli interessi la cura per l'edilizia storica, mentre le loro competenze consentono di selezionare e raccogliere le informazioni utili alla valutazione della vulnerabilità.

La difficile messa a sistema dei diversi impalcati concettuali proposti per il calcolo del rischio, anche quello legato al cambiamento climatico, trova uno snodo fondamentale nella questione del lessico, indispensabile a garantire l'univocità dei dati raccolti e delle conclusioni raggiunte. Purtroppo, anche qui i risultati sinora ottenuti dagli studi si scontrano con accezioni terminologiche non univoche, che palesano le divergenze culturali dovute a specializzazioni e/o a contesti geografici diversi ma che frenano la possibilità di scambiare informazioni fra più sistemi digitali e riducono la grande potenzialità inferenziale da questi garantita.

I saggi raccolti in questo numero della rivista documentano alcune delle ricerche avviate, in corso di elaborazione o concluse sugli effetti del cambiamento climatico sui monumenti. Non si poteva non partire dal caso esemplare di Venezia, per il quale il contributo di Francesco Trovò illustra un programma di lavoro incardinato sullo scenario configurato dalle diverse direttive Unesco, Icomos, dell'Unione Europea, italiane e specificatamente locali. Il contesto di Ravenna, illustrato nel saggio di Andrea Ugolini, si confronta invece sulla delicata questione del discernimento fra antiche e nuove cause di pericolosità: anche qui l'acqua è una presenza storica importante ma insidiosa, il cui livello è variato anche in passato per noti fenomeni di subsidenza con cui si sono confrontati celebri restauri, una realtà che va tenuta ben presente nei monitoraggi e nelle valutazioni dei rischi attuali.

L'articolo di Birgitte Tanderup Eybye, Mogens Morgen, Nina Ventzel Riis restituisce una realtà completamente diversa per contesto geografico, architettonico e per prospettive metodologiche, illustrando le analisi condotte su un insieme di case danesi risalenti al secondo e terzo quarto del Novecento. Si apre in tal modo la riflessione sulla sostenibilità energetica dell'architettura esistente con la proposta d'integrare le modalità di *Life-Cycle Assessment* utilizzate in ambito tecnologico con valutazioni di tipo valoriale-qualitativo. Tale proposta risulta decisamente lontana da quella veicolata dal contributo di Maria Vitiello, che sposta piuttosto l'accento, in continuità con la cultura del restauro italiana, sulla necessità di elaborare sistemi valutativi saldamente ancorati agli aspetti costruttivi e materici specifici della preesistenza, come si evince dal rilevamento proposto per un centro storico molisano, anche attento ai possibili addentellati con i modelli schedografici della Carta del Rischio. L'ultimo intervento, di Alessandra Bonazza, Raffaella Gaddi e Alessandro Sardella, entra nello specifico dei sistemi per la valutazione di pericolosità, vulnerabilità e rischio, offrendo due particolari approfondimenti, rispettivamente dedicati alla pericolosità dovuta ai fenomeni climatici estremi e all'inquinamento (quest'ultimo ancora in riferimento al lavoro svolto per la Carta del Rischio); la proposta finale per il calcolo della vulnerabilità elaborata nell'ambito di una ricerca europea evidenzia, fra l'altro, il problema della mancata convergenza attorno ai nodi non solo lessicali di cui si è già detto.

Lontano, quindi, dal poter definire un orizzonte consolidato di una ricerca che appare comunque relativamente giovane (l'interesse per la valutazione del rischio di perdita dei beni culturali vanta poche decadi di vita), il presente numero di «Materiali e Strutture» restituisce piuttosto l'orizzonte dinamico e per certi versi appassionante di un lavoro in itinere. Esso evidenzia soprattutto l'indispensabile necessità, perché gli sforzi fatti possano arrivare alla opportuna maturazione, di un confronto culturale ampio e consapevole del bisogno d'integrare fra loro tutte le diverse competenze nel comune obiettivo della difesa del patrimonio storico-architettonico.

Gli effetti dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale di Venezia. Proposta di un metodo per la definizione di misure di contrasto

FRANCESCO TROVÒ

Le esigue ricerche svolte fino ad oggi sui temi dei cambiamenti climatici in rapporto al patrimonio culturale hanno dimostrato che affrontare questi temi richiede un approccio ampio, anche se si considera una scala territoriale locale. Tale approccio va necessariamente riferito a diversi ambiti di studio, così da comprendere l'intero scenario in cui ci si muove, a partire dalla conoscenza delle cause dei cambiamenti climatici e dalle possibili misure di mitigazione, il cui esito, non va mai dimenticato, dipende fortemente dall'intero sforzo globale.

Com'è noto¹, nel 2015 è stato condiviso un insieme di strategie per concretizzare obiettivi di sostenibilità ad ampio spettro da parte di 193 Paesi delle Nazioni Unite, raccolte nel documento *Sustainable Development Goals*, meglio conosciuto come *Agenda 2030*, un articolato piano di principi e misure di scala globale che prevede il raggiungimento, da parte dei Paesi sottoscrittori, di obiettivi fissati entro il 2030. Sono stati pertanto definiti 17 SDGs (obiettivi di sviluppo sostenibile) e 169 azioni specifiche, esito dell'integrazione fra ambiente, economia, società e istituzioni, anche riconoscendo la singolarità di realtà locali differenti.

L'Obiettivo 11 (Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili) evidenzia la necessità di "potenziare gli sforzi per proteggere e salvaguardare il patrimonio culturale e naturale del mondo" (11.4), di "ridurre entro il 2030 l'impatto ambientale negativo pro-capite delle città, prestando particolare attenzione alla qualità dell'aria e alla gestione dei rifiuti urbani e di altri rifiuti" (11.6) e di "aumentare considerevolmente il numero di città e insediamenti umani che adottano e attuano politiche integrate e piani tesi all'inclusione, all'efficienza delle risorse, alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici, alla resistenza ai disastri, e che promuovono e attuano una gestione olistica del rischio di disastri su tutti i livelli [...]" (11.b)².

L'obiettivo 13 (Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico) evidenzia le seguenti necessità: "rafforzare in tutti i paesi la capacità di ripresa e di adattamento ai rischi legati al clima e ai disastri naturali (13.1); integrare le misure di cambiamento climatico nelle politiche, strategie e pianificazione nazionali

¹ Il presente testo rielabora in parte quanto riportato in TROVÒ 2022a; TROVÒ 2022b; TROVÒ 2022c.

² ONU 2015.

(13.2) e promuovere meccanismi per aumentare la capacità effettiva di pianificazione e gestione di interventi inerenti al cambiamento climatico nei paesi meno sviluppati [...]” (13b)³.

Dopo la stipula, nello stesso anno, dell’Accordo di Parigi sul Clima, che prevede il rispetto da parte dei Paesi coinvolti dell’incremento di temperatura entro il 2100 al massimo di 1,5-2 C°, l’Unione Europea ha messo al centro della sua azione politica il perseguimento degli obiettivi di miglioramento della qualità dell’architettura, dell’efficientamento del parco edilizio, della riduzione, fino all’annullamento, del consumo di suolo, da intendere come obiettivi prioritari e riconducibili al *New European Bauhaus* e *Green New Deal*⁴.

Questi movimenti continentali facilitano la messa a fuoco di un nuovo paradigma di qualità dell’architettura, in cui l’intervento sull’edilizia esistente potrebbe assumere un nuovo e decisivo ruolo, incentrato su aspetti ecologici, inclusivi e caratterizzati dal requisito della sostenibilità.

Nello scenario di transizione ecologica del comparto energia, un’incidenza specifica considerevole è assunta dalle finalità di efficientamento energetico degli edifici costruiti, che richiedono un costante sviluppo dal punto di vista impiantistico, orientato su energia pulita e sulla messa in atto di miglioramenti dell’involucro edilizio, ai fini di ridurre consumi ed emissioni dannose.

Gli ambiziosi obiettivi posti trovano all’atto operativo già molte resistenze da parte dei Paesi membri e richiedono una verifica in relazione ai principi di conservazione del patrimonio culturale e del patrimonio costruito storico in genere: in questo contesto il restauro può – e deve – assumere un ruolo centrale, forse come non è mai accaduto in Europa dal Secondo Dopoguerra.

Si mira infatti al consistente incremento, fino al raddoppio, del tasso annuale di rinnovamento energetico degli edifici entro il 2030, attraverso un numero significativo di ristrutturazioni, come indicato dalla stessa Commissione Europea. Questi interventi hanno come obiettivo il raggiungimento della decarbonizzazione, cui è interessata anche l’edilizia storica europea, che rappresenta circa il 30% del patrimonio edilizio complessivo del continente. All’interno di questo 30%, una quantità non superiore al 5% a seconda dei Paesi è soggetta a norme più restrittive di tutela⁵.

Non a caso, il *Libro Verde sul Patrimonio Culturale Europeo* del 2021, elaborato congiuntamente da Europa Nostra e ICOMOS⁶ con la Rete del Patrimonio Climatico⁷, letto nel suo complesso porta numerosi argomenti a sostegno del fatto che il

³ *Ibidem*.

⁴ EUROPEAN COMMISSION 2019; EUROPEAN COUNCIL 2021.

⁵ LITTI 2022, p. 25.

⁶ EUROPA NOSTRA 2021.

⁷ La Rete del Patrimonio Climatico (*Climate Heritage Network*), fondata il 24 ottobre 2019, è di tipo internazionale e non governativo, è formata

da enti istituzionali di diversi Paesi, sia di livello centrale sia locale, di ambito artistico, culturale e universitario oltre che imprenditoriale. La rete mira a ottenere fondi per lo sviluppo di progetti orientati ad affrontare i cambiamenti climatici e a sostenere le comunità nel raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione. I membri convergono sul principio per cui cultura e patrimonio

nostro patrimonio culturale e naturale è fondamentale per realizzare le ambizioni del *Green Deal* europeo e garantirne un impatto positivo duraturo sulla società e sull'ambiente europei. Lo studio riporta in particolare il tema della sfida ai cambiamenti climatici quale “[...] compito fondamentale del nostro tempo. Gli effetti del cambiamento climatico sono visibili in ogni angolo del mondo e la portata e la velocità di questo fenomeno sono sempre più evidenti e allarmanti. Ciò è particolarmente vero in Europa, un piccolo continente con un’altissima densità di popolazione e una forte interdipendenza tra le persone e il loro ambiente di vita. Il paesaggio ricco e diversificato del nostro continente è anche profondamente intrecciato con il patrimonio culturale, sia esso tangibile o intangibile, urbano o rurale, interno o costiero. [...] È un dato di fatto che il nostro patrimonio culturale comune – come ogni altro aspetto della nostra vita – sta affrontando minacce esistenziali a causa del riscaldamento globale. [...] Ma il patrimonio culturale è anche parte della soluzione”⁸.

Anche il documento ICOMOS *The future of your Past: Engaging Cultural Heritage* del 2019 affronta nel suo complesso il tema del cambiamento climatico in relazione al cultural heritage, ai nuovi rischi introdotti e all’exasperazione delle vulnerabilità esistenti⁹.

In particolare, rispetto agli obiettivi dell’Agenda 2030, il documento dell’ICOMOS chiarisce l’importanza di intendere la nozione di patrimonio in un senso molto ampio per comprendere la relazione tra patrimonio culturale, azione per il clima e resilienza. In questo contesto “[...] la conservazione fisica di edifici e manufatti selezionati non realizzerà il potenziale del patrimonio di catalizzare l’azione sul clima o di promuovere la coesione sociale, l’inclusione o l’equità, ma nemmeno la promozione della resilienza e della sostenibilità può essere rimossa dalla conservazione di queste proprietà [...]”¹⁰.

Con riferimento alla disponibilità immobiliare del nostro Paese, in base a dati Istat¹¹ gli edifici a destinazione d’uso residenziale risultano pari a 12,18 milioni. Oltre il 60% di questo parco edilizio ha più di 45 anni, ovvero è precedente alle prime norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici del 1976. La situazione del parco immobiliare suddiviso per anno di costruzione indica che 1,83 milioni di edifici risultano costruiti prima del 1919 e 1,32 milioni prima del 1945, ovvero un quarto del patrimonio edilizio è stato realizzato prima del 1945 e può essere pertanto considerato storico.

Circa il patrimonio culturale, con riferimento a quanto censito dalla Carta del Rischio del Ministero della Cultura nel 2012 riportato dall’ISTAT¹², i beni consistenti in monumenti, musei, siti archeologici superavano, nel 2012, le 100.000 unità, con una

sono, allo stesso tempo, oggetto degli effetti dei cambiamenti climatici e risorsa per l’azione per il clima, <<https://www.climateheritage.org/join/>> [1/10/2023].

⁸ EUROPA NOSTRA 2021, Foreword, p. IV.

⁹ ICOMOS 2019.

¹⁰ *Ibidem*, p. 3.

¹¹ ISTAT 2015, Tabella 18.2, p. 594 (Fonte: ISTAT, 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni al 9 ottobre 2011).

¹² ISTAT 2013, p. 186.

media nazionale di 33,3 per 100 kmq, mentre le aree assoggettate a tutela paesaggistica coprono quasi la metà del territorio italiano (46,9%)¹³.

I numeri che caratterizzano il patrimonio costruito italiano mostrano che è necessario orientare la ricerca a indagare il rapporto tra conservazione dei beni architettonici e mitigazione/riduzione delle emissioni e ottimizzazione di consumi, non potendosi annullare il fabbisogno esterno di energia di un edificio storico, che conserverà per sua natura quote del suo carattere energivoro.

Il rischio di subire alterazioni pesanti dovute al perseguimento degli obiettivi della transizione ecologica interessa più di 4 milioni di edifici storici non protetti. Gli stessi edifici, se privati delle auspicabili attenzioni, potrebbero inoltre essere collocati ai margini del mercato immobiliare perdendo valore d'acquisto, finendo per essere trascurati o, forse peggio, rinnovati radicalmente e rigenerati, compromettendo irreversibilmente la loro qualità storica e documentale.

Certo è che in un momento di travolgenti trasformazioni, le prospettive d'innovazione da attuare nel campo della disciplina del restauro e degli obiettivi di conservazione e/o adeguamento o miglioramento compatibile sono ampie, sia rispetto ai nuovi criteri ecologici, che richiedono un ripensamento teorico e operativo, sia relativamente alla definizione del campo di competenza sul patrimonio edilizio storico europeo, considerata la rilevanza, in termini di quantità e valore patrimoniale, che gli edifici storici non protetti assumono in relazione ai valori di identità territoriale. Il tessuto costituito da milioni di edifici storici europei richiede ora più che mai di essere preservato e riadattato, in termini di uso ed efficienza energetica, in una nuova logica che sembra invertire il paradigma secondo cui ripristinare costa più di un processo di demolizione e ricostruzione¹⁴.

Si va verso obiettivi di drastica riduzione delle emissioni di gas climalteranti, per buona parte prodotte dal costruito: lo scenario europeo prevede di ottemperare agli obiettivi del *Green Deal* europeo (COM-2019 640 final)¹⁵, la cui ambizione è di ridurre entro il 2030 le emissioni di gas a effetto serra dell'UE di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990, per far diventare il continente climaticamente neutro entro il 2050. La direttiva P9_TA(2023)0068¹⁶ del 14 marzo 2023 del Parlamento Europeo ha approvato le norme sulle prestazioni energetiche degli edifici, che introducono nuovi standard minimi e disciplinano le emissioni degli edifici nell'intero arco della loro vita

¹³ Dati derivanti dal Sistema Informativo Territoriale Ambientale e Paesaggistico del MiBAC (oggi MiC).

¹⁴ CARPENTIERI 2021. Secondo Carpentieri la vera e più efficace transizione ecologica è soprattutto mentale e dipende dalla capacità di innovare gli stili di vita, di ricalibrare il senso del limite e di ripensare il senso del limite e la scala dei valori, abbandonando l'idea di un consumo fine a sé stesso e dando sostanza e contenuto al principio dello sviluppo sostenibile. FONDAZIONE SCUOLA

B.A.C. 2022. Nell'incontro romano dello scorso 22 gennaio 2022 della Fondazione Scuola B.A.C. (*'Three Key Questions on Culture, Cultural Heritage and Climate Change'*) è stato affrontato il tema del ruolo della comunicazione per il contrasto al cambiamento climatico, oggi fortemente polarizzata e divaricata fra chi evidenzia la responsabilità individuale e chi enfatizza il ruolo dell'azione collettiva.

¹⁵ EUROPEAN COMMISSION 2019.

¹⁶ EUROPEAN PARLIAMENT 2023.

utile. Dal 2026, i nuovi edifici di proprietà pubblica dovranno essere a emissioni zero mentre entro il 2028 tutti gli edifici in cui sia possibile, da un punto di vista economico e tecnologico, dovranno dotarsi di tecnologie solari. Inoltre, entro il 2030 gli edifici residenziali dovranno raggiungere la classe E ed entro il 2033 la D (scadenza anticipata rispettivamente al 2027 e al 2030 per gli edifici pubblici).

I beni culturali verosimilmente potranno ritenersi esclusi dall'adesione a queste stringenti normative. Tuttavia anche per essi dovrà essere messo in campo un miglioramento delle condizioni di utilizzo, quantomeno per ridurre i costi di esercizio e per incrementare il ricorso a fonti di energia rinnovabile.

L'esperienza personale, svolta nel contesto di Venezia e della sua laguna nell'ambito dell'efficientamento energetico dell'edilizia storica e dei beni culturali, con riferimento non solo ai prodotti ma anche alla filiera corrispondente, ha consentito di definire alcune traiettorie di ricerca¹⁷ per rilanciare buone pratiche in grado d'intercettare i principali stimoli innovativi e le opportunità legate alla transizione ecologica, nell'ambito del restauro e della conservazione.

Il tessuto costruito della città antica, ad esclusione dell'estuario, enumera circa 20.000 unità edilizie e circa 3.000 di esse sono beni culturali assoggettati al Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs 22 gennaio 2004, n. 42), quindi oggetto di tutela puntuale da parte della locale Soprintendenza ABAP per il Comune di Venezia e laguna.

La restante parte del tessuto edilizio e tutto il territorio lagunare, esteso circa 550 kmq, sono assoggettati al medesimo Codice, in riferimento alla parte III, ovvero alla tutela paesaggistica, in base alla quale sono oggetto di controllo e verifica tutte le trasformazioni che riguardano le parti esterne degli edifici (volumi, coperture, intonaci, serramenti, ecc.) e le aree scoperte, comprese le alberature.

Oltre agli edifici assoggettati alla parte II del Codice dei Beni Culturali (tutela monumentale), vi sono numerosi altri edifici rispetto ai quali i criteri di deroga non sono per nulla prevedibili.

Di certo sugli edifici di tessuto, riconducibili a provvedimenti di tutela paesaggistica, l'utilizzo di certi materiali di coibentazione esterni – i cosiddetti cappotti – avrebbe conseguenze negative sulla conservazione del paesaggio urbano storico e neppure la coibentazione interna rappresenta una soluzione applicabile senza controindicazioni da molti punti di vista.

Occorre cercare d'intervenire per migliorare l'efficienza energetica dei serramenti¹⁸, invece che sostituirli sbrigativamente, qualora se ne accerti un interesse storico, mediante piccoli accorgimenti finalizzati ad efficientarne la resa; occorre provvedere a limitare i

¹⁷ Ci si riferisce alla candidatura del bando I.C.O.N.A. (Intelligenze, Competenze, Organizzazione per una Nuova Autenticità) promosso dalla Regione Veneto, che mira alla valorizzazione e al rilancio dell'artigianato e all'elaborazione di una

convenzione tra Università Iuav e Comune per un *Piano energia per la città antica, l'estuario e la terraferma*.

¹⁸ TROVÒ 2013; SACILOTTO, TROVÒ 2020.

consumi degli impianti, cercando di potenziare le fonti di energia rinnovabile per quanto possibile e favorendo la diffusione di strategie innovative.

Al fine di consolidare la filiera ecologica nel contesto di Venezia, occorre prima ridefinire il set degli obiettivi e, in seguito, elaborare le misure corrispondenti che, per essere efficaci, devono essere integrate in nuove norme o norme di settore vigenti, come il Piano di Assetto del Territorio, il Regolamento Edilizio, il PAESC (Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima). Quest'ultimo strumento è stato inserito tra gli obiettivi strategici dell'Amministrazione Comunale dal 2012, offrendo un preciso segnale d'indirizzo politico sul tema energetico e accrescendo la consapevolezza della necessità di lavorare in una maggiore sinergia.

Una serie di monitoraggi qualitativi, che ha evidenziato un certo andamento positivo in termini di riduzione delle emissioni di gas climalteranti sul territorio comunale, è stata effettuata nel 2015 e nel 2018. Nel 2016 il Comune di Venezia ha raggiunto l'obiettivo della riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto alle misurazioni del 2005, salite al 44% nel 2020¹⁹, considerando nel loro complesso i consumi dei settori degli edifici, delle attrezzature, degli impianti pubblici e privati (terziario, residenziale, illuminazione pubblica) e del settore dei trasporti pubblici, privati e commerciali (esclusi ferroviari, marittimi/fluviali, aerei).

L'Amministrazione Comunale si è impegnata inoltre, nel 2018, a redigere il Piano di Azione per il Clima, aderendo ai programmi promossi dalla Rete C40 *Cities Climate Leadership Group* in recepimento degli obiettivi dell'Accordo di Parigi del 2015. In particolare, la città di Venezia si è impegnata ufficialmente a raggiungere la neutralità emissiva entro il 2050, definendo un obiettivo intermedio nel 2030, a redigere un'analisi di pericolosità climatica e a dotarsi di un Piano di Azione, pianificando mitigazione e adattamento. Nel 2020 è stata approvata l'adesione del Comune di Venezia al nuovo Patto Europeo dei Sindaci per il Clima e l'Energia (PAESC), che impegnerebbe l'Amministrazione a redigere un nuovo Patto per la riduzione del 40% (minimo) delle emissioni complessive di CO₂ entro il 2030²⁰.

A questo contesto articolato e già definito negli orientamenti si riferisce il programma di lavoro proposto e discusso con la stessa Amministrazione Comunale, che prevede lo svolgimento delle seguenti azioni nei prossimi mesi: ricognizione del contesto operativo; definizione del quadro attuale dei consumi e fabbisogni energetici; definizione degli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂ negli scenari 2030-2050; definizione di obiettivi generali di efficientamento e uso sostenibile; definizione delle misure dirette finalizzate al miglioramento dell'efficienza energetica e approvvigionamento da Fonti di Energia Rinnovabile (FER) negli ambiti individuati (Attività Produttive; Sistemi di trasporto e mobilità; Patrimonio edilizio; Illuminazione pubblica);

¹⁹ COMUNE DI VENEZIA 2020.

²⁰ Il 30 aprile 2020 il Consiglio Comunale ha approvato l'adesione del Comune di Venezia al nuovo Patto Europeo dei Sindaci per il Clima e l'Ener-

gia, che impegna l'Amministrazione a redigere un nuovo Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC). Detto piano sarà approvato dal Consiglio Comunale entro il 30 ottobre 2023.



Fig. 1. Venezia, vista della città dal campanile di San Moisè, nel sestiere di San Marco.

definizione delle misure indirette e compensative da effettuare sugli ambiti individuati e individuazione di prodotti e processi di significativa innovatività.

Con riferimento al patrimonio edilizio di Venezia e laguna, il progetto vuole offrire una definizione delle misure dirette specifiche finalizzate all'efficientamento energetico, in particolare per l'edilizia storica, tenendo conto degli obiettivi di tutela del paesaggio urbano storico e delle significative diversità che caratterizzano l'edilizia diffusa in termini di localizzazione, morfologia, epoca di realizzazione, presenza o meno di valori storico-culturali, incidenza dei fenomeni di degrado. In particolare, saranno affrontati aspetti relativi alle pratiche di efficientamento energetico, distinguendo l'edilizia privata da quella pubblica (interventi sull'involucro e sugli impianti), di approvvigionamento da fonti di energia rinnovabile; verranno esaminate le opportunità della diffusione delle comunità energetiche e dello 'scambio sul posto altrove'²¹ (Fig. 1).

Accanto alle sfide dell'efficientamento, che influiscono direttamente sull'incremento della temperatura globale, vi sono da considerare le nuove minacce legate agli effetti dei cambiamenti climatici sui beni culturali. La sfida riguarda un insieme composito di beni,

²¹ Lo 'scambio sul posto' mira a incentivare l'impiego di fonti rinnovabili. Il funzionamento prevede un contributo in conto scambio (CS), erogato dal GSE, a parziale rimborso di parte degli oneri di

rete e di sistema e a parziale compensazione economica tra il valore dell'energia immessa in rete e prelevata dalla rete.



Fig. 2. Venezia, la *street art* di Blu.

citato un ruolo importante anche l'UNESCO che, indipendentemente dalle modalità e dagli strumenti messi in atto dai diversi Paesi rispetto agli obiettivi di tutela, agisce in una dimensione globale, fornendo documenti e linee guida che consentono, almeno teoricamente, di applicare i più efficaci criteri di salvaguardia, almeno nei siti inseriti nella Lista del Patrimonio dell'umanità²².

L'esperienza di gestione del sito 'Venezia e la sua laguna'²³, avviata a partire dal 2007 con la costituzione del Comitato di Pilotaggio ai sensi della Legge 77/2006, è entrata nel vivo durante la fase progettuale realizzata attraverso una serie di tavoli tematici di consultazione, proseguita con la redazione del Piano di Gestione 2012-2018²⁴ e ha costituito uno stimolo molto forte al coordinamento inter-istituzionale tra gli enti preposti a diversa scala (nazionale, regionale e locale).

Il Piano di Gestione costituisce lo strumento principale di pianificazione per il riconoscimento, la protezione, l'uso, la conservazione e lo sviluppo sostenibile del sito; il Piano ha l'obiettivo di definire i limiti delle trasformazioni compatibili, bilanciare la tutela con lo sviluppo e definire gli standard per l'attuazione di un sistema di monitoraggio capace di valutare periodicamente la vulnerabilità delle aree del patrimonio a una serie di pericolosità e, nel contempo, di sviluppare e attuare misure di mitigazione per ridurre i rischi per il sito.

²² Si ricorda che nella Lista dei Siti Patrimonio Mondiale sono stati iscritti anche beni non riconosciuti meritevoli di tutela dagli Stati Parte, quali, soprattutto, gli insediamenti storici, caratterizzati dalla presenza di architettura vernacolare, o comunque 'identitaria'.

²³ BASILI 2020, pp. 17-22. Dal 1987, il sito 'Venezia e la sua Laguna' è iscritto nella Lista in base a tutti i criteri culturali di selezione (I-VI) per l'eccellenza delle valenze culturali, costituite da un patrimonio storico, archeologico, urbano, architet-

che vanno dalle opere d'arte, ai palazzi, ai monumenti, alle chiese e ai campanili, ai parchi e ai giardini storici, e riguardano scale diverse, fino alla città e al territorio, riferendosi alla manifestazione di diversi effetti e minacce, legati a eccesso o scarsità d'acqua, variazione dei livelli di umidità e incremento di temperatura, violenza di venti ed eventi atmosferici estremi, fino alle inondazioni dovute all'aumento del livello dei mari (Fig. 2).

Se, al giorno d'oggi, il patrimonio culturale ha assunto un ruolo specifico nella società contemporanea, non vi è dubbio che su tale processo abbia eser-

tonico, artistico e di tradizioni culturali, integrato in un contesto ambientale, naturale e paesaggistico altrettanto straordinario.

²⁴ *Ibidem*. Per garantire una maggiore efficacia, il Piano mira a integrarsi con il sistema della pianificazione territoriale, urbanistica e di settore a vari livelli (regioni, province, comuni) per un coordinamento dei vari strumenti e azioni, al fine di garantire la tutela e lo sviluppo sostenibile del sito, in linea con le Linee Guida e i protocolli UNESCO.

Rispetto al ruolo degli Enti e delle Istituzioni competenti per la salvaguardia del sito, il Piano di Gestione del sito UNESCO si pone come uno strumento di verifica (*'soft law'*) delle politiche e delle misure normative, utilizzato per l'individuazione e il confronto plurimo delle criticità senza avere, per sua natura, un valore cogente dal punto di vista normativo.

Non bisogna dimenticare che il riconoscimento del sito e la sua designazione non si possono considerare scontati, basti pensare alla ricorrente situazione per cui 'Venezia e la sua laguna' rischia di essere inserita tra i siti in pericolo²⁵.

Ancora di più oggi, in un momento delicato, segnato da importanti transizioni strutturali, dopo che la pandemia ha mostrato tutta la fragilità del sito, evidenziandone in modo chiaro le criticità, è fondamentale che il lavoro svolto sia riconosciuto, intensificato e rilanciato per consolidarsi nelle pratiche degli enti e delle istituzioni, con il coinvolgimento delle università, dei centri di ricerca e la partecipazione attiva delle comunità e dei portatori d'interesse, con la consapevolezza del significato del Patrimonio Mondiale UNESCO e di tutte le opportunità e le responsabilità che derivano da tale designazione.

Tra le minacce al sito sono stati annoverati, dallo stesso Piano di Gestione nonché dal Centro del Patrimonio Mondiale, anche gli effetti dei cambiamenti climatici. Venezia è particolarmente soggetta ai rischi legati al riscaldamento globale, a cominciare dal pericolo di allagamento, in uno scenario di progressivo aumento della temperatura e conseguente scioglimento dei ghiacci con innalzamento del livello dei mari, con il rischio di una crescente intensità dei fenomeni di deterioramento dei materiali da costruzione.

Senza andare troppo indietro nella storia millenaria della città e del suo ambiente, si può indicare come momento di svolta per la salvaguardia dell'ambiente costruito lagunare il 1966, anno della prima *acqua grande*, in cui il livello della laguna raggiunse la quota record di 196 cm sul livello del mare, che segnò l'avvio di una poderosa mobilitazione internazionale.

Lo stesso anno vide l'inizio di un processo di sensibilizzazione sul futuro di Venezia, che portò alla promulgazione di una serie di leggi speciali per la città che hanno costituito, non senza criticità, la base legislativa ed economica per conseguire obiettivi di tutela della città e di sostegno ai cittadini. In particolare, con la legge 16 aprile 1973 n. 171 "Interventi per la salvaguardia di Venezia", la salvaguardia della città lagunare fu dichiarata problema di 'preminente interesse nazionale', istituendo un nuovo organismo a presidio della stessa: la Commissione per la salvaguardia di Venezia, che ancora oggi, seppur con competenze ridotte, opera sulla laguna.

Un significativo elemento di controllo e indirizzo delle trasformazioni dell'edificato veneziano, che incide soprattutto sugli edifici non vincolati, è rappresentato dal

²⁵ UNESCO 2023. Per la terza volta consecutiva in cinque anni, dopo Baku, Fuzhou anche a Riyadh, la riunione dei ventuno membri del comitato per il patrimonio mondiale Unesco (WHC) ha ritenuto

di non inserire, in diffornità con i report tecnici, il sito UNESCO 'Venezia e la sua laguna' tra i siti patrimonio dell'umanità in pericolo, alimentando un dibattito acceso.

Piano Regolatore Generale del Comune di Venezia, in particolare dalla Variante per la Città Antica del 1999, d'impostazione tipologica²⁶.

Fin dai primi secoli dell'urbanizzazione sono stati elaborati rimedi efficaci, come le importanti modifiche morfologiche e del sistema idraulico della laguna e del bacino scolante, gli interventi di regimentazione delle isole, la costruzione delle difese a mare. L'equilibrio fra città e laguna risale all'origine dell'insediamento ed è ad esso connesso, costantemente minacciato da agenti distruttivi, di logoramento, da conservare prima e ripristinare poi nell'assetto idrogeologico lagunare.

Tra le misure di contrasto il Mo.S.E. (sistema di paratoie mobili che separano la laguna di Venezia dal mare Adriatico, in corrispondenza delle tre bocche di porto del Lido, Malamocco e Chioggia), inaugurato nell'ottobre 2020, si è già alzato oltre 60 volte (Figg. 3-4). L'intensità e la frequenza delle acque alte sarà tale nei prossimi anni che il numero di attivazioni del sistema di dighe mobili crescerà inesorabilmente, ponendo una serie problematiche, non secondarie, relative ai seguenti aspetti:

- finalità di conservazione dell'ecosistema lagunare, sia dal punto di vista idraulico che morfologico, in quanto la laguna necessita di continui scambi con il mare di acque e di sedimenti;
- rischio d'inquinamento della laguna, che aumenterebbe all'incrementare delle chiusure delle paratoie, poiché a Venezia e nella laguna non esiste un sistema di evacuazione di acque nere e di reflui, se non per le attività produttive e della ristorazione;
- mantenimento dell'attività del Porto di Venezia, che è situato all'interno della laguna e ha un peso economico rilevante per la città, sebbene possa essere visto anche come minaccia in sé per il transito di navi mercantili e turistiche, lungo il canale dei Petroli, con destinazione Porto Marghera.

In termini assoluti il Mo.S.E. è in grado di proteggere la laguna fino a un livello di marea, misurata sullo Zero Mareografico di Punta Dogana, di cm 300, quindi circa un metro in più rispetto all'acqua alta più significativa di sempre del 1966.

Le minacce odierne sono estese non solo all'innalzamento del livello del mare e al relativo aumento della frequenza delle acque alte, ma anche ad altri fattori di variazione di parametri climatici e legati agli eventi atmosferici.

Questi temi costituiscono, in particolare, l'obiettivo delle osservazioni e della ricerca avviata a giugno del 2023, frutto di una collaborazione fra il Comune di Venezia – Area Sviluppo del Territorio e Città Sostenibile, Settore Bonifiche, Valutazioni Ambientali e Gestione Strategica – e l'Università Iuav di Venezia, avente come oggetto

²⁶ Il Piano Regolatore di Venezia è stato elaborato grazie al coordinamento di Leonardo Benevolo. Lo strumento si compone di diverse varianti, oggetto di adozione tra il 1995 e il 1997 (la prima DCC risale al 13/01/1995 n. 5, mentre l'ultima risale al 21/07/97 n. 176). In particolare la Variante al Piano Regolatore Generale (VPRG) per la Città Antica è stata definitivamente approvata con De-

libera della Giunta Regionale del Veneto (DGRV) n. 3987 del 09/11/1999 e DGRV n. 2547 del 13/09/2002. Il successivo Piano di Assetto del Territorio, approvato in sede di conferenza decisoria del 30/09/2014 e ratificato definitivamente con delibera di Giunta della Provincia di Venezia n. 128 del 10/10/2014, ne ha sostanzialmente confermato i contenuti.



Fig. 3. Venezia, il cortile del Palazzo Ducale durante l'*acqua grande* del 2019.



Fig. 4. Venezia, la nuova barriera fissa in cristallo e acciaio per l'acqua alta collocata a protezione della Basilica di San Marco (foto Pierpaolo Campostrini, 2023).

un *Approfondimento degli impatti dei cambiamenti climatici sul patrimonio monumentale di Venezia*²⁷.

L'attività messa in campo prevede l'individuazione della serie di dati disponibili, propedeutici all'identificazione degli effetti più significativi e attesi legati ai cambiamenti climatici, per il contesto di Venezia città antica, nello scenario fino al 2100.

Tale attività sarà svolta a integrazione dei diversi studi condotti negli ultimi anni dall'Università Iuav di Venezia in tema di pianificazione climatica sul sistema lagunare veneziano, degli esiti della ricerca Co.Ri.La Venezia 2021²⁸ e degli aspetti generali del Piano di adattamento ai cambiamenti climatici di Venezia, nonché in coordinamento con i contenuti dei documenti già citati.

Una volta individuati, gli effetti ritenuti potenzialmente più dannosi saranno associati alla concreta vulnerabilità riconosciuta per ciascuna macrocategoria morfo-tipologica di bene culturale, definita in base a una ricognizione esaustiva del patrimonio culturale esistente e soggetto agli effetti dei cambiamenti climatici.

Benché la definizione della vulnerabilità delle singole unità edilizie o componenti specifiche del complesso del Patrimonio Culturale veneziano, dovuta a minacce legate agli effetti dei cambiamenti climatici, abbia in questa fase ancora un carattere sperimentale e non trovi specifici riferimenti in letteratura, alcuni studi messi a punto in altri contesti possono indicare una via di metodo utile anche nel contesto lagunare.

In particolare, i fenomeni di rischio possono essere valutati come "l'effetto combinato di una sorgente aggressiva (pericolo) e della capacità di resilienza di un bersaglio possibile (vulnerabilità)"²⁹. La definizione del lessico associato alle diverse e specifiche sorgenti aggressive nel contesto di Venezia e la sua laguna sarà, di fatto, l'oggetto della già citata ricerca legata alla convenzione tra Università Iuav e Comune di Venezia, così come la fase di definizione dei diversi livelli di vulnerabilità, cui andranno associati gli effetti delle sorgenti aggressive, in modo da misurarne e quantificarne la capacità di risposta o, in termini più generali, la resilienza.

Le sorgenti aggressive saranno associate, in particolare, a effetti riconducibili all'incremento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi (piogge intense, folate di vento, fulmini, tempeste, trombe d'aria), all'incremento della frequenza delle acque alte entro la quota di cm 120 misurati sullo Zero Mareografico di Punta Dogana, quota al di sotto della quale le barriere del Mo.S.E. ad oggi non si attivano, benché a regime la stessa quota dovrebbe abbassarsi a cm 110.

²⁷ La collaborazione tra il Rettore dell'Università Iuav di Venezia, prof. Benno Albrecht, e il direttore dell'area Sviluppo del Territorio e Città Sostenibile del Comune di Venezia, arch. Danilo Gerotto, è stata stipulata ai sensi dell'art. 15 della legge 241/1990. I responsabili dell'esecuzione contrattuale sono, per l'Università Iuav, il coordinatore scientifico delle attività arch. Francesco Trovò – con il supporto dell'arch. Greta Bruschi e del sistema dei laboratori – e per il Comune di

Venezia la responsabile del Servizio Aria e Clima dott.ssa Cristiana Scarpa.

²⁸ CORILA 2023. Venezia 2021 è stato un programma di ricerca scientifica coordinato da CORILA, caratterizzato da un complesso integrato di strumenti osservativi e di elaborazione di dati raccolti, allo stato dell'arte delle conoscenze, al fine di fornire informazioni sul corretto equilibrio dell'ecosistema lagunare.

²⁹ FIORANI 2023, p. 12.



Fig. 5. Venezia, muratura di mattoni di un edificio di edilizia di tessuto nel sestiere di San Marco.



Fig. 6. Venezia, le lastre marmoree della Basilica di San Marco, Stanza del Tesoro, prospetto sud. La fragilità delle componenti costruttive e decorative della città è messa a dura prova dall'accelerazione di fenomeni di degrado.

Le conseguenze di questo epocale cambiamento nel rapporto tra la città costruita e l'acqua alta si potranno misurare in base all'incremento di sali solubili presenti all'interno delle componenti costruttive edilizie e urbane, le quali, se da un lato saranno interessate da un numero minore di imbibizioni d'acqua salata, dall'altro, come diretta conseguenza, potrebbero far registrare un'accelerazione degli effetti disagregativi riconducibili principalmente alle cristallizzazioni saline.

Altre conseguenze sulla tutela potranno derivare dalla variazione dei parametri ambientali, come temperatura e umidità, con effetti sulla conservazione degli apparati decorativi di chiese e palazzi e delle collezioni dei musei.

Rispetto alla campagna da mettere in atto, s'intendono svolgere alcune misurazioni, per evidenziare variazioni sull'andamento della quantità di sali sulle murature in mattoni, su alcune componenti in pietra e sugli strati ad intonaco, in particolare di edifici, in modo da poterli comparare con i dati già in possesso (Figg. 5-6). Altre osservazioni e misurazioni potranno essere svolte al fine di individuare i fenomeni più ricorrenti e per cui è osservabile un incremento di velocità con cui si manifestano erosione e perdita di materiale superficiale.

Rispetto alle componenti morfologiche e alle altre componenti costituenti le fabbriche della città antica, si intende svolgere una ricognizione al fine di determi-



Fig. 7. Venezia, Palazzo Fortuny, dettaglio di un serramento ottocentesco formato da vetrata di fattura preindustriale legata con elementi di piombo. A causa delle istanze di efficientamento energetico i serramenti sono una fra le componenti più sostituite.



Fig. 8. Venezia, palazzetto prospiciente rio di Ca' Corner nel sestiere di San Marco. In primo piano i comignoli sveltanti della copertura.

nare quali possano essere gli elementi più vulnerabili, a fronte di eventi meteorologici estremi, come camini, poggiori, cornici di gronda, coppi delle coperture, scuri e serramenti, parti vetrate, ecc. Il fine è definire una sorta di mappa delle vulnerabilità per componenti costruttive e indicare eventuali misure per contrastarne il rischio di danneggiamento, distacco e caduta (*Figg. 7, 8, 9*).

Per ciascuna macrocategoria morfo-tipologica di bene culturale individuata, saranno scelti uno o più casi studio significativi su cui concentrare una serie di indagini di approfondimento dello stato in essere e dei parametri rivelatori dell'incidenza degli effetti dei cambiamenti climatici.

Gli edifici o i contesti su cui svolgere le analisi saranno scelti in modo più esaustivo possibile, al fine di tenere in considerazione le differenti risposte o gradi di resilienza corrispondenti a ciascuna macrotipologia morfo-tipologica di elemento considerato. Tra questi vi saranno chiese, palazzi, scuole (storiche o di funzione contemporanea), edifici istituzionali, ospedali, musei, librerie, teatri, ponti, campanili, negozi, bar, ristoranti, archeologia industriale, gallerie porticate, vere da pozzo, scultura urbana ed erratica, spazi pubblici, mercati all'aperto, giardini, aree archeologiche, cimiteri. Per ciascun elemento di questo elenco saranno individuati uno o due casi su cui svolgere, nello specifico, un approfondimento fattivo. La scelta di questi (*Fig. 10*), che dovrà essere confermata nel



Fig. 9. Venezia, il campanile di Santo Stefano nel sestiere di San Marco, fra i più inclinati della città.

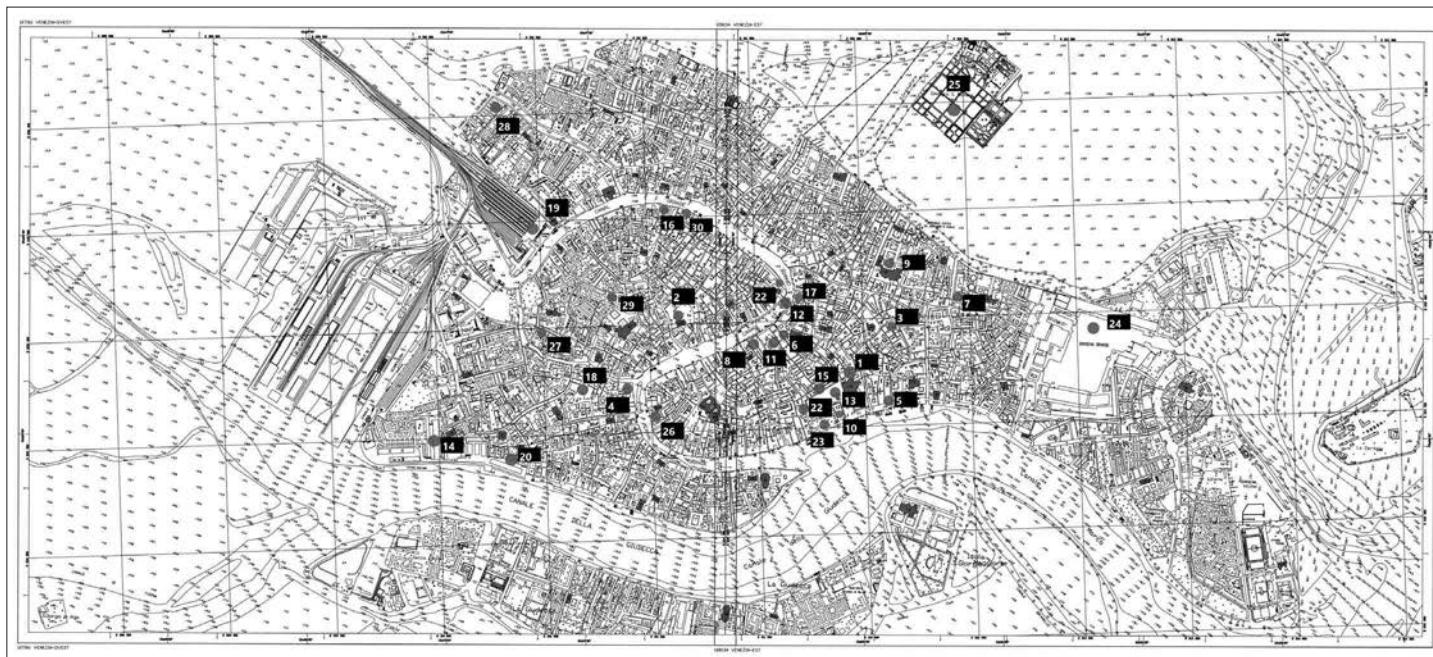


Fig. 10. Individuazione dei possibili casi di studio da considerare per svolgere un approfondimento in merito agli effetti dei cambiamenti climatici sui beni culturali veneziani: 1. Basilica di San Marco; 2. Chiesa di San Polo; 3. Palazzo Grimani; 4. Ca' Foscari; 5. Hotel Danieli; 6. Scuola Grande di San Teodoro; 7. Liceo Benedetti Tommaseo; 8. Ca' Farsetti; 9. Ospedale Civile San Giovanni e Paolo; 10. Biblioteca Marciana; 11. Teatro Goldoni; 12. Ponte di Rialto; 13. Campanile di San Marco; 14. Università Iuav di Venezia; 15. Portici delle Procuratie; 16. Fondaco dei Turchi; 17. Fondaco dei Tedeschi; 18. Pozzo di campo Santa Margherita; 19. Stazione ferroviaria Santa Lucia; 20. Stazione Marittima di San Basilio; 21. Piazza San Marco; 22. Mercato di Rialto; 23. Giardini Reali; 24. Arsenale; 25. Isola di San Michele; 26. Palazzo Malipiero; 27. Casa Bizantina (Torres); 28. San Giobbe; 29. Palazzo Badoer; 30. Ca' Tron (base Carta Tecnica Regionale, elaborazione di Nur Umar, Adana Science and Technology University, Department of Architecture, Turkey).

prosiegua delle attività, si motiva in base alla collocazione geografica, alla più ampia rappresentatività morfo-tipologica e alla disponibilità odierna di una serie di dati di varia natura (sali, umidità della muratura, interventi pregressi, rilievi, ecc.).

Si prevede, infine, di elaborare una rosa di azioni sito-specifiche per ogni categoria di bene analizzato, mirate alla protezione del patrimonio culturale dagli effetti dei cambiamenti climatici e in grado di incrementarne la resilienza.

A seguito dello svolgimento di un'analisi dei rischi e delle vulnerabilità, per i casi studio già oggetto di approfondimento di indagini, o per altri che si presentassero, nella fase conclusiva della ricerca si prevede l'elaborazione di una serie di azioni finalizzate a contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici, riconducibili sia all'intervento puntuale sia al piano di conservazione preventiva e programmata, finalizzata all'incremento della resilienza specifica.

Le azioni proposte saranno calibrate tenendo conto delle caratteristiche dei beni afferenti alle diverse macrocategorie morfo-tipologiche individuate, ciascuna rappresentativa di un insieme il più possibile omogeneo di elementi e, non ultimo, le azioni dovranno essere in grado di garantire, oltre all'efficacia delle soluzioni, anche la compatibilità materica e formale con la tutela delle diverse espressioni dell'edilizia storica lagunare.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- BASILI 2020: K. BASILI, *Quadro di riferimento per il piano di Gestione del sito "Venezia e la sua laguna" patrimonio mondiale UNESCO*, in P. Gasparoli, F. Pianezze, F. Trovò (a cura di), *Venezia resiliente. Mitigazioni e monitoraggi per il governo del cambiamento*, Altralinea, Firenze 2020, pp. 17-22
- CARPENTIERI 2021: P. Carpentieri, *Paesaggio ambiente e transizione ecologica*, in «Giustizia Insieme», 2 maggio 2021, <<https://www.giustiziainsieme.it/it/search?searchword=carpentieri&ordering=newest&searchphrase=all&start=20>> [1/10/2023]
- COMUNE DI VENEZIA 2020: Comune di Venezia, Servizio Aria e Clima, *Report di monitoraggio del PAES*, <<https://www.comune.venezia.it/it/content/inventario-delle-emissioni-gas-serra>> [1/10/2023]
- CORILA 2023: CORILA, *Programma di ricerca scientifica per una laguna regolata*, <http://venezia2021.corila.it/wp-content/uploads/2023/01/VE2021_RapportoSintetico_finale_231222.pdf> [1/10/2023]
- EUROPEAN COUNCIL 2021: Council of the European Union, *Council conclusions on on culture, high-quality architecture and built environment as key elements of the New European Bauhaus initiative*, Brussels 30/11/2021, <<https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-14534-2021-INIT/en/pdf>> [1/10/2023]
- EUROPEAN COMMISSION 2019: European Commission, *Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni*, Brussels 11/12/2019, n. documento COM 2019 640 final, <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>> [1/10/2023]

- EUROPEAN PARLIAMENT 2023: European Parliament, *Prestazione energetica nell'edilizia*, Brussels, n. documento P9_TA(2023)0068, <https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0068_IT.html#title2> [18/10/2023]
- EUROPA NOSTRA 2021: Europa Nostra, ICOMOS, *European Cultural Heritage Green Paper*, Brussels 2021
- FIORANI 2023: D. Fiorani, *Vulnerabilità, Pericolo e Rischio. Il ruolo della digitalizzazione nel governo di uno scenario complesso*, in D. Fiorani et al., Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio, Sapienza Università Editrice, Roma 2023, pp. 11-28
- FONDAZIONE SCUOLA B.A.C. 2022: Fondazione Scuola dei beni e delle attività culturali, *Three Key Questions on Culture, Cultural Heritage and Climate Change*, Roma 2022, Online Digital Edition, <<https://pubblicazioni.fondazione scuolapatrimonio.it/Three-Key-Questions-on-Culture-Cultural-Heritage-and-Climate-Change/>> [29/10/2023]
- ICOMOS 2019: ICOMOS, *The future of Our Pasts: Engaging Cultural Heritage in Climate Action*, ICOMOS, Paris 2019
- ISTAT 2013: Istituto Nazionale di Statistica, *Rapporto BES 2013: il benessere equo e sostenibile (capitolo 9 - Paesaggio e Patrimonio Culturale)*, <https://www.istat.it/it/files/2013/03/9_Paesaggio-e-patrimonio-cult.pdf> [1/10/2023]
- ISTAT 2015: Istituto Nazionale di Statistica, *15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni al 9 ottobre 2011 - Costruzioni*, Annuario Statistico Italiano 2015, pp. 583-601
- LITTI 2022: G. Litti, *Direttive Europee e prestazione energetica. Quali cambiamenti per gli edifici storici?*, in «Recupero e Conservazione Magazine», 2022, 169, pp. 22-29
- ONU 2015: Organizzazione delle Nazioni Unite, *Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*, Risoluzione adottata dall'Assemblea Generale il 25 settembre 2015, <<https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf>> [1/10/2023]
- SACILOTTO, TROVÒ 2020: G. Sacilotto, F. Trovò, *Serramenti storici a Venezia. Una proposta per un repertorio di casi di intervento*, in «Recupero e Conservazione Magazine», Numero speciale serramenti storici, 2020, 161, pp. 90-103
- TROVÒ 2013: F. Trovò (a cura di), *I serramenti dell'edilizia storica di Venezia – Conoscenza e intervento*, Il Prato, Padova 2013
- TROVÒ 2022a: F. Trovò, *Tra sostenibilità ambientale e contrasto ai cambiamenti climatici. Quali scenari per il restauro?*, atti del XXXVII convegno internazionale Scienza e Beni Culturali (Bressanone, 5-7 luglio 2022), Edizioni Arcadia Ricerche, Venezia - Marghera 2022, pp. 313-326
- TROVÒ 2022b: F. Trovò, *La dimensione ecologica del Restauro. Edilizia storica e patrimonio culturale italiano nella transizione verde* in M. Manzelle, F. Trovò, (a cura di), *Ri-abitare l'oggi. Intorno al progetto di riuso*, Il Poligrafo, Padova 2022, pp. 163-188
- TROVÒ 2022c: F. Trovò, *Restauro e riuso dell'edilizia storica. Vecchie discipline e nuovi obiettivi* in M. Manzelle, F. Trovò, (a cura di), *Ri-abitare l'oggi. Intorno al progetto di riuso*, Il Poligrafo, Padova 2022, pp. 25-38
- UNESCO 2023: UNESCO, *World Heritage Convention, Convention concerning the protection of the world cultural and natural heritage*, Intergovernmental committee for the protection of the world cultural and natural heritage, Extended forty-fifth session, (Riyadh 10-25 September 2023), State of conservation of properties inscribed on the of World Heritage List, 45 COM, WHC/23/45.COM/7B.Add Paris, 31 July 2023, pp. 279-285

Antiche subsidenze e nuovi cambiamenti climatici: le sfide attuali per il patrimonio monumentale di Ravenna

ANDREA UGOLINI

“Tra le paludi la città più grande è Ravenna, interamente costruita su palafitte e solcata da acque, praticabile per mezzo di ponti e traghetti. Durante le maree riceve un notevole flusso marino cosicché la superficie melmosa tutta inondata dalle maree e dai fiumi corregge l’insalubrità dell’aria.”¹

Subsidentia

Sorta su un cordone litoraneo, sul limite meridionale del delta del Po, la città di Ravenna si sviluppa in un ambiente lagunare segnato da dune sabbiose, fiumi e canali, come attestano le fonti antiche, la ricerca geologica e archeologica (Fig. 1).

Non risulterà casuale, quindi, che sin dall’antichità in diverse aree della Pianura Padana e della costa adriatica venga documentato il lento e progressivo abbassarsi del livello del terreno noto con il termine ‘subsidenza’ dal latino *subsidentia* (sedimentazione), fenomeno naturale accompagnato dal trasporto di sedimenti e dall’avanzamento della linea di costa². A livello geologico, tale fenomeno si configura come il risultato in superficie di una serie di processi sviluppati nel sottosuolo, correlati in qualche modo alle caratteristiche litostratigrafiche e alla struttura geomeccanica del territorio. La natura alluvionale dei sedimenti che compongono la stratigrafia del terreno ravennate, costituiti da strati sabbiosi e limo-argillosi, confina un sistema di falde acquifere artesiane da cui si è sempre estratta acqua potabile per la città e per l’agricoltura.

Nel corso dei secoli la subsidenza si è manifestata in modo diverso, relazionandosi alla natura dei luoghi e alle sollecitazioni antropiche che ne hanno favorito l’evoluzione³.

¹ STRABONE, *Geografia*, V, I, 7 <http://www.poesialatina.it/_ns/Greek/testi/Strabo/StraboneIndice.html> [29/7/2023].

² Per intenderci, se da un lato i depositi alluvionali del Po producono l’innalzamento delle quote e il prosciugamento delle zone paludose, dall’altro, gravando sugli strati sottostanti, costipano e riducono il volume di questi ultimi, “provocando un

[...] processo, più lento e continuo e opposto al primo negli effetti: quello dell’abbassamento del suolo”; FABBRI 1990, p. 7.

³ Il fenomeno è stato monitorato in Italia con misure di livellamento a partire dal 1897 (ARCA, BERETTA 1985) da principio dall’IGM (Istituto Geografico Militare italiano) e successivamente da altri enti locali, aziende e istituzioni.



Fig. 1. *Ravenna ed isole che la costituivano*, incisione tratta da *Isolario, descrizione geografico-storica, sacro-profana, antico-moderna, politica, naturale, e poetica*, di padre Vincenzo Maria Coronelli (1696); un'immagine della città e dei suoi canali nel XV secolo (da LEONI 2017, p. 53).

Nel cosiddetto bacino sedimentario padano essa ha prodotto un abbassamento dei suoli maggiore di 0,4 cm/anno, con punte di 5 cm/anno⁴; il fenomeno è stato documentato a Ravenna anche dalla stessa ricerca archeologica, che ne ha evidenziato gli effetti segnalando come la quota d'uso dei livelli preromani fosse collocata circa 7 m più in profondità rispetto al livello della città contemporanea⁵.

Sebbene l'Italia sia da tempo riconosciuta come territorio geologicamente attivo, e quindi instabile, questo non ha impedito, negli anni Trenta del secolo scorso, l'emungimento di acqua dalle falde artesiane per i primi insediamenti industriali di Marghera e il contemporaneo sfruttamento dei giacimenti metaniferi nel Polesine, legato alle politiche autarchiche del regime fascista⁶. Le massicce estrazioni di liquidi e gas ad uso

⁴ Cfr. <<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/subsidenza/la-subsidenza-in-emilia-romagna>> [29/7/2023].

⁵ Scrive l'archeologa Paola Novara in relazione agli effetti della subsidenza: "in un normale sondaggio di profondità nella zona centrale della città, lo strato di epoca bizantina si incontra attorno a

m 3,50 di profondità, lo strato imperiale fra i 4 e i 5,50, lo strato romano repubblicano sotto i 6 metri di profondità; lo strato preromano [...] è sotto i 7 metri di profondità"; NOVARA 1998, p. 9. Si veda anche BERTONI *et al.* 2005.

⁶ La stratigrafia dei terreni del sub-strato quaternario della Pianura Padana risulta piuttosto com-

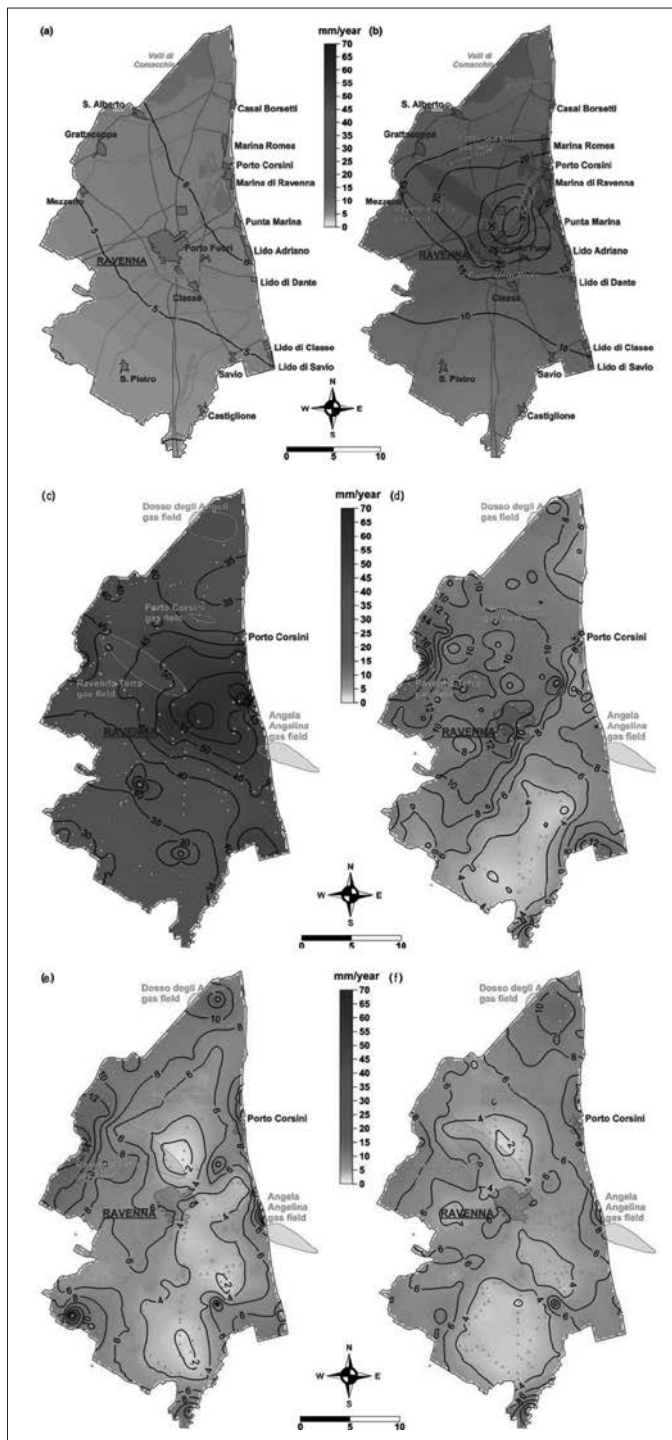


Fig. 2. Grafici dell'abbassamento del suolo ravennate nei periodi: (a) 1897-1957; (b) 1949-1972; (c) 1972-1977; (d) 1977-1982; (e) 1982-1986; (f) 1986-1992. Si evidenzia un picco del tasso di subsidenza negli anni Settanta e un miglioramento, a partire dai primi anni Ottanta, dovuto ai provvedimenti di tutela ambientale (da TEATINI *et al.* 2005, pp. 838-840).

industriale, proseguite nel dopoguerra con il *boom* industriale, a Marina di Ravenna, raggiunsero negli anni Cinquanta volumi pari a 250-300 milioni di m³ per anno e, nel '67, 18 miliardi di m³, con un corrispondente abbassamento del livello del suolo, in talune aree, pari a 30 cm all'anno. In quello stesso periodo, le falde artesiane più profonde vennero invase dalle acque saline a causa della subsidenza generata dalle intense estrazioni dagli acquiferi, aumentando così la velocità di abbassamento dei suoli⁷. Contestualmente a quanto sin qui esposto, si segnalavano, lungo il litorale ravennate, preoccupanti e progressivi fenomeni di erosione della linea di costa determinati dalla riduzione del volume dei sedimenti trasportati dai corsi d'acqua per le bonifiche delle zone paludose degli anni Venti e, più di recente, dall'innalzamento del livello del mare causato dai cambiamenti climatici⁸ (Fig. 2).

Ravenna caput aquarum

La situazione territoriale in cui è sorta Ravenna ha quindi influenzato fin dalle origini il destino della città, determinandone la fortuna ma anche la sua decadenza politica, economica e culturale. La ricerca archeologica, in questi anni, ha consentito di documentare gli effetti dell'impaludamento (attestati già dal III secolo d.C.) e i mutamenti dei livelli d'uso dovuti anche alla gestione dei sistemi infrastrutturali e fluviali⁹. "L'ampio territorio limitato a settentrione dai rami meridionali del Po fino ad Argenta [...] fu caratterizzato nell'Antichità e nel Medioevo dalla presenza di aree acquitrinose, denominate nella documentazione 'valli'"¹⁰, termine con cui nei documenti antichi s'indicavano quei ristagni permanenti creati nelle aree a bassa giacitura come effetto delle esondazioni dei fiumi. I problemi legati alla rete idrica del contesto ravennate furono quindi al centro delle politiche per il governo del territorio dal basso Medioevo sino alla metà del Settecento¹¹. Le continue piene (e le conseguenti esondazioni) dei fiumi Ronco e Montone che lambivano la città, sommate alle reiterate anomalie delle strutture idriche del sottosuolo e all'impaludamento, costituirono quindi alcuni degli effetti più evidenti del fenomeno della subsidenza locale (Fig. 3).

La riscoperta del patrimonio artistico di epoca paleocristiana e bizantina ravennate che, com'è noto, risale agli inizi del XVI secolo e all'interesse antiquario di umanisti come Gian Pietro Ferretti, Girolamo Rossi e Tomaso Tomai¹², dovette quindi far su-

plessa, in essa si registra la presenza di falde di acqua potabile, già note in antico, e di giacimenti di gas-naturale; cfr. BITELLI 2010, p. 281; TEATINI 2005, p. 834; SEVERI 2014.

⁷ Ivi, p. 230

⁸ Si veda United Nations, <<http://www.un.org/esa/dsd/agenda21/>> [1/7/2023].

⁹ Cfr. nota 4. Ravenna, in età augustea, era sede della flotta imperiale; il vicino porto imperiale, a Classe, fu oggetto di successivi impaludamenti che portarono all'abbandono tra l'VIII e il IX secolo a seguito anche dell'allentamento della linea di co-

sta; NOVARA, LUPARINI 2016, p. 136.

¹⁰ Ivi, p. 134.

¹¹ Teodorico fu tra i primi a procedere con le bonifiche delle campagne intorno a Ravenna; FARIOLI 1977, p. 24. La Repubblica Veneta e poi lo Stato Pontificio regimenterono alcuni corsi d'acqua tra cui oltre il Ronco, il Montone, il Lamone, il Sillaro, il Santerno e il Senio, procedendo a consistenti interventi di bonifica delle aree acquitrinose; ivi pp. 280-285; FONTANA 1994, pp. 627-628.

¹² NOVARA 1998, pp. 16-17.

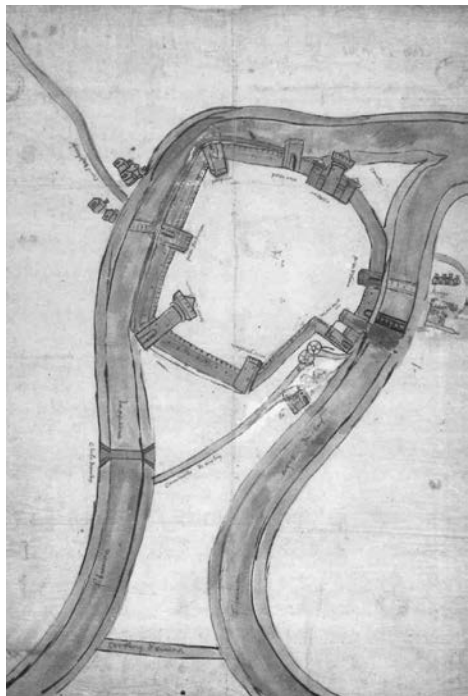


Fig. 3. Anonimo, *Carta di Ravenna nel XV secolo*, la difesa militare di Ravenna, come pure l'alimentazione degli opifici cerealicoli, era assicurata dalla fine del XIII secolo dal fiume Montone a nord-ovest e Ronco a est (da MAZZOTTI, 2009, p. 26).

bito i conti con il problema delle acque; la medesima attenzione proseguì con gli studi sull'arte bizantina di Charles du Fresne Du Cange nel Seicento ai quali seguirono, nel secolo successivo, quelli di Antonio Ziradini e ancora dopo, del cardinale Marco Fantuzzi che, tra il 1801 e il 1804, dette alle stampe il volume *Monumenti ravennati dei secoli di mezzo per la maggior parte inediti*¹³.

Risale ancora al 1804 uno dei primi interventi di gestione degli effetti della subsidenza effettuati presso il Mausoleo di Teodorico, considerato da alcuni viaggiatori "la principale curiosità di Ravenna"¹⁴. Si decise infatti, sulla base degli studi e dei progetti di Giuseppe Cuppini (allievo di Camillo Morignia)¹⁵, di rimettere in luce le pavimentazioni del VI secolo ricoperte con il progressivo abbassamento del terreno¹⁶. L'Ottocento è stato definito il 'secondo rinascimento ravennate', dato il successo legato all'operato della Legazione Pontificia prima e di Giosuè Carducci e Corrado Ricci poi¹⁷. In questo secolo

vennero realizzati i primi sistematici interventi di restauro al patrimonio monumentale paleocristiano e bizantino, descritto sempre come "aggredito" da acque di risalita o invaso da acquitrini¹⁸. Fu Filippo Lanciani, ingegnere capo dell'Ufficio del Genio Civile di Ravenna dal 1860 al 1888, con competenze che spaziavano dall'idraulica alla matematica, a proporre di "esumare" i monumenti ravennati interrati. Questi, infatti, progettò ardite soluzioni per il sollevamento meccanico (per esempio del Battistero Neoniano), sostenute da precisi calcoli e studi approfonditi, ma non sempre portate a compimento; prefigurò inoltre opere per la protezione e l'isolamento di monumenti mediante la costruzione di vasche impermeabili perimetrali in cemento (per il Mausoleo di Teodorico e il Battistero Neoniano). Tra i più importanti monumenti oggetto d'intervento da parte dell'Ufficio del Genio Civile nella seconda metà dell'Ottocento

¹³ FANTUZZI 1801-1804.

¹⁴ La definizione del 1796 è del poeta tedesco Frederick von Matthiesson, in BOSSI 1994, p. 745.

¹⁵ PEDNA 1995, pp. 144-146.

¹⁶ NOVARA 2013, p. 19.

¹⁷ LOMBARDINI 2003, pp. 78-79.

¹⁸ Ivi, pp. 90-93.

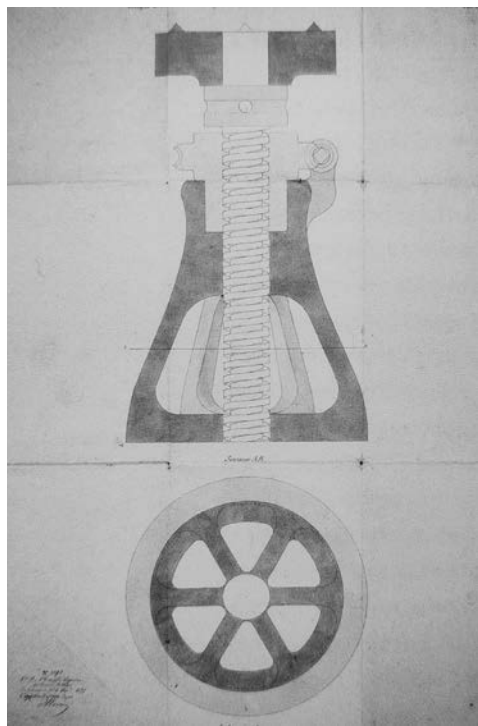
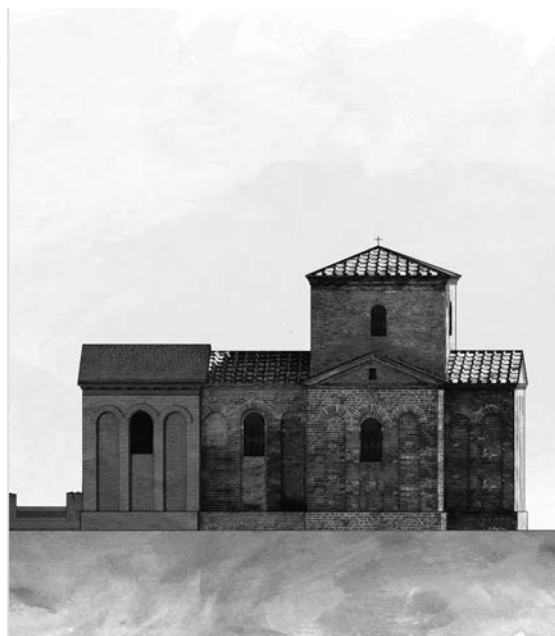


Fig. 4. Battistero Neoniano: martinetto tipo per il sollevamento del monumento (da RANALDI NOVARA 2013, p. 73).

Fig. 5. Il Mausoleo di Galla Placidia; a sinistra il prospetto del fronte occidentale nel V sec. d.C., a destra lo stesso prospetto oggi; rielaborazione grafica di Chiara Leoni (da LEONI 2017, p. 132).



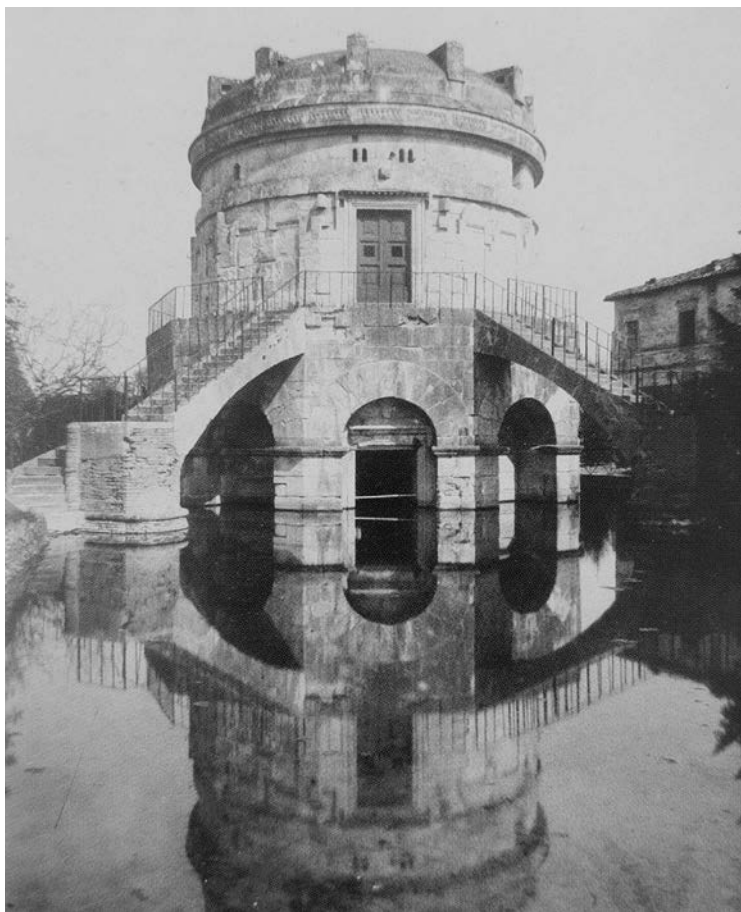


Fig. 6. Il Mausoleo di Teodorico dopo i lavori di isolamento degli anni Settanta-Ottanta dell'Ottocento, invaso dall'acqua (da RANALDI NOVARA 2013, p. 73).

occorre ricordare, oltre a quelli già citati, il Mausoleo di Galla Placidia, il Battistero degli Arian, le Basiliche di San Vitale e di Sant'Apollinare in Classe¹⁹ (Figg. 4-5).

Con la nascita della "Soprintendenza per la conservazione e la manutenzione dei monumenti di Ravenna", il 2 dicembre 1897, la cura del patrimonio ravennate divenne sistematica. Corrado Ricci, Domenico Maioli, Giuseppe Gerola, Renato Bartoccini proseguirono nell'intento di valorizzare le antichità ravennate strappandole alle acque e all'interramento. Molti degli edifici paleocristiani vennero 'liberati' dalle superfetazioni, alleggerendone il carico sul sedime, e si lavorò, anche se non sempre con successo, sulle quote del terreno intorno al monumento per ridefinire quelle che si riteneva fossero le spazialità antiche; riconfigurazioni di questo tipo interessarono anche San Vitale e il Mausoleo di Teodorico (Fig. 6). In molti casi la rimozione delle pavimentazioni più recenti per ritornare alle quote d'origine è stata accompagnata dal progetto

¹⁹ MAIURI 2000, pp. 77-115.

e dall'implementazione dei sistemi per il drenaggio delle acque di falda. Così a San Vitale, prima di ripristinare i livelli giustiniani (secondo il progetto di Corrado Ricci portato avanti da Gerola e completato da Bartoccini)²⁰, venne installato un sistema di canalizzazioni e pompe per mantenere basso il livello della falda freatica²¹ e analogamente si fece a Sant'Apollinare Nuovo, Sant'Apollinare in Classe e al Battistero degli Ariani²² almeno sino a tutti gli scorsi anni Settanta.

Solo nel dicembre del 1980, presa coscienza che non sarebbe stato più sufficiente proseguire, come si era fatto sino ad allora, con soli interventi *ex post* sul patrimonio²³ e per l'evidente necessità di porre un limite agli emungimenti industriali che dagli anni Cinquanta avevano aggravato il fenomeno dell'abbassamento dei suoli, venne emanata la legge n. 845 del 10 dicembre 1980 per la "Protezione del territorio del comune romagnolo dal fenomeno della subsidenza"²⁴. In quell'occasione si stabilì che "la protezione del territorio del comune di Ravenna dal fenomeno della subsidenza ed i relativi interventi (fossero) dichiarati di preminente interesse nazionale" (art. 1) definendo "un piano generale di interventi organici per la costruzione di acquedotti, di fognature, di opere di difesa dei litorali e degli abitati, [...], di opere di risanamento e consolidamento di immobili di interesse storico, artistico, monumentale [...]" (art. 2). Nel giugno dell'anno successivo, intanto, la città di Ravenna veniva colpita da abbondanti e inattese precipitazioni che, come in antico²⁵, causarono diffusi allagamenti conseguenti anche alla natura dei suoli e ai livelli superficiali delle falde acquifere²⁶.

Gli ultimi decenni del secolo scorso continuarono a essere caratterizzati da un'intensa attività di studio, consolidamento e restauro, grazie ai finanziamenti della suddetta legge²⁷. Già all'inizio degli anni Ottanta si era proceduto, a tal proposito, ad attivare il controllo sistematico dei regimi di falda intorno a San Vitale e il monitoraggio del quadro fessurativo della chiesa da mettere in relazione con i movimenti indotti dal-

²⁰ RANALDI 2013, pp. 58-60.

²¹ Si trattava di un sistema di allontanamento delle acque, progettato nel 1918, che convogliava ancora oggi quelle sotterranee a una cisterna, distante 40 metri dall'edificio, collegata alla fognatura cittadina; BARTOCCINI 1931, pp. 80-81; RUSSO 2003, p. 63.

²² Negli anni 1973-76, il soprintendente Gino Pavan progettava per Sant'Apollinare in Classe un nuovo sistema di drenaggio per arginare i continui allagamenti della Basilica; PAVAN 1978, p. 250.

²³ In realtà, la consapevolezza delle interazioni fra natura dei suoli e problemi di conservazione traspare già in diversi scritti da Ricci a Bartoccini; quest'ultimo, nel 1931, segnalava infatti come fossero già evidenti "i segni di cedimenti subiti dal San Vitale fin dal momento in cui lo costruirono, accentuatisi poi per il costipamento delle sabbie su cui era fondato e per il regime instabile delle acque freatiche"; BARTOCCINI 1931, p. 78.

²⁴ Dopo la legge del 1980 venne approvato il "Piano per il controllo degli emungimenti" del 24/10/1983; LEONI 2017, p. 85.

²⁵ Si segnala che anche nel maggio del 1636, dopo violenti e prolungati piovachi, i fiumi Ronco e Montone avevano rotto gli argini e l'onda della piena si era riversata nelle strade di Ravenna allagando buona parte del centro urbano; NOVARA 2016, p. 258.

²⁶ Anche nel 1929, eccezionali nevicate avevano messo in crisi la rete idrica locale provocando diffusi affioramenti della falda; BARTOCCINI 1931, pp. 79-80.

²⁷ Si ricordano i lavori effettuati alla chiesa di San Domenico, alla basilica di San Francesco (la cui cripta, del V sec. d.C., si era abbassata al punto da venire parzialmente allagata dalle acque provenienti dalla falda freatica più superficiale), al Mausoleo di Teodorico e all'area di San Vitale e Santa Croce; LEONI 2017, p. 85; IANNUCCI 1997, p. 25.

la subsidenza; come pure venne affrontata la questione dell'assetto idrologico delle acque di falda e dei sistemi di emungimento, all'epoca insufficienti, del Mausoleo di Teodorico e dell'intero parco urbano Teodorico²⁸.

Cambiamenti climatici e subsidenza nel territorio ravennate

L'ultimo rapporto di valutazione dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) afferma che il clima del pianeta sta cambiando con una velocità crescente, specie negli ultimi 10-20 anni²⁹. Alla scala globale, l'aumento della temperatura viene stimato, dal 1850 ad oggi, come compreso tra 0,8°C e 1,3°C e ciò che sta accadendo sul continente europeo (e anche in Italia) sembra sostanzialmente confermare questo andamento. Quanto alle precipitazioni, si registrano, sul territorio nazionale, una generale diminuzione dei giorni di pioggia rispetto a quanto accade in altre parti del continente accompagnata dal significativo incremento della loro intensità (cioè dell'apporto medio di acqua per singolo giorno piovoso), nonché l'aumento degli eventi meteorologici 'estremi'. A livello regionale, in Emilia-Romagna, i segnali di cambiamento climatico e le relative anomalie appaiono molto simili a quelli osservati su scala più ampia, includendo l'aumento significativo delle ondate di calore e la maggiore frequenza di fenomeni meteorologici eccezionali³⁰. A Ravenna e provincia, in particolare, si stima, per gli anni a venire, la diminuzione della quantità di piogge primaverili (circa -10%) ed estive, e il contemporaneo incremento degli eventi estremi in autunno (circa +20%)³¹. Sebbene non si possa sostenere che il cambiamento climatico amplifichi il problema della subsidenza, risulta altresì evidente che la compresenza di entrambi i fenomeni determini precise conseguenze sul contesto, a riprova della complessità delle dinamiche ambientali. Come si legge nel *Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima* di Ravenna del 2019, gli effetti dei mutamenti del clima sulla stabilità e sui movimenti dei suoli (frane e abbassamenti) sono innegabili, soprattutto se questi avvengono in presenza di falde acquifere e con il variare d'intensità e qualità delle precipitazioni (siccità e/o intense piogge). Sono infatti evidenti i rapporti fra tale evoluzione climatica e l'aumento del livello del mare in aree già soggette a subsidenza, dove maggiori risultano i rischi di allagamento e di erosione del litorale³². Il fenomeno, qui pressoché

²⁸ IANNUCCI 1997, p. 27.

²⁹ Si veda il Rapporto di sintesi AR6: Cambiamenti climatici 2023 - IPCC; <<https://ipccitalia.cmcc.it/climate-change-2023-ar6-rapporto-di-sintesi/>> [1/7/2023].

³⁰ A tale proposito, si rileva che la comparazione tra la precipitazione registrata in Romagna nel periodo 1-18 maggio 2023 con la media climatologica mensile, calcolata a partire dal *downscaling* sull'area europea del prodotto Copernicus ERA5 (30 km circa, periodo 1981-2022), cioè riducendo la risoluzione dei dati del sistema da una scala più gran-

de a una più piccola utile per comprendere meglio l'impatto dei cambiamenti climatici a livello locale, mostra come la pioggia risulti, in una vasta area della regione, pari a 7-8 volte la media climatologica di riferimento del mese considerato; <<https://www.arpae.it/it/notizie/levanto-meteo-idrogeologico-del-16-18-maggio-2023>> [1/7/2023].

³¹ Va poi sottolineato anche l'aumento del numero massimo di giorni consecutivi senza precipitazione estive (circa +20%).

³² Tra il 2013 e il 2021 il livello medio del mare globale è aumentato di circa 4,5 mm l'anno. Tale in-

irreversibile, ha raggiunto il suo picco negli anni Ottanta ed è poi diminuito grazie anche agli effetti delle normative di cui si è fatta menzione: secondo l'ultimo rapporto dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia Romagna (ARPAE_ER) a tutt'oggi la città di Ravenna è sostanzialmente stabile, presentando abbassamenti massimi intorno a 2-3 mm/anno compatibili con una subsidenza di tipo naturale³³. Purtroppo, la presenza di tale fenomeno continua indubbiamente ad aggravare molti dei problemi di conservazione strutturale e materiale del patrimonio costruito già presenti in passato, specie quelli legati alle pericolosità di tipo idraulico, per le esondazioni di corsi d'acqua, come accaduto di recente nelle campagne ravennati³⁴; idrogeologico, per frane e smottamenti; marino, per l'aggravarsi delle infiltrazioni di acque dell'Adriatico nelle falde (il cosiddetto 'cuneo marino'); ma anche agli eventi estremi, quali forti nevicate e/o temporali³⁵. Il patrimonio di Ravenna rimane quindi sempre soggetto a problematiche simili derivanti dalle condizioni del territorio e meteorologiche; ne sono esempi la continua attenzione rivolta ai movimenti della Torre civica³⁶, il monitoraggio delle acque di falda interne a San Vitale e, solo di recente, il controllo microclimatico del sito di Santa Croce.

Politiche locali e cambio di paradigma

Le politiche nazionali e regionali su resilienza e adattamento ai cambiamenti climatici raccomandano da tempo, per la definizione di un nuovo assetto del territorio, un cambio di paradigma nella pianificazione del paesaggio *lato sensu*, che consideri la complementarità dell'adattamento rispetto alla sola mitigazione³⁷.

Nei riguardi del patrimonio culturale ciò implica la messa a punto di nuove politiche gestionali e di protezione che tengano conto degli impatti futuri derivanti da tali mutamenti. In tale prospettiva, un ruolo strategico è ovviamente riconosciuto al moni-

cremento è rilevabile anche nel Mediterraneo, dove gli aumenti attesi entro il 2100 potranno variare da 65 cm, lungo litorali non sono soggetti a subsidenza, fino a superare ampiamente i 100 centimetri. Si veda la relazione finale, datata marzo 2021, del progetto *Sea Level Rise Scenarios Along the Mediterranean Coasts-2*; <<https://www.cmcc.it/projects/savemedcoasts-2-sea-level-rise-scenarios-along-the-mediterranean-coasts-2>> [1/7/2023].

³³ ARPAE, su incarico della Regione e in collaborazione con il Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e dei materiali dell'Università di Bologna, ha istituito nel 1997-98 una rete regionale di monitoraggio della subsidenza di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e una rete di circa 60 punti Gps: l'ultimo rilievo, il quarto, data 2016-2017; <<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/suolo/subsidenza/la-rete-regionale-di-monitoraggio-della-subsidenza>> [2/8/2023].

³⁴ A tale proposito preme ricordare che nel maggio del 2023 la decisione del Consorzio di Bonifica di far rompere gli argini del canale Magni ad ovest della città e far riversare l'acqua nei campi, ha impedito l'allagamento del centro antico della città limitando i danni solo ad alcune zone della periferia; <https://www.corriere.it/cronache/23_maggio_21/ravenna-alluvione-allagate-campi-salvate-citta-453d4396-f74e-11ed-96b5-391121fcff12.shtml> [2/8/2023].

³⁵ PAESC-RA 2019, pp. 49-50.

³⁶ I cedimenti differenziali alla Torre sono attestati sin dalla sua origine (XI-XII inizi); le prime indagini per monitorarne l'abbassamento e l'inclinazione risalgono al 1904 e poi al 1949 e al 1991; nel 2000, allo smontaggio della sommità della torre che da 34 metri divenne di 28 metri; CHIARUGI, BALATRONI 1999.

³⁷ MATTM 2013, p. 12; PAESC-RA 2019, pp. 80 e sgg.

toraggio a larga scala dei fenomeni naturali sino ad ora descritti³⁸ ma soprattutto alla gestione/interpretazione dei dati raccolti per garantire una pianificazione urbana e territoriale seria, nonché consapevoli attività di gestione e cura del patrimonio culturale. Ciò premesso, però, non sembra che le politiche del Comune in questi anni siano state particolarmente sensibili a tali aspetti e al controllo/prevenzione del rischio, come si avrà modo di vedere, neppure all'indomani dell'iscrizione, nel 1996, alla *World Heritage List* (WHL) dell'UNESCO degli otto monumenti paleocristiani più significativi della città. Negli aggiornamenti del 2013 del *Management Plan* (MP)³⁹, infatti, sebbene si legga che per le azioni di conoscenza, tutela e conservazione del patrimonio culturale si sarebbe dovuto prevedere lo "Sviluppo di studi e ricerche sul sistema di vincoli e rischi a cui è sottoposto il territorio del sito e la buffer"⁴⁰, a detta degli stessi estensori del piano, tali ricerche non risultavano ancora mature ed esaustive. Spiace poi rilevare che, sempre nel medesimo documento, sebbene siano solo menzionati i concetti di pericolosità ambientale e antropica, non venga minimamente fatto alcun cenno ai rischi di danneggiamento e di perdita da questi indotti⁴¹.

In questi ultimi anni il Comune di Ravenna⁴² ha sostenuto e partecipato a diversi progetti europei aventi come oggetto il patrimonio culturale, ma questi si sono prevalentemente orientati verso la sua valorizzazione⁴³ e la promozione del turismo connesso, trascurando la gestione dei rischi legati alle mutazioni del clima e alle criticità che da tempo minano il territorio. Fa eccezione il piano H2020 SHELTER (*Sustainable Historic Environments holistic reconstruction through Technological Enhancement and community-based Resilience*)⁴⁴, del 2019 e appena concluso, dove il Comune assieme alla Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Ravenna, Forlì Cesena e Rimini, e alla Arcidiocesi di Ravenna-Cervia figuravano come partner attivi della ricerca. Il progetto intendeva sviluppare una piattaforma dati per sostenere il monitoraggio, le fasi di diagnosi e le strategie d'intervento in aree patrimoniali a rischio dovuto ai cambiamenti climatici. Sulla base di un condiviso e replicabile piano della conoscenza, che teneva conto anche delle istanze dei gestori di aree patrimoniali, il piano SHELTER mirava ad aumentare la resilienza di cinque siti europei con caratteristiche e vulnerabilità differenti⁴⁵ aiutando i processi decisionali di tutela e piani-

³⁸ ARPAE gestisce 8 sistemi di monitoraggio e valutazione dello stato dell'ambiente, costituiti da oltre 20 reti di sorveglianza in continuo; <<https://www.arpae.it/it/attivita-e-servizi/monitoraggio-ambientale>> [2/8/2023].

³⁹ Un piano redatto nel 2005 si è soprattutto occupato di valutare risultati del sistema di gestione come indicato, a detta degli estensori, dalle Linee guida del MiC del 2004; MARINI 2014, p. 145.

⁴⁰ Ivi, p. 150.

⁴¹ Non sono molti i siti italiani della Lista ad avere Piani di Gestione attenti alla valutazione dei rischi climatici e alla gestione dei loro impatti; MELANDRI, UGO-

LINI 2022, pp. 128-133. Nel maggio dello stesso anno in cui Ravenna pubblicava l'aggiornamento del MP del sito, usciva un documento dal titolo *Heritage and Resilience* a cura di ICOMOS/ICORP in collaborazione con ISDR, UNESCO e ICCROM (MURTHY 2013).

⁴² <<https://www.comune.ra.it/aree-tematiche/politiche-europee-e-rapporti/politiche-europee-e-progetti/>> [16/8/2023].

⁴³ Per altro non intesa ai sensi dell'art. 6 del Codice dei beni culturali (D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42).

⁴⁴ SHELTER grant agreement n. 821282.

⁴⁵ Si trattava di tre Open Lab (OL) a scala urbana: Area archeologica di Santa Croce a Ravenna (Ita-



Fig. 7. SHELTER H2020: poster di presentazione del progetto_ 7th SHELTER General Assembly, Bologna 7-9 settembre 2022 (elaborazione Eleonora Melandri).

ficazione e *governance* adattiva (Fig. 7)⁴⁶. Tra i casi studio figurava l'area archeologica di Santa Croce a Ravenna - collocata nella *buffer zone* dell'area monumentale di San Vitale e del Mausoleo di Galla Placidia, due degli otto monumenti della *World Heritage List* della città - i cui resti appartengono all'omonimo complesso basilicale del V sec. d.C.⁴⁷ (Fig. 8). Il sito si colloca a circa 2 m sotto al livello di falda statica, quasi 4 m sotto il piano di calpestio attuale, ed è mantenuto all'asciutto mediante un sistema di drenaggio che convoglia l'acqua di falda in una vasca di raccolta, le cui pompe di sollevamento scaricano nella rete fognaria stradale⁴⁸. La vicinanza al mausoleo e alla basilica bizantini, con i quali il complesso di Santa Croce condivide alcune criticità a livello di gestione ed esposizione a evidenti fattori di rischio, ha reso il sito un caso-studio

lia); Distretto di Seferihisar (Turchia); Comune di Dordrecht (Paesi Bassi). Due Open Lab transfrontalieri: Bacino del fiume Sava (Slovenia, Croazia, Bosnia ed Erzegovina, Serbia e Montenegro) Parco naturale di Baixa Limia-Serra Do Xurés (Spagna).
⁴⁶ Cfr. <<https://shelter-project.com/about/>> [21/9/2023].

⁴⁷ Il complesso di Santa Croce viene edificato da Galla Placidia agli inizi del V secolo e comprendeva, oltre alla chiesa, una cappella (l'attuale

Mausoleo dedicato all'imperatrice) accessibile dal nartece. Nel XIV secolo vennero demoliti i bracci N e S della chiesa e nel tardo XVI secolo fu la volta del nartece. Nel 1602 la facciata venne arretrata di sette metri per realizzare una strada; DAVID 2013.

⁴⁸ Dall'avvio delle ricerche questo sistema è andato in crisi nel 2019 e nel 2021, causando importanti allagamenti nell'area archeologica e nella chiesa; UGOLINI *et al.* 2020.



Fig. 8. L'area archeologica di Santa Croce collocata nella *buffer zone* dell'area monumentale di San Vitale del mausoleo di Galla Placidia, due degli otto WHS della città.



Fig. 9. I volontari della protezione civile e i tecnici della SBAP di Ravenna durante l'intervento di pompaggio delle acque all'indomani dell'allagamento del sito per la rottura di una delle pompe di emungimento nell'agosto del 2021.

ideale per avviare una campagna di studi finalizzata alla definizione di strategie replicabili su altri monumenti della città (Fig. 9). Un gruppo di ricercatori del CIRI, Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale in Edilizia e Costruzioni dell'Università di Bologna, ha messo a punto un sistema di monitoraggio per il sito implementando i dati già raccolti a livello regionale (ARPAE-ER)⁴⁹, analizzando altresì la pericolosità legata alle alluvioni a livello urbano e locale tramite l'impiego di un software HEC-RAS⁵⁰. Si è potuto così 'scattare una foto' delle condizioni del sito sulla base della quale è stato elaborato un documento operativo per la sua corretta gestione e conservazione che è stato consegnato agli enti coinvolti nella gestione dell'area⁵¹.

Per un cambio di passo

Alla luce di quanto finora esposto, e considerando anche i drammatici eventi che hanno colpito la Romagna nel maggio del 2023, diventa chiaro quanto sia essenziale l'adozione di strategie di salvaguardia del patrimonio costruito basate su approcci proattivi e visioni olistiche capaci di far fronte alle nuove sfide dovute ai cambiamenti del clima in contesti già fortemente caratterizzati dalla subsidenza⁵². Un fenomeno che, come si è visto già in passato, ha favorito il rischio legato alle alluvioni, mettendo in serio pericolo l'efficienza delle reti fognarie e delle infrastrutture di superficie, minato la sicurezza di monumenti ed edifici o, ancora, provocato l'aumento dell'intrusione delle acque marine e, quindi, la salinità di falde e terreni con inevitabili conseguenze per il contesto e i manufatti che lo segnano. A tal proposito sarà quindi necessario rafforzare e diffondere la cultura della cura preventiva e programmata del patrimonio, nonché implementare la manutenzione e l'aggiornamento tecnologico di quelle infrastrutture non visibili utili al contenimento degli effetti della subsidenza⁵³.

⁴⁹ Si è posta attenzione alla misura della *trend* attuale della subsidenza (confronto fra rilievi geomatici diacronici, BITELLI *et al.* 2021), alla variazione dei livelli di falda (monitoraggio piezometrico, MARCHI *et al.* 2023), al rilievo e monitoraggio del quadro fessurativo della chiesa (acquisizione dati in continuo da livellometri, fessurimetri, clinometri, accelerometri, FERRETTI *et al.* i.c.s.) e allo studio dei sali e dei livelli di umidità nelle strutture (carotaggi e analisi di laboratorio, utilizzo di *datalogger* per definizione parametri microclimatici, FRANZONI *et al.* 2023), nonché alla verifica dell'efficienza del sistema di emungimento per la comprensione dei reiterati allagamenti della zona. Si sono altresì studiate le relazioni con i *pattern* delle precipitazioni e degli eventi meteorologici (stazione meteo).

⁵⁰ Si tratta di un programma per simulare la propagazione dell'onda di piena lungo un reticolo idraulico e determinare l'altezza che il livello idrico può raggiungere, permettendo così di perime-

trare le aree allagabili con diversi tempi di ritorno. Sono state elaborate dal prof. Marco Maglionico con questo *software* mappe per descrivere le zone di allagamento superficiale a Ravenna (Tempo di Ritorno di 200 anni) indicando anche le possibili tattiche di mitigazione del rischio.

⁵¹ L'area è di proprietà del Comune e della Diocesi di Ravenna ma è gestita dalla Soprintendenza. Le indagini hanno evidenziato che alla base della maggioranza dei dissesti e delle situazioni di degrado del sito vi sia, tra le altre cause legate alla subsidenza, l'inadeguatezza del sistema di emungimento delle acque e una mancanza di cura costante e sistematica.

⁵² Si veda *Objective 1. Strengthen support within relevant global, regional, national and local institutions for reducing risks at World Heritage properties*, in MURTHY 2013, p. 46.

⁵³ Ci si riferisce alle reti di raccolta e di allontanamento delle acque piovane, ai sistemi di emungimento e di contenimento idrico antichi e moderne.

La regione Emilia-Romagna, come già ricordato, ha reti aggiornate ed efficienti per il monitoraggio idrometeorologico⁵⁴ e della subsidenza⁵⁵ su larga scala; sarebbe opportuno però attivarne altre anche a livello locale, in riferimento, soprattutto, alle vulnerabilità specifiche delle aree patrimoniali più sensibili o, almeno, a quelle degli otto siti della WHL⁵⁶. I dati raccolti dovrebbero poi necessariamente indirizzare le politiche di gestione e cura del bene⁵⁷ - una modalità oggi tutt'altro che ovvia - fornendo quelle informazioni in continuo necessarie sia alla definizione del quadro delle esigenze conservative che alla compilazione di "dettagliate ed esaustive" schede tecniche, come prescritto dalle normative vigenti, indispensabili in caso di intervento⁵⁸. Del resto, il tema della programmazione, centrale nella logica del Codice dei beni culturali, da tempo evidenzia l'importanza della circolarità della gestione della conoscenza: ogni progetto, infatti, parte dalla conoscenza pregressa, la arricchisce col monitoraggio e imposta / re-imposta la sua gestione per il futuro.

A monte di questo, e nello specifico inoltre, sarebbe bene risolvere anche alcuni problemi amministrativi che a tutt'oggi rendono difficile il controllo e la gestione del patrimonio ravennate (e, crediamo, anche in altre parti del nostro Paese): l'area di Santa Croce, per esempio, è di proprietà del Comune, la chiesa appartiene all'Arcidiocesi ma la gestione è in carico alla Soprintendenza; mentre invece, nel caso dei siti UNESCO, è il Comune ad avere la responsabilità del *Management Plan* (MP), senza essere soggetto gestore in via diretta di nessuno dei monumenti di proprietà, invece, della Soprintendenza e dell'Arcidiocesi⁵⁹. A ciò si aggiunge che, contrariamente a quanto accaduto per Bologna, dove la redazione del MP si è sviluppata in perfetta sinergia con la stesura del nuovo PUG, le strategie di pianificazione ravennate non sembrano del tutto allineate a un MP non ancora completamente definito.

Le nuove sfide a fronte dei cambiamenti climatici, infine, andrebbero affrontate anche con la pianificazione di nuovi percorsi di formazione e aggiornamento degli operatori del patrimonio culturale, dei funzionari degli Enti Locali e dei Corpi di Protezione Civile (specie volontari)⁶⁰ in cui si dovrebbero condividere le buone pratiche di cura (oltre che di intervento per l'emergenza⁶¹) di cui sono ricchi i documenti interna-

⁵⁴ Cfr. <<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/dati-e-osservazioni/rete-di-monitoraggio-idrometeorologica>> [30/8/2023].

⁵⁵ *Supra* nota 29.

⁵⁶ Si veda *Action 2.2.*, in MURTHY 2013, p. 46.

⁵⁷ Come si è sperimentato nel progetto SHELTER con il piano di manutenzione/conservazione predisposto al termine delle attività dell'OL.

⁵⁸ Ci si riferisce al D.lgs. n. 36/2023, nuovo Codice degli appalti; in particolare al Quadro Esigenziale, cui consegue il Documento di fattibilità e all'importanza della Scheda Tecnica specie per beni immobili di interesse storico, artistico o archeologico: comma 3 dell'articolo 14 dell'Allegato II.18.

⁵⁹ ORIOLI *et al.* 2020, p. 568.

⁶⁰ Il contributo del volontariato adeguatamente formato sta divenendo strategico per la salvaguardia del patrimonio in un momento storico come questo dove si registra una sempre più diffusa carenza di risorse (soprattutto per la manutenzione e la cura) non tanto di monumenti e siti di conclamata rilevanza ma per la stragrande maggioranza di quelli che segnano il Paese; UGOLINI 2019; UGOLINI i.c.s..

⁶¹ Si veda *Objective 2, Use knowledge, innovation and education to build a culture of disaster prevention at WH properties*, in MURTHY 2013, p. 46.

zionali. Diventa, infatti, sempre più strategico promuovere tali attività tramite politiche di sensibilizzazione della cittadinanza, focalizzandosi su concetti come quello di 'adattamento al clima' che, per il patrimonio culturale, implica principalmente il rafforzamento delle strategie di prevenzione e cura, consapevoli del suo valore. Un valore da intendersi non solo in termini turistici ed economici, come spesso accade, ma soprattutto come un contributo al benessere e alla qualità della vita di una comunità.

BIBLIOGRAFIA

- ARCA, BERETTA 1985: S. Arca, G.P. Berretta, *Prima sintesi geodetica-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia Settentrionale*, in «Bollettino di Geodesia e Scienze Affini», 44, 1985, 2, pp. 125-156
- BARTOCCINI 1931: R. Bartoccini, *Restauri in San Vitale*, in «Felix Ravenna», XXXVIII, 1931, 2, pp. 77-101
- BERTONI *et al.* 2005: W. Bertoni, C. Elmi, F. Marabini, *The subsidence of Ravenna*, in «Giornale di Geologia Applicata», 1, 2005, pp. 23-32
- BITELLI *et al.* 2010: G. Bitelli, F. Bonsignore, L. Carbognin, A. Ferretti, S. Strozzi, T. Teatini, T. Tosi, L. Vittuari, *Radar interferometry-based mapping of the present land subsidence along the low-lying northern Adriatic coast of Italy*, in *Land Subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development*, proceedings of EISOLS 2010, (Queretaro, Mexico, 17-22 October 2010), IAHS Publ. 339, 2010, pp. 279-286
- BITELLI *et al.* 2020: G. Bitelli, F. Bonsignore, S. Del Conte, F. Franci, A. Lambertini, *Updating the subsidence map of Emilia Romagna region (Italy) by Integration of SAR interferometry and GNSS time series: the 2011-2016 period*, in proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 382, 2020, pp. 39-44
- BITELLI *et al.* 2021: G. Bitelli, E. Barbieri, V.A. Girelli, A. Lambertini, E. Mandanici, E. Melandri, D.S. Roggio, A. Santangelo, M.A. Tini, S. Tondelli, A. Ugolini, *The Complex of Santa Croce in Ravenna as a case study: integration of 3D techniques for surveying and monitoring of a historical site*, in proceedings of the ARQUEOLÓGICA 2.0 - 9th International Congress & 3rd GEORES (Valencia, April 26th - 28th 2021), Valencia 2021, pp. 408-413
- BOSSI 1994: M. Bossi, *Ravenna descritta. Dai corografi rinascimentali ai viaggiatori del Settecento*, in L. Gambi (a cura di), *Storia di Ravenna. Dalla dominazione veneziana alla conquista francese*, vol. IV, Marsilio, Venezia 1994, pp. 679-745
- CHIARUGI, BALATRONI 1999: A. Chiarugi, I. Balatroni, *Consolidamento della Torre civica di Ravenna, 1^a fase: smontaggio di una parte sommitale. Relazione tecnica generale del 21 luglio 1999*, Archivio storico del Comune di Ravenna, s.n., *Torre Civica*
- DAVID 2013: M. David (a cura di). *La Basilica di Santa Croce: nuovi contributi per Ravenna tardoantica*, Edizioni del Girasole, Ravenna 2013
- FABBRI 1990: P. Fabbri, *Il paesaggio ravennate dell'evo antico*, in G. Susini (a cura di), *Storia di Ravenna. L'evo Antico*, vol. I, Marsilio, Venezia 1990, pp. 7-29
- FANTUZZI 1801-1804: M. Fantuzzi, *Monumenti ravennati de' secoli di mezzo per la maggior parte inediti*, I-VI, Francesco Andreola stampatore, Ravenna 1801-1804

- FERRETTI *et al.* i.c.s.: F. Ferretti, C. Monteferrante, C. Mazzotti, *Numerical modelling and Structural Health Monitoring for built heritage management: the case of the Church of Santa Croce in Ravenna*, in *Structural Analysis of Historical Constructions*, SAHC26th International Conference, (Kyoto, Japan, September 12th-15th 2023), Springer Nature Switzerland, i.c.s.
- FONTANA 1994: V. Fontana, *Il problema delle sistemazioni fluviali, del canale marino e la creazione del nuovo porto*, in L. Gambi (a cura di), *Storia di Ravenna. Dalla dominazione veneziana alla conquista francese*, vol. IV, Marsilio, Venezia 1994
- FRANZONI *et al.* 2023: E. Franzoni, B. Berk, M. Bassi, C. Marrone, *An integrated approach to the monitoring of rising damp in historic brick masonry*, in «Construction and Building Materials», 370, 2023, 130631, <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130631>> [29/10/2023]
- GISOTTI 1980: G. Gisotti, *La subsidenza a Ravenna: cause, effetti e interventi*, in «Agricoltura Ambiente», 7, 1980, pp. 29-47
- IANNUCCI 1997: A.M. Iannucci, *Dai restauri storici ai problemi attuali di conservazione e valorizzazione*, in E. Concilio, S. Milliken (a cura di), *Ravenna patrimonio dell'umanità. Ravenna heritage of mankind*, Abaco edizioni, Forlì 1997, pp. 23-28
- LEONI 2017: C. Leoni, *Ravenna che scompare Uso dell'ICT per lo studio degli effetti della subsidenza su alcuni monumenti del patrimonio UNESCO*, Tesi di laurea magistrale a ciclo unico in Architettura, Università di Bologna, a.a. 2017-2018, rel. Prof. F. Ceccarelli co-rel. Prof. A. Ugolini
- LOMBARDINI 2003: N. Lombardini, *Dall'antiquaria al restauro dei Monumenti: il «secondo Rinascimento» di Ravenna nell'Ottocento*, in «Ravenna Studi e Ricerche», X, 2003, 1, pp. 73-93
- MAIURI 200: M.C. Maiuri, *Filippo Lanciani e il restauro dei monumenti ravennati nella seconda metà dell'Ottocento*, in «Ravenna Studi e Ricerche», VII, 2000, 2, pp. 77-115
- MARCHI *et al.* 2023: M. Marchi, I. Bertolini, G. Gottardi, *Geotechnical investigations and monitoring of the Archaeological Site of Santa Croce in Ravenna (Italy)*, in A. Ferrari, M. Rosone, M. Ziccarelli, G. Gottardi (a cura di) *L'interazione tra l'ingegneria geotecnica, le scienze applicate, l'innovazione tecnologica e digitale*, VIII convegno nazionale dei ricercatori di Ingegneria Geotecnica (Palermo, 5-7 luglio 2023), Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, 2023, pp. 536-543
- MELANDRI, UGOLINI 2022: E. Melandri, A. Ugolini, *Italian archeological World Heritage Sites: disaster risk reduction in the management plans*, in «Restauro Archeologico», special issue, *1972/2022 World Heritage in transition. About management, protection and sustainability*, II, 2022, pp. 128-133
- MURTHY 2013: M. Murthy, *Heritage and Resilience. Issues and Opportunities for Reducing Disaster Risks*, UNISDR, 2013, <<https://www.undrr.org/publication/heritage-and-resilience-issues-and-opportunities-reducing-disaster-risks>> [2/8/2023]
- NOVARA 1998: P. Novara, *Storia delle scoperte archeologiche di Ravenna e Classe. I secoli XV-XIX*, Danilo Montanari Editore, Ravenna 1998
- NOVARA 2013: P. Novara, *I restauri dell'Ottocento*, in P. Novara, A. Ranaldi (a cura di), *Restauri dei monumenti paleocristiani e bizantini di Ravenna patrimonio dell'umanità*, Litografia Brighi e Venturi, Ravenna 2013, pp. 15-33
- NOVARA, LUPARINI 2016: P. Novara, A. Luparini, *Storia di Ravenna. Dalla preistoria all'anno Duemila*, Il ponte vecchio editore, Cesena 2016
- ORIOLO *et al.* 2020: V. Orioli, C. Mariotti, A. Ugolini, *UNESCO mania? Effetti positivi per la conservazione e valorizzazione dei siti emiliano-romagnoli*, in M. I. Pascariello, A. Veropalumbo (a cura di), *La città palinsesto. Tracce, sguardi e narrazioni sulla complessità dei contesti urbani storici. I: Memorie, storie, immagini*, Federico II University Press, Napoli 2020, pp. 563-575

- PAVAN 1978: G. Pavan, *Restauri e ritrovamenti della basilica di S. Apollinare in Classe*, in «Corso di Cultura sull'Arte Ravennate e Bizantina», XXV, 1978, pp. 233-264
- PEDNA 1995: A. Pedna, *Eugenio Beauharnais e il Mausoleo di Teodorico*, in «Ravenna Studi e Ricerche», II, 1995, pp. 143-156
- RANALDI 2013: A. Ranaldi, *Restauri del Novecento. Dalla nascita della Soprintendenza (1897) al secondo dopoguerra*, in P. Novara, A. Ranaldi (a cura di), *Restauri dei monumenti paleocristiani e bizantini di Ravenna patrimonio dell'umanità*, Litografia Brighi e Venturi, Ravenna 2013 pp. 45-61
- RICCERI 1992: G. Ricceri, *Studi e ricerche nell'area di S. Vitale Galla Placidia e Santa Croce in Ravenna*, SGEditoriali, Padova 1992
- RUSSO 2003: E. Russo, *L'architettura di Ravenna paleocristiana*, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venezia 2003
- SERICOLA *et al.* 2020: M. Sericola, E.R. Agostinelli, A. Ugolini, *L'area archeologica di Santa Croce. Rischio e degrado come elementi per pianificare il futuro di un sito*, in A. Russo, I. Della Giovampaola (a cura di), *Monitoraggio e Manutenzione delle Aree Archeologiche: cambiamenti climatici, dissesto idrogeologico, degrado chimico ambientale*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2020, pp. 253-257
- SEVERI *et al.* 2014: P. Severi, L. Bonzi, M.T. De Nardo, S. Segadelli, D. Bonaposta, A. Parisi, *Gli acquiferi dell'Emilia Romagna*, in F. Farina, M. Morcaccio, A. Zavatti (a cura di), *Esperienze e prospettive nel monitoraggio delle acque sotterranee. Il contributo dell'Emilia Romagna*, Pitagora editrice, Bologna 2014, pp. 19-35
- TEATINI *et al.* 2005: P. Teatini, M. Ferronato, G. Gambolati, W. Bertoni, M. Gonella, *A century of land subsidence in Ravenna, Italy*, in «Environmental Earth Sciences», 47, 2005, 6, pp. 831-846
- UGOLINI 2019: A. Ugolini, *Projects and interventions on cultural heritage: management sharing with the community*, in D. Pittaluga, F. Fratini (a cura di), *Conservation et mise en valeur du patrimoine architectural et paysagé des dites cotiers méditerranéens*, Franco Angeli editore, Milano 2019, pp. 231-242
- UGOLINI *et al.* 2020: A. Ugolini, E. Melandri, E.R. Agostinelli, M. Sericola, M. Vandini, S. Fiorentino, *Managing water risks in archaeological sites: the flooding of the complex of Santa Croce in Ravenna*, in G. Biscontin e G. Driussi (a cura di), *Gli effetti dell'acqua sui Beni Culturali: valutazioni, critiche e modalità di verifica*, atti del 36° Convegno di studi internazionale Scienza e Beni Culturali (Venezia, 17-19 nov. 2020), Venezia 2020, pp. 163-174
- UGOLINI i.c.s.: A. Ugolini, *Cambiamenti climatici e gestione del rischio nelle aree archeologiche. Riflessioni a margine di una ricerca*, i.c.s.

SITI

- MATTM 2013: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, *Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici*, <https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/strategia_adattamentoCC>
- PAESC-RA 2019: *Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima. Resilienza e adattamento agli effetti del cambiamento climatico*, <<https://www.comune.ra.it/aree-tematiche/ambiente-e-animale/ambiente-e-territorio/strumenti-di-gestione-ambientale/paes-piano-dazione-per-lenergia-sostenibile/>>

Danish building culture and climate: investigations of existing knowledge on Life Cycle Assessments and conservation values in Modernist Multi-Storey Housing 1930-74

BIRGITTE TANDERUP EYBYE, NINA VENTZEL RIIS, MOGENS A. MORGEN

1. Introduction

The new AR6 Synthesis Report from the Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC] makes it clear that climate change is a growing menace to the planet and to humanity¹. Building is a major contributor to climate change, since the built environment accounts for approximately 39% of global emissions², and the construction sector generates 25-30% of all waste in the EU³. As a means of reducing emissions, the Danish building regulations continue to tighten demands for the energy consumption of buildings in the operational phase. Such demands put pressure on preservation-worthy buildings in particular: mainly in the form of energy-efficiency renovations with a subsequent loss of conservation values or, in some cases, in the form of demolition and the resulting loss of architectural heritage to new, low-energy building.

Concurrently, recent research shows that energy-efficiency renovation may result in lower emissions than new construction with a study reference period of 50-60 years⁴. This makes it logical to examine how renovations of preservation-worthy buildings can reduce emissions while retaining or even enhancing conservation values. In doing so, it is relevant to draw on Life Cycle Assessment [LCA], as such calculations are expected to increase the comprehension of the complex connections between the climate impacts of construction and operation, building lifetimes, durability and the wish to minimise rebuilding. This was the main objective of the research project called “Building Culture and Climate” (Danish title: Bygningkultur og Klima)⁵ that was conducted in 2021 by researchers from Aarhus University and the Aarhus School of Architecture⁶.

Since then, the research project’s topicality has increased, as the EU Commission has presented a proposal for a new building directive with the purpose of ensuring that millions of buildings in the EU countries are renovated to be assigned a better

¹ IPCC 2023.

² ADAMS *et al.* 2019, p. 7.

³ BEIM *et al.* 2019, p. 17.

⁴ See e.g. FUFA *et al.* 2020.

⁵ <<https://realdania.dk/publikationer/faglige-publikationer/bygningkultur-og-klima>>[26/10/2023].

⁶ From the Aarhus University are the researchers Steffen Petersen, Jakob Daugaard Buhl, Louise Østergaard Pedersen, while Birgitte Tanderup Eybye, Henriette Ejstrup Andersen, Mette Boisen Lyhne, Mogens A. Morgen, and Nina Ventzel Riis work in the Aarhus School of Architecture.

energy label. Negotiations between the Commission, the Council and the Parliament of the EU are expected to be concluded already at the end of 2023. The increased requirements for the future energy status of buildings will be a serious threat to our architectural cultural heritage if renovations are carried out with an exclusive focus on energy efficiency⁷.

Modernist multi-storey housing⁸ built between 1930 and 1974 constitutes a large part of the Danish housing stock. This type of housing is in particular characterised by high energy consumption for heating, and the buildings face extensive renovations in the coming years. Relatedly, the exterior of modernist heritage holds distinctive yet delicate architectural values that are easily impaired or even lost, which makes them highly vulnerable to (energy-efficiency) renovations. Consequently, it is particularly relevant to look into this subject matter when investigating the climate impact and conservation values of buildings.

This article is based on the report “Building Culture and Climate” which was published in Danish. The aim is to present and evaluate the main methods, findings and discussions of the report with a view to contribute to the international discussion on architectural heritage and carbon emissions. The point of departure of the project was a task description written by Realdania⁹ and the research was carried out as an interdisciplinary cooperation between eight researchers. On an overall level, the project achieved particular distinction for its research, which combined the technical elements of LCA with assessments of conservation values, i.e. the value assessment method called “Survey of Architectural Values in the Environment” [SAVE]¹⁰.

2. *Scope and methods*

The scope of the research project was to: 1) investigate connections between LCA and preservation-worthy buildings (i.e. conservation values or architectural quality); 2) explore the share of preservation-worthy buildings in the total climate impact of existing buildings; 3) examine different energy-saving interventions in the building stock; 4) look into the climate impacts of renovations compared with new building by means of case studies.

The article initially introduces the overall investigation. This is followed by chapters on the scope and methods, the literature review, the examinations into the building stock that delimits the case selection, and the multiple case studies. The article then discusses and evaluates the findings and the overall research project, and, lastly, the conclusions.

⁷ KRAUL 2023; EUROPEAN PARLIAMENT 2019-2024, § 5c.

⁸ This study applies the notion multi-storey housing about residencies with two storeys or more, and with horizontal divisions between the apartments.

⁹ Realdania is a Danish philanthropic foundation that supports projects related to the built environment.

¹⁰ SAVE is a method for surveying conservation values in built structures and buildings, see section 2.1.3.

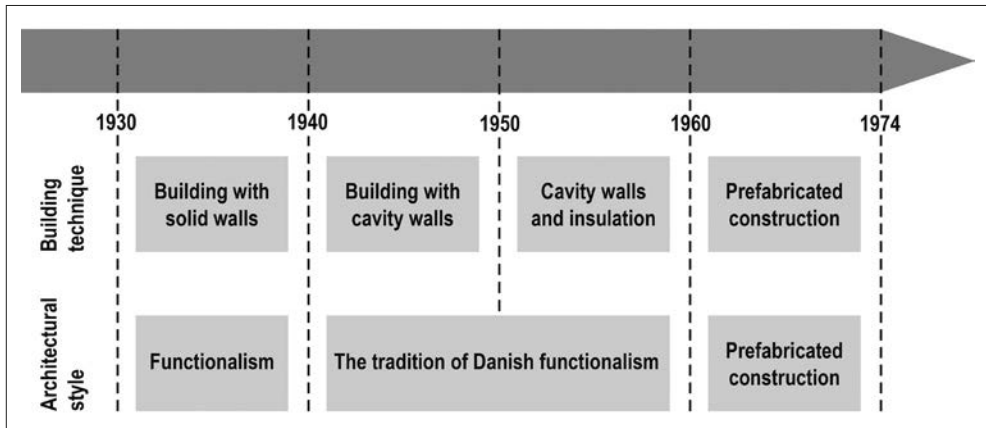


Fig. 1. The dispersion of the empiricism in regard to construction years, building techniques and architectural styles (da PETERSEN *et al.* 2021, p. 39).

The main source utilised the report illustrating the cited research on Building Culture and Climate¹¹. Other sources comprise literature on architectural heritage and architectural history, SAVE, LCA, and research methodologies such as literature reviews and case study research. Furthermore, the literature review identified relevant material, e.g. scientific studies, reports and articles which will be presented in section 3.2.

The methods used include LCA, SAVE, literature reviews, and case study research. Concerning the literature review, this research project emphasises that the study is scientific, transparent, and replicable, for which reason the Systematic Literature Review [SLR] was chosen. This type of review was developed to identify, evaluate and synthesize the state-of-the-art within a field¹², and it is well-established within the fields of e.g. medicine and software engineering¹³. Additionally, other studies at the intersection of LCA and conservation values also apply the SLR¹⁴. As for the choice of case studies, this method is well qualified to provide in-depth information on a phenomenon (knowledge about LCA and conservation values) through a small number of dense cases studies (preservation-worthy buildings)¹⁵.

Concerning the empiricism, the buildings of the subject matter can be divided into several subcategories¹⁶ according to modernist architecture and related building techniques (Fig. 1)¹⁷.

¹¹ PETERSEN *et al.* 2021.

¹² TRANFIELD *et al.* 2003, p. 208.

¹³ ZUMSTEG *et al.* 2012, p. 14.

¹⁴ See for instance FUGA *et al.* 2020 and RØNHOLT *et al.* 2019.

¹⁵ YIN 2014.

¹⁶ Among these is the so-called “tradition of Danish functionalism”. This notion was introduced by Danish architect Kai Fisker and it aimed to unite functionalism with local traditions such as materials.

¹⁷ WITTCHEN, KRAGH 2012; DANNEMAND FROST *et al.* 2014.

2.1 Clarification of concepts

2.1.1 Renovation

The field of architectural conservation has a precise and well-developed vocabulary including types and degrees of particular interventions. Yet, this research project applies the term renovation to all types of architectural interventions, regardless of the extent, in order to maintain a focus on the intersection between conservation values and LCA in all types of interventions.

2.1.2 Listed vs. Preservation-Worthy Buildings

In the context of Denmark, a distinction is made between listed and preservation-worthy buildings. The former category is statutorily agreed on as inalienable. Therefore, they are protected through a national system administered on the basis of the Act of Building Preservation, which was originally adopted in 1918. The latter are differentiated based on e.g. their type, architecture, cultural history or craftsmanship. These are identified and administered at the municipal level under different and somehow inadequate legislation, and thus approached in very different ways depending on the individual municipalities' interest in them. It is also important to note that there is a large, unreported number of preservation-worthy buildings, since the surveys of these buildings have not been completed in all parts of the country and because surveys are primarily focused on buildings constructed before 1940.

2.1.3 'SAVE' methodology

Survey of Architectural Values in the Environment, usually shortened to SAVE, is a method for surveying conservation values in built structures and buildings. The method was developed from the late 1980s onwards, and it is the most widely used method among Danish municipalities for surveying and selecting preservation-worthy buildings and built structures. SAVE assessments provide municipal administrations and politicians with an overview of architectural, culture-historical, and environmental qualities in the built environment with the aim of informing decisions.

SAVE assesses the exterior of a given building and its interaction with the surroundings. It is based on five parameters (architectural value, culture-historical value, environmental¹⁸ value, originality, and state). These parameters are summed up in the overall conservation value. Values are rated on a scale from 1 to 9, 1 being the best. Consequently, conservation values between 1 and 3 are called "high conservation value", 4 to 6 equal "medium conservation value", and 7 to 9 represent "low conservation value"¹⁹. SAVE-assessed buildings are registered in the national "Fredede og bevaringsværdige bygninger" [FBB] database²⁰.

¹⁸ Environmental value concerns the interaction between the building and its surroundings.

¹⁹ KULTURARVSSTYRELSEN 2011.

²⁰ SLOTS- OG KULTURSTYRELSEN 2021.

2.1.4 LCA and Preservation-Worthy Buildings

LCA is an international, standardised method for assessing the environmental footprint of a building. The method is divided into four stages: A) Production and construction; B) Use; C) End of life; D) Beyond the building life cycle. Each of the stages are subdivided into further modules. For instance, stage A is divided into modules A1 to A5, concerned with the extraction, transportation, and manufacturing of materials and constructions²¹. Emissions during stage A can be calculated quite precisely, whereas calculations for the following stages are subject to uncertainties such as the lifetime of buildings, user behaviour, the precision of data, varying weather conditions, etc.

In 1961, the first Danish building regulations introduced requirements for insulation and indoor climate. Such requirements have gradually become more rigorous since then, including requirements for the energy consumption of the existing building stock in relation to renovation as well as possible exceptions²². A strategy for sustainable building was politically adopted in 2021. This strategy comprises e.g. mandatory LCA calculations and requirements for carbon emissions in the so-called 'voluntary sustainability category'²³. Specific demands for LCA in the context of renovations have not yet been adopted²⁴.

The existing buildings – particularly the preservation-worthy ones – pose a number of challenges in relation to LCA, such as existing architectural qualities (e.g. the appointed conservation values) and building technical issues (e.g. dampness). Furthermore, preservation-worthy buildings are heterogeneous in regard to several aspects (such as architecture and construction), for which reason possible renovation works must be evaluated in regard to the particular case. It is, however, possible to make assumptions on how different interventions impact the conservation values, as the legislation distinguishes between the exterior and interior. Additionally, certain interventions are positioned in a so-called 'space of negotiation' between conservation values and possibilities of change, in which the values and impacts of an intervention are discussed (Fig. 2)²⁵.

The LCA calculations in this project take their point of departure in the method of "Branchevejledning i LCA ved renovering"²⁶ and the demands of the voluntary sustainability class. Stages and modules included for new materials and operations are A1-A5, B4, B6, C3-C4 and, possibly, D. Moreover, stages and modules included for demolished materials are C3-C4 and, possibly, D. Calculations are performed in the

²¹ KANAFANI *et al.* 2019.

²² TRAFIK-, BYGGE- OG BOLIGSTYRELSEN 2021.

²³ In Danish: Den frivillige bæredygtighedsklasse. The Voluntary Sustainability Category aims to promote sustainable building through nine focus areas: 1) LCA analysis; 2) resource deployment on the construction site; 3) Life Cycle Costing analysis; 4) scheme of operation and maintenance;

5) documentation of problematic substances; 6) degasification of materials to indoor climate; 7) documentation of daylight levels; 8) noise of ventilation systems in dwellings; 9) acoustics (SOCIAL OG BOLIGSTYRELSEN 2023a).

²⁴ VALDIMARSSON, KRISTENSEN 2021.

²⁵ DAHL *et al.* 2015.

²⁶ WORM *et al.* 2016.

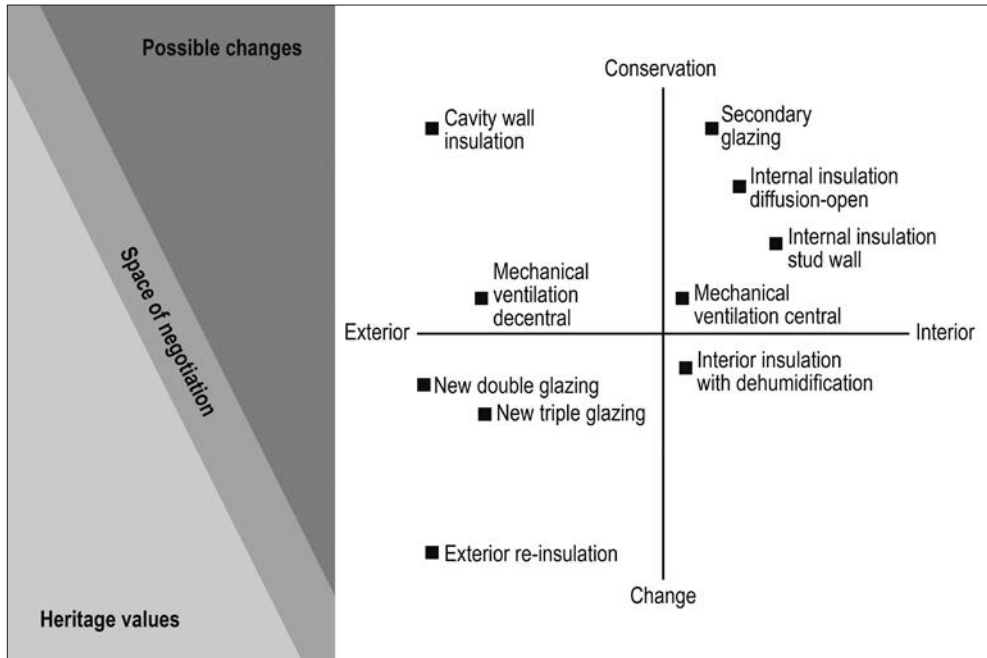


Fig. 2. Left: the space of negotiation (da DAHL *et al.* 2015, p. 8). Right: diagram of the interventions and their expected effect on the conservation values (da PETERSEN *et al.*, p. 44).

program «LCAByg5», version 5.1.0.9²⁷, and the data applied for all materials in renovation are generic environmental data from the German database Ökobaumat²⁸. The study reference period is 50 years.

The studied interventions that possibly reduce the carbon impact comprise five elements, namely 'exterior wall', 'roof', 'floor structure above unheated basement', 'windows', and 'ventilation'. More elements, such as 'exterior wall' and 'windows', are subdivided into different types, e.g. 'cavity wall insulation' or 'double glazing window', to name a few. Furthermore, each element is divided into the identified four building technical periods, leading to a total of 25 general LCA calculations, including the change of energy source. This material indicates carbon emissions and elaborates on the impacts on the conservation values ranging from 'none' to 'substantial changes'. For reasons of length, it was not possible to present all the LCA calculations in this paper and, thus, we refer to the report for this information. The delimited LCA of the chosen interventions do, however, indicate that several of these are highly likely to reduce the carbon footprint of the modernist multi-storey housing of 1930-74. Yet, the results depend on the specific building, as some interventions are inappropriate in

²⁷ LCAByg is an open access tool for LCA calculations based on Environmental Product Declarations [EPD] and developed by BUILD at Aalborg

University (BUILD 2021).

²⁸ ÖKOBAUDAT 2020.

a carbon footprint perspective. Likewise, some interventions are problematic in regard to the conservation values.

Lastly, in order to compare the carbon emissions of the cases with new buildings and obtain an accurate picture, the actual energy consumption was applied²⁹, since calculated energy performances often differ from actual consumption (the so-called ‘performance gap’³⁰)³¹.

3. Systematic literature review: existing knowledge on LCA and preservation-worthy buildings

The objective of the literature review was to identify existing knowledge on the subject matter of LCA and preservation-worthy buildings. The chosen method, SLR, comprises three stages: the planning, the conducting, and the reporting and dissemination stage, all of which are subdivided into nine phases. Moreover, a protocol keeps track of relevant decisions, thus securing objectivity and transparency³².

3.1 Approach

Initially, the review was operationalised with this research question: what knowledge exists about preservation-worthy buildings, their components, and building materials compared to the CO₂ equivalents of new building materials in a life cycle perspective? The review was delimited to studies made in Denmark, Norway, Sweden, and England for linguistic reasons and due to several boundary conditions that make the studies somewhat comparable. Based on the research question, relevant search strings and databases were selected, leading to the identification of 1290 results (Fig. 3).

After the identification, each publication (i.e. reports, journal papers, ‘grey literature’, etc.) was screened using the first category of “Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of Life Cycle Assessment Data” (STARR-LCA), which assesses the relevance based on title, key words, and abstract³³. A publication was considered relevant if it concerned all of the three themes: 1) conservation values in buildings; 2) LCA; 3) references to the geographical and linguistic delimitation. The screening was conducted in either Covidence³⁴ or Excel by at least two people, ranking the publication A (yes), B (maybe), or C (no). Publications given two A’s were incorporated, and two C’s were discarded. B’s and mixed assessments were reassessed by a third person. This process led to 101 incorporated publications.

The incorporated publications were read and commented on using an assessment form, ranking them A, B and C. A’s were regarded as core material and C’s were

²⁹ KRISTENSEN, PETERSEN 2021.

³⁰ SUNIKKA-BLANK, GALVIN 2012; BERG, FUGLSETH 2018.

³¹ This chapter is based on PETERSEN *et al.* 2021, pp. 10-14, 35-79.

³² TRANFIELD *et al.* 2003, pp. 214-215.

³³ ZUMSTEG *et al.* 2012, p. 15.

³⁴ Covidence is a screening program for systematic review management.

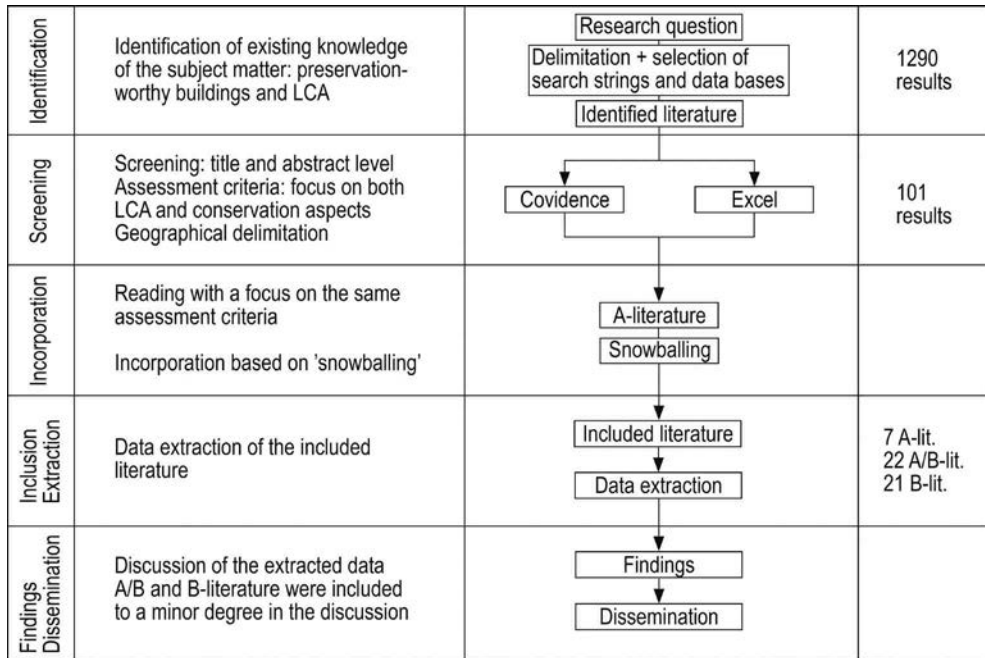


Fig. 3. Method of the systematic literature review (da PETERSEN *et al.*, p. 16).

discarded. Some publications ranked as A/B or B were included if they were to some extent concerned with the research question, e.g. comments or discussions. In parallel with the readings, supplementary literature searches were conducted (the so-called snowball approach³⁵). This phase resulted in 7 A publications, 22 A/B publications, and 21 B publications. The latter ones were to a minor degree included in the study.

Data extraction from the A publications was carried out by metabolizing the assessment form into keywords and main points within the categories: building type, conservation values, values assessment method, LCA, LCA phases/modules, type of intervention, conclusions, and 'other'.

3.1.1 Sources of errors

In relation to the SLR, a number of possible sources of errors can be pointed out. First, it is possible that the translation of the search strings from Danish may have been unprecise. In contrast to e.g. medical research, building research is not compiled into one single database. As a result, some databases with relevant material may not have been included in the review for reasons of time. Relatedly, searches were conducted in databases that Aarhus University and Aarhus School of Architecture have

³⁵ WOHLIN 2014.

access to³⁶. Concerning the screening, it can be difficult to assess the relevance based on titles, keywords, and abstracts, as keywords may be unprecise. Even though the work in Covidence and Excel was carried out as homogenously as possible, manual errors cannot be entirely ruled out.

3.2 Main findings of the SLR

The review found seven A publications (scientific articles and reports, and one publication authored by building stakeholders) relevant to the subject matter. Yet, the focus was mainly on either LCA or conservation values instead of the connection between the two. Thus, knowledge on this particular subject matter is scarce and indicates a lack of interdisciplinary collaboration between the fields.

Generally, the A literature indicates that carbon emissions from the renovation of existing buildings are lower compared to new buildings, since the upfront carbon emission of the latter is not compensated by reduced emissions in the operational phase. Consequently, higher emissions from the operational phase of historic buildings compared with new building do not justify demolition of the former. Therefore, rebuilding and energy-efficiency renovations may provide an alternative to new low-energy building³⁷. The studies do, however, not look into how the renovation work affects the conservation values of the buildings in question. Furthermore, results from one context cannot be transferred to another due to the local mix of energy supply.

Several studies point to the discussion of conservation values and architectural quality in connection with life cycle perspectives, though this is not proved in LCA calculations³⁸. The development of a tool that takes its starting point in LCA and EPD's and enables value assessments for repairs and the conservation of preservation-worthy buildings has been the topic of a specific study³⁹, but no method or approach has been tested.

The role of the original fabric (i.e. original materials, crafts, details, patina, and building historic traces) is substantial in terms of sustaining the conservation values⁴⁰. Cecilie Flyen, Anne-Cathrine Flyen and Selamawit Mamo Fufa stressed that there are very few EDP's on historic materials and niche products⁴¹, a fact that may cause distortion regarding the correct choice of materials in LCA calculations.

The studies demonstrate a lack of consensus on the LCA calculations, as stages and modules are included differently and study reference periods vary. This lack of consensus is pointed out by Selamawit Mamo Fufa, Christoffer Venås and Cecilie Flyen, who call for transparent and comprehensive LCA calculations. Freja Nygaard

³⁶ The searched databases are Web of Science, Engineering Village, Scopus, Elsevier (ADK, AAU, AU, KU, RUC, SDU, and DTU), Bibliotek.dk, Realdania, Opengrey.eu, Swepob.kb.se and Cristin.no.

³⁷ Fufa *et al.* 2020; BERG, FUGLSETH 2018; BERG 2016.

³⁸ LOLI, BERTOLIN 2018.

³⁹ FLYEN *et al.* 2019.

⁴⁰ EXNER 2007.

⁴¹ FLYEN *et al.* 2019.

Rasmussen and Harpa Birgisdóttir also emphasise that a uniform LCA approach to renovation is non-existent⁴².

Lastly, the review shows that studies rarely relate to the uncertainties connected with the choice of environmental data, although there are significant differences between specific and generic data⁴³. Moreover, LCA results are presented without uncertainties, despite the uncertainties connected with environmental data, study reference periods, operational energy, etc. In an energy-efficiency renovation of an existing building in Norway, the measured energy consumption during the operational phase changed the conclusion from new building having the lower carbon footprint to new building having a 10% higher carbon footprint in a study reference period of 60 years⁴⁴. As a result, user behaviour and user preferences should be included as a general uncertainty in order to figure in the so-called rebound effect⁴⁵.

4. *The building stock*

As mentioned, the building stock in the research project is not protected by the state administration. The buildings either belong to the category of protection called 'preservation-worthy buildings', managed by the municipalities and having a SAVE value from 1-6, or they do not belong to any preservation category and are, thus, not protected at all. In spite of this, there is an unspoken agreement in the field of architectural conservation that modernist multi-storey houses from 1930-1974 contain architectural values as well as cultural and historical values of a certain quality. Keeping in mind the expected number of these buildings that are to be renovated (for energy-efficiency) in the future, it is important to articulate and communicate their architectural values and include this information in the processes prior to the renovations. Consequently, the purpose of this chapter is to investigate circumstances relating to modernist multi-storey buildings from 1930-1974 in a chosen municipality in Denmark. The study aims to learn about the energy consumption in the preservation-worthy buildings, as well as other buildings, in order to examine whether there are significant differences that might lead to a heightened focus on reducing energy consumption.

All data used in the scientific research is from Statistics Denmark, Bygnings- og Boligregisteret (BBR), and FBB⁴⁶. Preliminary data shows that the entire number of multi-storey houses in Denmark represents 20% of the entire built-up area, measured in square meters (*Fig. 4*). Therefore, the building category symbolises on fifth of the total building area in Denmark, comprising approximately 31,700 buildings. This indicates a significant potential for multi-storey buildings to contribute to global goals of

⁴² FUFU *et al.* 2020; RASMUSSEN, BIRGISDÓTTIR 2016.

⁴³ LASVAUX *et al.* 2015.

⁴⁴ BERG, FUGLSETH 2016.

⁴⁵ This chapter is based on PETERSEN *et al.* 2021,

pp. 15-24.

⁴⁶ STATISTICS DENMARK 2021; VURDERINGSSTYRELSEN 2021; SLOTS- OG KULTURSTYRELSEN 2021.

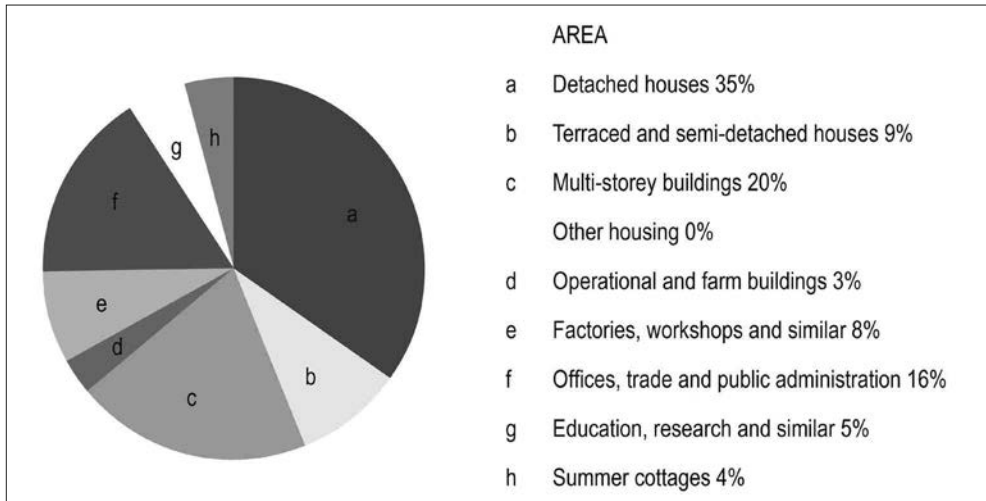


Fig. 4. Percentage area distribution of the primary building typologies in Denmark (da PETERSEN *et al.*, p. 25).

reducing the climate impact. The focus of this paper is the preservation-worthy multi-storey buildings from 1930-1974, 1080 buildings in total. The buildings have been evaluated by SAVE and are categorised as having a high conservation value; however, as mentioned, they are not listed and protected by the state. To set up a geographical boundary for the research study, the municipality of Lyngby-Taarbæk, near Copenhagen, was chosen. In this area we find a comprehensive spread of buildings in the defined category of the research project and, furthermore, they have officially been SAVE assessed. In many other municipalities in Denmark, only buildings constructed before 1940 have been assessed due to the limit that is part of the SAVE system.

Concerning this younger architectural heritage, there is a lot of work ahead in terms of registration and understanding both the values and potentials, especially for the discussion of the climate impact. First, the authorities have not (yet) presented a strategy for the conservation and protection of the welfare society's architecture, and the 50-year limit for listing buildings in Denmark means focusing on conservation values in modern architecture is a relatively new concern. One of the main challenges is that the building culture of the welfare society – in contrast to the older building culture – constitutes a very large group of buildings, which the current conservation management systems in Denmark is unable to handle.

In Lyngby-Taarbæk Municipality, there are 44 preservation-worthy multi-storey buildings constructed in the period 1930-1974. The primary heat source across all building typologies in Denmark is district heating, followed by natural gas and oil. Multi-storey housing built from 1930 to 1974 is no exception, as 87% of these buildings are heated by district heating. The rest are heated with natural gas (7%), oil (4%) or by other heating systems (1%). Lyngby-Taarbæk Municipality stands out by using

more natural gas than the national average: 67% use district heating, 28% use natural gas, and 4% use oil. The measured energy consumption from the BBR database has been analysed to investigate whether preservation-worthy buildings represent a particularly large climate impact in relation to buildings outside preservation categories. No results in this research project suggest that the category of preservation-worthy multi-storey housing should have a significantly different energy consumption than other buildings. The fact that the energy consumption is largely the same for preservation-worthy buildings and buildings not included in conservation categories might indicate that the preservation-worthy buildings have already been subjected to energy efficiency renovation at the same level as other buildings. This can be interpreted as meaning that the restrictions on preservation-worthy buildings do not necessarily reduce the possibilities for energy efficiency renovation. Nevertheless, it must be pointed out that buildings may have been designated as preservation-worthy late in their lifetime, and that major renovations may have been carried out prior to this research project, for which reason considerations about conservation have come about later than the renovation. Another reason may be that more far-reaching energy efficiency renovations on buildings not belonging to any conservation category are not profitable, for which reason the same energy renovation interventions are carried out regardless of the conservation value. One challenge of working with preservation-worthy buildings in Denmark has been incomplete databases. Many municipalities have their own systems for this purpose, for which reason they have not reported information to the national FBB database. As a result, the database is far from able to provide a comprehensive overview of preservation-worthy buildings and, thus, it is not possible to calculate the total energy consumption of these buildings on a national level⁴⁷.

5. Case studies

The objective of the fictitious case studies is to provide specific examples of how carbon emissions of preservation-worthy buildings can be reduced by applying the initiatives outlined in section 2.1.4 and to investigate whether such renovations have lower climate impacts compared with new buildings. This chapter introduces the method, investigates one case (a common building type and representative findings), and elaborates on the overall findings of the four cases.

The choice of the four cases is reflected by the following criteria: 1) the building must be a multi-storey housing estate constructed between the years 1930-74; 2) the building must be situated in the municipality of Lyngby-Taarbæk; 3) the building must have been subject to a SAVE assessment and appointed worthy of preservation by the municipality; 4) the building must be registered in the FBB-database; 5) the building techniques must be consistent with the selected building technical and archi-

⁴⁷ This chapter is based on PETERSEN *et al.* 2021, pp. 25-34.

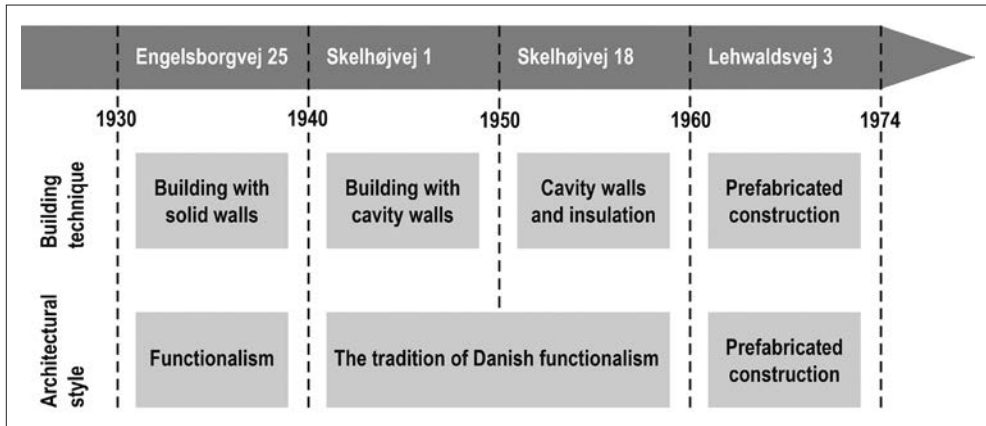


Fig. 5. The dispersion of the selected cases in regard to construction years, building techniques and architectural styles (da PETERSEN *et al.*, p. 76).

tectural periods (Fig. 5-6) a complete year's data of heat consumption (+/- one week) must be available for the building in question.

Initially, the case selection considered cases with a 'high conservation value' (SAVE 1-3), yet neither of these cases met all the criteria. Instead, it was possible to identify four buildings rated as having 'medium conservation value' (SAVE 4-6) that met all the selection criteria, and they were selected as cases despite the initial aim of selecting buildings with a 'high conservation value'. As a result, the selected cases; were processed as having 'high conservation value' in the case studies. Prior to the studies, current energy consumptions were investigated to allow for degree days' correction, and earlier energy renovations examined to ensure the relevance of the cases.

5.1 Engelsborgvej 25

This U-shaped multi-storey housing estate was built in 1935 with yellow brick solid walls and a yellow tiled hipped roof (Fig. 6). Each of the slightly curved corners of the street façade has two long, plastered balconies. Moreover, the windows and doors of the street façade are accentuated with protruding brick framings (Fig. 7). Both the base and the topmost part of the façade have soldier courses. The windows facing the garden have arches (Fig. 8), whereas the street-facing windows have reinforced brick lintels, which is typical of the architecture of the period. After the time of construction, the windows have been replaced with double glazing uPVC, the doors with aluminium-framed ones, and several lintels have been replaced.

According to the SAVE assessment, the building ranks five, which corresponds to a medium conservation value. Its architectural values include the original, architectural elements that support the functionalist style, such as the masonry and its details, the tiled roof with the low roof pitch, and the curved façade with the balconies. The cultural-historical values are manifested in the elements typical of this building practice



Fig. 6. Lyngby-Taarbæk, front façade of Engelsborgvej 25 (Photo H. Høyer Mikkelsen).

and style. A particular detail is the reinforced brick lintels that improved on contemporary building by enabling larger windows. The environmental values are connected with the scale and low roof pitch, which match the neighbourhood. Moreover, the building supports the course of the Buddingevej road. The building has a high originality value due to the many preserved elements and details, yet the new doors and windows detract from this value. Lastly, the overall state of the building is fine, but the masonry needs repair, in particular in relation to elements such as balconies and entrances. It is important to note that the SAVE assessment was done in 1999, and conditions may have changed since then⁴⁸. In relation to the conservation values, we would like to outline the following suggestions. Windows should be replaced with new ones that have the same subdivisions, yet with slender wooden casements, due to the material (uPVC) and clumsy proportions of the current ones that lower the architectural expression, and thus the conservation value. Similar conditions apply to the doors. For reasons of aesthetics and architecture that would benefit the conservation value, uPVC gutter and downpipes should be replaced with new ones made of zinc. Such a replacement would, however, effect the environmental report in a negative manner and would consequently not be made until the technical lifetime had expired⁴⁹.

⁴⁸ SLOTS- OG KULTURSTYRELSEN 2021.

⁴⁹ The technical lifetime depends on the quality

of materials, design, workmanship, interior and exterior impacts, use, maintenance, etc.



Fig. 7. Lyngby-Taarbæk, Engelsborgvej 25, front façade with the protruding brick framings (Photo H. Høyer Mikkelsen).



Fig. 8. Lyngby-Taarbæk, garden façade of Engelsborgvej 25 (Photo H. Høyer Mikkelsen).

In this case, suggestions for energy renovations comprise several interventions (Fig. 9). Changing the heat supply from natural gas to district heating holds a large potential for reducing carbon emissions according to the general, generic calculations made as a prerequisite for the case studies. In the floor of the roof construction, 135 mm construction foam should be removed and replaced with 350 mm mineral wool, as this thickness would lead to the largest reduction of carbon emissions. Likewise, interior re-insulation (350 mm secondary wall) is suggested, as this solution provides the highest reduction of carbon emissions without compromising the conservation values of the facades. With the exception of the suggested change of heat supply, this intervention provides the highest reduction of carbon emissions measured per square metre of heated floor space. The floor structure towards the unheated basement could be insulated with 250 mm mineral wool, yet this intervention would reduce the floor-to-ceiling-height of the basement undesirably. Suggestions also include replacing the current uPVC windows with new triple glazing wooden windows in line with the recommendations concerning conservation values. This would also reduce carbon emissions considerably. Finally, central mechanical ventilation is suggested, because we believe this would affect the conservation values to a smaller degree than a decentral solution with a lower carbon emission (Fig. 10).

Period	1930-39	
Building	Engelsborgvej 25 (year of construction: 1935 / 31 apartments / heated square footage: 3093 m ²)	
	Existing conditions	Interventions
Heat supply	Natural gas	Replaced with district heating
Roof	As reference of this period + 125 mm construction foam	Removal of construction foam Re-insulation with 350 mm mineral wool
Outer wall	Solid wall (as reference of this period)	Re-insulation with 350 mm mineral wool (secondary stud wall)
Floor structure	Tier of beams, plastered ceilings (as reference of this period)	Re-insulation 250 mm mineral wool towards unheated basement
Windows	Double glazing uPCV windows	Triple glazing wooden windows
Ventilation	Natural ventilation plus user controlled extraction device in kitchen and bathroom	Mechanical ventilation (central)

Fig. 9. Suggestions for interventions in Engelsborgvej 25 (da PETERSEN *et al.*, p. 85).

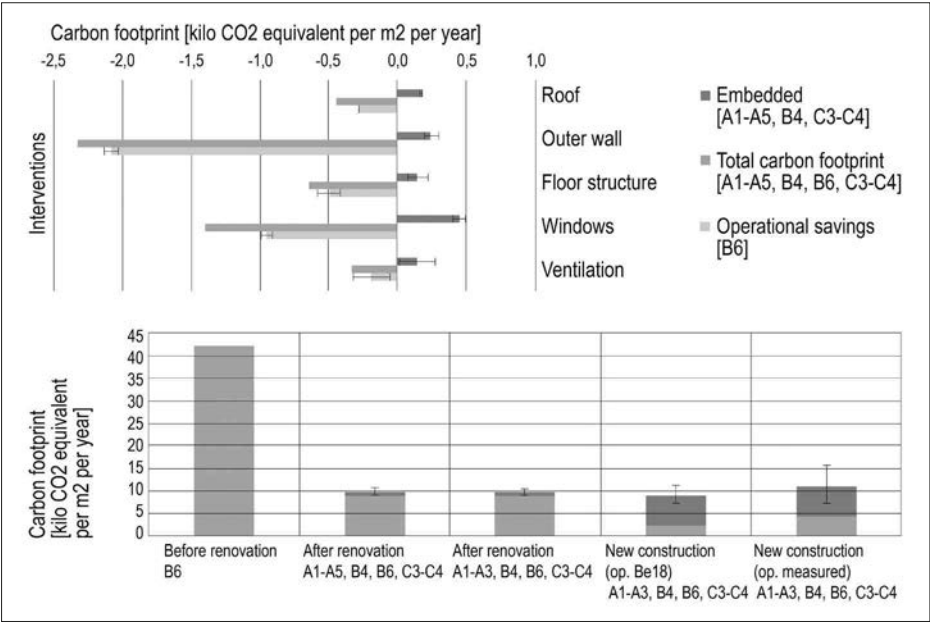


Fig. 10. Top: carbon emission (embedded, operational and total) of the suggested interventions in Engelsborgvej 25 excluding change of energy supply. Bottom: comparison of the carbon footprint of Engelsborgvej 25 with new construction (different scenarios). The whiskers indicate uncertainties (da PETERSEN *et al.*, p. 87).

5.2 Findings of the four case studies

Three of the case studies demonstrated that it was possible to reduce carbon emissions to a realistic level for new buildings by means of several interventions that sustained or enhanced the conservation values of the buildings in questions. It is, however, inconclusive whether renovation or new building has the lower carbon emissions when the uncertainties are taken into consideration. Demolition was not included in the new building scenario, which would probably have made renovation the better choice. One case showed an abnormally high heat consumption that ought to be clarified before further studies.

These studies show that energy performance calculations should not be used as data for the actual energy consumption of buildings. Such an approach may lead to erroneous conclusions about new buildings having a lower carbon footprint than renovating an existing building, when the uncertainties are not included. Instead, carbon footprints should be based on either measured data from a comparable building or simulations in which standardised assumptions are substituted with realistic conditions for the building in question. The problems related to calculated energy performance data and the performance gap are discussed by Minna Sunikka-Blank and Ray Galvin, and also supported by the findings in the case study of Villa Dammen by Fredrik Berg and Mie Fuglseth⁵⁰.

Concerning the particular interventions, changing the heat supply from natural gas to district heating is a critical intervention for the existing buildings to match the carbon footprint of new building. The impact and choice of other interventions depend on the building in question.

Case 1 and 4 showed a convergence between interventions that enhance the conservation values and lower the carbon footprint. Consequently, conservation values and climate optimisation are not opposites. Lastly, it is important to note that not all interventions that enhance conservation values lead to a reduced carbon footprint⁵¹.

6. Discussion and findings

This chapter discusses and concludes on the research project. Additionally, reflections and future perspectives on the results are presented.

The literature review looked into connections between LCA and preservation-worthy buildings. It identified 1290 publications, of which only seven were included as core material. Consequently, it was concluded that there was a lack of interdisciplinary research into the subject matter. And, in general, the literature does not examine the impacts on the conservation values of a building in cases of renovation. Scientific studies on LCA and renovation in Northern Europe indicate that the renovation of existing buildings mainly has a lower carbon footprint compared with leaving the buildings as they are or demolishing and constructing new ones. Such a conclusion is, however, dependent on the local energy mix.

⁵⁰ SUNIKKA-BLANK, GALVIN 2012; BERG, FUGLSETH 2018.

⁵¹ This chapter is based on PETERSEN *et al.*, 2021, pp. 76-109.

Additionally, the review surveyed several knowledge gaps, e.g. lack of consensus on the LCA calculations for the renovation of preservation-worthy buildings as well as the study reference periods in regard to renovation, the lack of knowledge about the use stage (B-stage), the absence of tools that can combine LCA assessments and assessments of conservation values, and the lack of LCA data.

In conclusion, there is a distinct need for more interdisciplinary studies in which methodological approaches and procedures are developed and tested with the aim of reducing the carbon emission of preservation-worthy buildings. Relatedly, an increased interdisciplinary focus on conservation theory and discussions about the space of negotiation with regard to the maintenance, support and reestablishment of conservation values is required. Concerning the many different research databases, we recommend setting up a complete database of building research.

The findings of the research into the building stock pointed out that the energy consumption of preservation-worthy multi-storey buildings does not stand out from other building types. The differences in energy consumption between preservation-worthy and not preservation-worthy buildings of this period (1930-39) are marginal and not statistically significant. Consequently, there is nothing in the current data to support that preservation-worthy multi-storey buildings should have a significantly different energy consumption than other housing buildings from the same period. Moreover, the comparable energy consumption of the two types of buildings indicates that the preservation-worthy buildings have already been subjected to energy efficiency renovation to the same extent as the not preservation-worthy buildings.

Therefore, evidence supports the conclusion that the energy consumptions of respectively preservation-worthy buildings and not preservation-worthy buildings do not differ from each other. Furthermore, the energy consumption of the preservation-worthy buildings only represents a small proportion of the buildings of the period. Lastly, this chapter concludes that designation and registration of preservation-worthy buildings in Denmark is deficient, which poses a challenge to a nationwide evidence-based elucidation of data.

The delimited LCA calculations of selected energy efficiency interventions of this study indicate that the carbon footprint, with a few exceptions, can be compensated by reducing carbon emissions in the operational phase. The calculations looked into five types of interventions in the building, namely 'exterior wall', 'roof', 'floor structure above unheated basement', 'windows' and, 'ventilation'. Additionally, changing the heating source was examined. Generally, the LCA calculations show that what is the most efficient solution depends on several factors such as the type of building, the location of the intervention, the choice of material, etcetera. Consequently, the optimal solution for e.g. insulation is not necessarily consistent with the minimum requirements for U-values in the Building Regulations⁵². Therefore, the choice of interventions should always be assessed in a life cycle perspective based on the properties

⁵² SOCIAL- OG BOLIGSTYRELSEN 2023b.

of the existing building, including its conservation values. Moreover, it is important to include all the uncertainties that are embedded in the LCA.

Conservation values and climate optimisation are not necessarily opposites. Two of the four case studies indicate that it is possible to achieve considerable reductions in the carbon emissions and, at the same time, strengthen a building's overall conservation values. However, the case studies also showed that not all interventions that strengthen the conservation values of a building lead to a reduction of carbon emissions. The literature review indicates that renovating existing buildings mostly results in a lower carbon footprint than leaving the buildings as they are or demolishing buildings and building new buildings instead. This result was consistent with three out of four case buildings. Yet, if the uncertainties of the data are taken into account, it is unclear whether renovation or new building has the lower carbon footprint. In one case study, it was not possible to achieve a lower carbon footprint through renovation compared with building a new building. It should be noted that the calculations for renovation interventions that led to reduced carbon emission during the operational phase are based on simplified considerations, which may affect the result. Conclusively, renovation with the purpose of reducing the carbon emissions of preservation-worthy buildings is a task that requires case-specific interdisciplinary analyses to ensure that interventions lead to reduced carbon emissions without compromising the conservation values⁵³.

If such analyses are carried out prior to the renovation, it is, in some cases, possible to reduce the carbon footprint of buildings, while maintaining or enhancing the conservation values of the building.

6.1 *Reflections and future perspectives*

Based on this study, it would seem logical to look into how preservation-worthy buildings may contribute to reducing carbon emissions. Related issues concern how and why preservation-worthy buildings should be included and their contribution. How far should we go to make these buildings 'acceptable' in terms of carbon emissions?

This study argues that energy-efficiency interventions should be assessed for their potential to reduce the carbon footprint as well as the extent of the intervention and its impact on conservation values. Including the building culture (i.e. architectural heritage) in efforts to reduce the climate impact inevitably means that an approach must be based on a professional, methodical assessment of possible interventions with a point of departure in the primary conservation values of the building in question. It is important to note that it may not be possible to reduce carbon emissions for preservation-worthy buildings as much as for buildings without any conservation values,

⁵³ This conclusion is supported by HERRERA-AVELLANOSA *et al.* 2020.

as extensive interventions may decrease the quantity and quality of architectural and cultural-historical values of our physical surroundings.

Three of the four case studies indicated that from an LCA perspective renovating buildings to accommodate conservation values may be as good, or possibly better than, building new. Due to uncertain data, it is not possible to conclude whether this is actually the case. However, if demolition is included in the LCA calculations for new building, carbon emissions increase, and renovation is highly likely to be the better choice in many cases. Moreover, new building results in high carbon emissions during the construction stage due to upfront carbon, whereas this is limited in renovation. For the purpose of reducing current carbon emissions, renovation appears the better choice.

In the discussion on preservation-worthy buildings and climate impact, it is important to note that preservation-worthy buildings contribute to society with immeasurable building cultural values such as appearance, materiality, temporality, and authenticity. In the field of architectural heritage, these values are considered irreplaceable and of great importance to the human understanding of identity and being⁵⁴. Including architectural heritage in efforts to reduce climate impacts is likely to lead to conflicts of interest. Relatedly, there is a lack of knowledge about the effects of architectural qualities and cultural-historical values on the lifetimes of buildings and the subsequent influence on user behaviour concerning several aspects, e.g. economy, indoor climate, renovation, maintenance, and preserving quality⁵⁵.

There might be an advantage in developing the space of negotiation as a context for discussions of interventions and renovation strategies. These inclusions might contribute to an interdisciplinary approach to building renovation and life cycle assessments. When factual calculations and preservation values need to be assessed for a specific building, making an overall assessment that includes both building culture and climate is not possible using the methods that are currently available⁵⁶.

7. Conclusion

This study initiated the investigation of connections between LCA and preservation-worthy buildings. An extensive literature review was carried out, concluding that knowledge about the subject matter was very scarce. Next, the study explored the share of preservation-worthy buildings of the total climate impact of existing buildings. According to the available data, there was no significant difference. As a basis for the case studies, LCA calculations on different energy-efficiency interventions in the building stock were carried out. These calculations showed that the optimal solution for e.g. insulation is not necessarily consistent with the minimum requirements for U-values in the Building Regulations, and that the choice of interventions should always be assessed from an LCA perspective, taking the properties of the existing

⁵⁴ ICOMOS 1964; ICOMOS 1994.

⁵⁵ NYGAARD 2006; CHRISTOFFERSEN 2007.

⁵⁶ This chapter is based on PETERSEN *et al.* 2021, pp. 108-111.

building and its conservation values into account. Lastly, the four case studies were carried out with a view to examining climate impacts of renovations compared with new building. The findings were not unequivocal, yet the building culture appears to hold the potential to contribute to a reduction of climate impacts.

Recently, this study has become more topical due to the new EU building directive on energy-efficiency renovations of millions of buildings. As already mentioned, knowledge of this subject matter is very scarce, several knowledge gaps have been identified, there is a lack of interdisciplinary collaboration, and inalienable conservation values are at stake. Consequently, there is a need for more research.

Acknowledgements

The authors wish to thank Realdania, Aarhus University, and Aarhus School of Architecture for financing the report. Moreover, the authors thank the rest of the research team; Steffen Petersen, Jacob Daugaard Buhl, Louise Østergaard Pedersen, Henriette Ejstrup Andersen and Mette Boisen Lyhne.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- ADAMS *et al.* 2019: M. Adams, V. Burrows, S. Richardson, *Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon*, World Green Building Council, London-Toronto, 2019
- BEIM *et al.* 2019: A. Beim, H. Ejstrup, L.K. Frederiksen, L. Hildebrand, U.S. Madsen, P. Munch-Petersen, S.R. Sköld, *Circular construction: materials, architecture, tectonics | Cirkulært byggeri: materiale, arkitektur, tektonik*, Royal Danish Academy of Fine Arts, København 2019
- BERG 2016: F. Berg, *Using the life cycle analysis approach for decision and policy support concerning built cultural heritage: Norwegian case studies*, in M. de Bouw, S. Dubois, L. Dekeyser, Y. Vanhellemont (a cura di), *Energy Efficiency and Comfort of Historic Buildings (EECHB)*, second international conference (Brussels, 19th-21st october 2016), Flanders Heritage Agency, Brussels 2016, pp. 68-74
- BERG, FUGLSETH 2018: F. Berg, M. Fuglseth, *Life cycle assessment and historic buildings: energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway*, in «Journal of Architectural Conservation», XXIV, 2018, 5, pp. 152-167
- BUILD 2021: BUILD, *LCabyg*, 2021, <<https://www.lcabyg.dk/da/>> [7/9/2023]
- CHRISTOFFERSEN 2007: L.K. Christoffersen, *Arkitektonisk kvalitet*, Arkitektskolen Aarhus, Aarhus 2007
- DAHL *et al.* 2015: T. Dahl, J. Holt, L.U. Carlsen, G. Simonsen, *Vejledning: Til kommunal sagsbehandling af byggesager med energitiltag i bevaringsværdige bygninger*, 2015, <<https://www.gate21.dk/wp-content/uploads/2016/02/ESaveRapportFINAL.pdf>> [7/9/2023]
- DANNEMAND FROST *et al.* 2014: E. Dannemand Frost, L.W. Havelund, M. Kloppenborg, T.V. Rasmussen, *Klimatilpasning af ældre etagebebyggelser: en vejledning*, KAB, s. l., 2014, <https://www.klimatilpasning.dk/media/1588141/klimatilpasning_af_ldre_almene_etagebebyggelser__en_vejledning.pdf> [7/9/2023]

- EUROPEAN PARLIAMENT 2019-2024: European Parliament, *Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the energy performance of buildings (recast)*, 2023, <https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2023-0068_EN.pdf> [7/9/2023]
- EXNER 2007: J. Exner, *Den historiske bygnings væren på liv og død*, in E. Braae, M. F. Hansen (a cura di), *Fortiden for tiden: genbrugskultur og kulturgenbrug i dag*, Arkitektskolen Aarhus, Aarhus 2007, pp. 56-73
- FLYEN *et al.* 2019: C. Flyen, A.C. Flyen, S.M. Fufa, *Miljøvurdering ved oppgradering av verneverdig bebyggelse*, SINTEF, 2019, <<https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2617626>> [7/9/2023]
- FUFA *et al.* 2020: S.M. Fufa, C. Venås, C. Flyen, *Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede*, SINTEF, 2020, <<https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2719890>> [7/9/2023]
- HERRERA-AVELLANOSA *et al.* 2020: D. Herrera-Avellanosa, F. Haas, G. Leijonhufvud, T. Brostrom, A. Buda, V. Pracchi, A.L. Webb, W. Hüttler, A. Troi, *Deep renovation of historic buildings: The EIA-SHC Task 59 path towards the lowest possible energy demand and CO2 emissions*, in «International Journal of Building Pathology and Adaptation», 38, 2020, 4, pp. 539-553, <<https://doi.org/10.1108/IJBPA-12-2018-0102>> [7/9/2023]
- ICOMOS 1964: ICOMOS, *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites (The Venice Charter 1964)*, 1964, <<https://www.icomos.org/en/participer/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/157-thevenice-charter>> [7/9/2023]
- ICOMOS 1994: ICOMOS, *The NARA Document of Authenticity*, 1994 <<https://www.icomos.org/en/charters-and-texts/179-articles-en-francais/ressources/charters-and-standards/386-the-nara-document-on-authenticity-1994>> [7/9/2023]
- IPPC 2023: IPCC, *AR 6th Synthesis Report: Climate Change 2023*, IPCC, Geneva, 2023
- KANAFANI *et al.* 2019: K. Kanafani, R.K. Zimmermann, H. Birgisdottir, F.N. Rasmussen, *LCA i tidlig bygningsdesign: Introduktion til metoden og eksempler på miljøprofiler*, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2019
- KRAUL 2023: M. Kraul, *Sagen forfra: Sådan blev isolerings-tsunami mod tusindvis af historiske bygninger bremsed*, in «Byrummonitor», 10/2/2023, <<https://byrummonitor.dk/Nyheder/art9206580/Sådan-blev-isolerings-tsunami-mod-tusindvis-af-historiske-bygninger-bremset>> [7/9/2023]
- KRISTENSEN, PETERSEN 2021: M.H. Kristensen, S. Petersen, *District heating energy efficiency of Danish building typologies*, in «Energy & Buildings», 2021, 231, <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110602>> [7/9/2023]
- KULTURARVSSTYRELSEN 2011: Kulturarvsstyrelsen, *SAVE: Kortlægning og registrering af bymiljøers og bygningers bevaringsværdi*, København 2011, <https://slks.dk/fileadmin/user_upload/kulturarv/fysisk_planlaegning/dokumenter/SAVE_vejledning.pdf> [7/9/2023]
- LASVAUX *et al.* 2015: S. Lasvaux, G. Habert, B. Peuportier, J. Chevalier, *Comparison of generic and product-specific Life Cycle Assessment databases: application to construction materials used in building LCA studies*, in «The International Journal of life-cycle assessment», 20, 2015, pp. 1473-1490, <<https://doi.org/10.1007/s11367-015-0938-z>> [7/9/2023]

- LOLI, BERTOLIN 2018: A. Loli, C. Bertolin, *Towards Zero-Emission Refurbishment of Historic Buildings: A literature Review*, in «Buildings», 8, 2018, <<https://doi.org/10.3390/buildings8020022>> [7/9/2023]
- NYGAARD 2006: N.P. Nygaard, *Arkitektonisk kvalitet*, Arkitektskolen Aarhus, Aarhus 2006
- PETERSEN *et al.* 2021: S. Petersen, J.D. Buhl, L.D. Pedersen, B.T. Eybye, H. Ejstrup, M.B. Lyhne, M.A. Morgen, N.V. Riis, *Bygningskultur og klima*, Realdania, Aarhus 2021
- RASMUSSEN, BIRGISDOTTIR 2016: F.N. Rasmussen, H. Birgisdottir, *Life Cycle Environmental Impacts from Refurbishment Projects – A Case Study*, in K. Sojkova, J. Tywoniak, A. Lupisek, P. Hajek (a cura di), *CESB – Central Europe Towards Sustainable Building 2016: Innovations for Sustainable Future*, Grada Publishing, 2016, pp. 277-284
- RØNHOLT *et al.* 2019: J. Rønholt, L.C.M. Eberhardt, M. Birkved, H. Birgisdottir, N. Bey, *Tracing the environmental impact origin within the existing building portfolio of prevailing building typologies*, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 352, 2019, DOI 10.1088/1755-1315/352/1/012065
- SLOTS- OG KULTURSTYRELSEN 2021: Slots- og Kulturstyrelsen, *Fredede og bevaringsværdige bygninger [FBB]*, 2021, <<https://www.kulturarv.dk/fbb/index.htm;jsessionid=838786DA969BE9F60EC5AC21AE-35FEA6>> [7/9/2023]
- SOCIAL- OG BOLIGSTYRELSEN 2023A: Social- og Boligstyrelsen, *Den frivillige bæredygtighedsklasse: Introduktion til kravene*, Aarhus 2023, <<https://baeredygtighedsklasse.dk/2-introduktion-til-kravene/baeredygtighedsklassen-set-i-forhold-til-br->>> [7/9/2023]
- SOCIAL- OG BOLIGSTYRELSEN 2023B: Social og Boligstyrelsen, *Bygningsreglementet.dk*, 2023, <<https://bygningsreglementet.dk>> [8/9/2023]
- STATISTICS DENMARK 2021: Statistics Denmark, <<https://www.dst.dk/en/>> [7/9/2023]
- SUNIKKA-BLANK, GALVIN 2012: M. Sunikka-Blank, R. Galvin, *Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption*, in «Building Research & Information», 40, 2012, 3, pp. 260-273, <<https://doi.org/10.1080/09613218.2012.690952>> [7/9/2023]
- TRAFIK-, BYGGE- OG BOLIGSTYRELSEN 2021: Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, *Historisk bygningsreglement (BR61 – BR15)*, 2023, <<https://historisk.bygningsreglementet.dk/tidligere-bygreg/0/40>> [7/9/2023]
- TRANFIELD *et al.* 2003: D. Tranfield, D. Denyer, P. Smart, *Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review*, in «British Journal of Management», XIV, 2003, 3, pp. 207-222
- VALDIMARSSON, KRISTENSEN 2021: E. Valdimarsson, F.B. Kristensen, *Bred aftale om bæredygtigt byggeri fremrykker CO₂-loft*, in «Byrummonitor», 5/3/2023, <<https://byrummonitor.dk/art8125285/Bred-aftale-om-baeredygtigt-byggeri-fremrykker-CO2-loft>> [7/9/2023]
- VURDERINGSSTYRELSEN 2021: Vurderingsstyrelsen, *BBR Bygnings- og Boligregistret*, 2021, <<https://bbr.dk/forside>> [7/9/2023]
- WITTCHEN, KRAGH 2012: K.B. Wittchen, J. Kragh, *Danish Building typologies: Participation in the TABULA project*, SBI forlag, Hørsholm, 2012
- WOHLIN 2014: C. Wohlin, *Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering*, EASE'14: proceedings of the 18th international conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, 2014, <<https://www.wohlin.eu/ease14.pdf>> [8/9/2023]

- WORM *et al.* 2016: A.S. Worm, H. Poulin, F.C. Østergaard, H. Birgisdottir, F.N. Rasmussen, S.S. Madsen, *Branchevejledning i LCA ved renovering*, Teknologisk Institut, 2016
- YIN 2014: R.K. Yin, *Case study research*, SAGE, Thousand Oaks, CA 2014
- ZUMSTEG *et al.* 2012: J.M. Zumsteg, J.S. Cooper, M.S. Noon, *Systematic Review Checklist: A Standardized Technique for Assessing and Reporting Reviews of Life Cycle Assessment Data*, in «Journal of Industrial Ecology», XVI, 2012, S1, pp. 12-21
- ÖKOBAUDAT 2020: *Ökobaudat*, 2020, <<https://www.oekobaudat.de/en.html>> [7/9/2023]

Sostenibilità e cura del patrimonio urbano: per un nuovo modello di gestione dell'efficientamento energetico nei centri storici. Un caso studio

MARIA VITIELLO

Introduzione

L'Accordo di Parigi, noto come COP21, pone ai Paesi membri delle Nazioni Unite l'obiettivo di contenere entro il 2030 l'aumento della temperatura media globale al di sotto della soglia di 2°C, in modo da riportare i livelli medi delle emissioni climateranti agli anni precedenti l'industrializzazione. L'Europa, che da tempo è impegnata in azioni di sensibilizzazione ai temi dell'efficienza energetica, si è posta un traguardo ancora più ambizioso: la neutralità climatica nell'Unione entro il 2050.

Già dal 1997, anno della Conferenza delle Nazioni Unite tenutasi a Kyoto, è risultato chiaro che sono gli edifici a consumare oltre il 40% dell'energia prodotta, per questa ragione la strategia comunitaria ha cominciato a spingere verso politiche volte alla promozione di nuovi fabbricati poco energivori e all'incentivazione dell'efficientamento energetico del patrimonio edilizio esistente.

La Direttiva 2002/91/CE, emanata proprio in attuazione degli accordi di Kyoto, e il suo recepimento in ambito italiano (D.lgs. 192/2005), può essere considerata l'inizio di quel processo di aggiornamento che ha portato verso una sempre maggiore consapevolezza di quanto i sistemi costruttivi possano migliorare i propri standard prestazionali per contribuire alla diminuzione delle emissioni climalteranti.

Dal 2005 ad oggi sono succedute varie revisioni del decreto, con ulteriori specificazioni normative in merito all'obbligatorietà dell'uso delle fonti rinnovabili (pacchetto *FitFor55*), sulla precisazione dei requisiti minimi, sulle metodologie di calcolo delle dispersioni termiche, e anche sui criteri per la predisposizione delle strategie nazionali relative alla ristrutturazione a lungo termine degli edifici esistenti. Si tratta sempre di normative quadro, all'interno delle quali ciascuno Stato afferente alla Comunità ha dovuto rispondere indicando tempi e modalità attuative attraverso la redazione del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (introdotto dal Regolamento UE 2018/1999), che rimodula, e di fatto sostituisce, il più antico Piano Energetico Nazionale introdotto dalla legge n.10 del 1991. L'aggiornamento italiano del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), emanato nel giugno 2023, riporta che sarà necessario "intervenire drasticamente sulla riduzione dei fabbisogni energetici degli edifici, attraverso interventi di riqualificazione profonda, e un incremento della

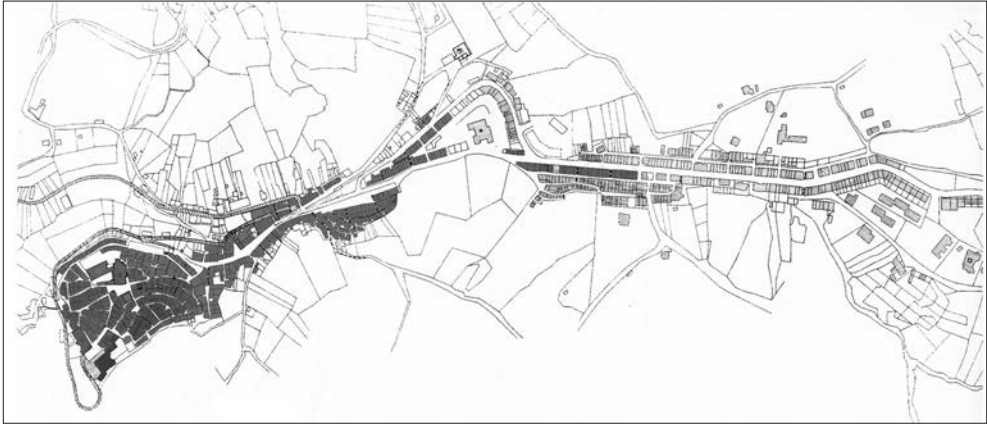


Fig. 1. Trivento (CB), planimetria catastale. Nei piccoli centri storici gli immobili costruiti in data anteriore al 1945, qui mappati in grigio scuro, e aventi l'obbligo di efficientamento entro il 2050, prevalgono sull'insieme del costruito.

diffusione di sistemi tecnici altamente performanti [...]; fabbisogni che dovranno poi essere soddisfatti prevalentemente da fonti rinnovabili”¹.

In particolare, in Italia il settore civile è responsabile di circa il 44% dei consumi finali di energia. Si tratta di un dato allarmante per l'ampiezza dei sistemi edilizi da adeguare ai nuovi standard e per l'intensità dell'impatto che le opere di efficientamento energetico potrebbero avere sul patrimonio esistente.

Per contestualizzare l'apprensione con la quale si osservano tali processi basta mettere a fuoco alcuni dati. Secondo l'Istat gli edifici italiani a destinazione d'uso residenziale risultano, ad oggi, pari a 12,19 milioni. Di questi oltre il 50% è stato realizzato da più di 45 anni, ovvero anteriormente all'approvazione della legge 373/1976, prima norma italiana sul risparmio energetico; verosimilmente, tali edifici sono perlopiù presenti nei centri storici. Di queste costruzioni, secondo il PNIEC, oltre il 25% registra consumi annuali da un minimo di 160 kWh/m² anno a oltre 220 kWh/m². Si tratta di cifre molto distanti dagli obiettivi fissati per gli edifici NZEB (*Nearly Zero Energy Building*) ad energia quasi zero, che a partire dal 2021 costituiscono un parametro obbligatorio in Italia per tutti i nuovi edifici, mentre il 2050 è il limite temporale entro cui adeguare tutto il patrimonio esistente (Fig. 1).

La lettura di questo prospetto rende evidente come per il raggiungimento degli obiettivi fissati da COP21 sia importante procedere alla riqualificazione del costruito attraverso una corretta programmazione degli interventi, un approccio che implichi anche un ripensamento dell'orientamento sinora seguito affinché il miglioramento dell'efficienza energetica nell'edilizia storica possa essere effettivamente coniugato ai principi di conservazione del costruito che innervano la disciplina del restauro, per

¹ PNIEC 2023, p. 94.

la preservazione di quei valori culturali e sociali che appartengono alla dimensione dell'architettura e della città storica².

Lo stato dell'arte, tra normativa e studi

Dal 2005 ad oggi l'attenzione al tema del miglioramento energetico ha prodotto una serie di studi che hanno anticipato e talvolta rincorso le modifiche normative periodicamente introdotte a livello nazionale e comunitario; leggi che hanno gradualmente esteso il campo d'azione dell'efficientamento energetico dai nuovi edifici al patrimonio edilizio esistente, imponendo il raggiungimento di standard sempre più elevati³. Tali ricerche hanno cercato di approfondire le tematiche energetiche sotto vari aspetti, dalla comprensione dei funzionamenti termoigrometrici degli edifici antichi⁴ allo sviluppo di soluzioni innovative nei materiali⁵, fino ai protocolli di efficientamento⁶ e alla definizione di linee guida⁷.

Per contro, la normazione italiana e comunitaria, dopo aver ampliato il bacino di riferimento, si è esclusivamente rivolta alla precisazione dei requisiti minimi di resistenza termica da assicurare alle costruzioni, alla puntualizzazione dei parametri di trasmissione delle diverse componenti architettoniche, all'aggiornamento delle procedure informatiche di calcolo⁸. Il tema dell'efficientamento energetico del patrimonio edilizio esistente, in sostanza, è sempre stato inquadrato dalla normativa attraverso il dato quantitativo dell'intervento ancorato saldamente alla tecnologia, quale "presunto strumento di 'salvezza' per ottenere elevati livelli di efficienza energetica, decise riduzioni nei consumi e un forte abbattimento degli inquinanti nell'atmosfera"⁹. Mentre, la qualità dell'e-

² Quest'ultima è un'attenzione su cui la normativa raramente ha chiamato a rispondere, benché negli ultimi documenti comunitari quali il COM (2021)0802, ancora in fase di approvazione, si cominci a notare un certo interessamento alla conservazione dei caratteri identitari e al dato figurativo dei nuovi apporti rispetto all'esistente.

³ D.lgs. 311/2006 aggiornato dal D.P.R. 59/2009 e dal D.M. 26/2009, a loro volta aggiornate dalla Legge 90/2013 sulla base dei nuovi principi emanati dalla direttiva 2010/31/UE.

⁴ All'interno dell'ampia bibliografia ad oggi disponibile, si ricordano: ROGORA 1998; CAPUTO 2007; DALLA NEGRA, AMBROGIO, ZUPPIROLI 2010; ADHIKARI, *et al.* 2011; FABBRI, ZUPPIROLI, AMBROGIO 2012; PRACCHI, LUCCHI 2013; CALZOLARI 2016.

⁵ Questo ambito della ricerca ha prodotto una serie molto vasta di prodotti innovativi; rimane, pertanto, molto difficile poter tratteggiare uno stato dell'arte. Per una breve sintesi si rimanda a: MAURI, PRACCHI 2021, oltre che alla manualistica di settore (SASSO 2007) e più in generale alle riviste

specializzate nel campo.

⁶ Qui si ricordano i protocolli sviluppati da GBC Historic Building® per gli edifici storici e dall'agenzia Casaclima.

⁷ Tra le ricerche eseguite in questo campo non possono essere dimenticati il progetto ATTESS (Azioni di trasferimento tecnologico per il miglioramento delle prestazioni energetico ambientali dell'edilizia storica secondo i criteri dell'edilizia sostenibile), condotto dal Metadistretto Veneto per la Bioedilizia e per i Beni culturali con la partecipazione di alcune università del Triveneto, oltre che le linee di indirizzo MiBACT 2015, poiché rappresentano i primi progetti di ricerca condotti in tal senso. Tra gli ultimi sviluppi si rammenta BUDA *et al.* 2021.

⁸ Si rimanda alle norme UNI TS 11300/2014 aggiornate negli anni con la pubblicazione delle UNI TS 11300-1/2/3/4 volte al recepimento degli aggiornamenti nella metodologia del calcolo delle dispersioni relativa ai carichi termici invernali ed estivi.

⁹ FRANCO, BIONDI 2011, p. 344.

dilizia storica diffusa, valutata sotto l'ottica dell'estetica compositiva, della compatibilità formale e materiale del nuovo rispetto all'esistente, ma soprattutto della conservazione dei caratteri costruttivi del costruito, è stata autonomamente considerata dai diversi operatori, i quali hanno trovato soluzioni di volta in volta adeguate attingendo alle sensibilità derivanti dalle competenze acquisite, a partire dalla formazione universitaria.

Questa situazione ha ovviamente determinato un quadro poliedrico e poco sistematizzabile di esperienze svolte sul campo. Tra queste, è possibile riconoscere cantieri talvolta indirizzati da linee di ricerca finalizzate ad assicurare la qualità dell'intervento; una qualità esprimibile sia in termini di bilanciamento delle esigenze tra conservazione ed efficientamento, sia come studio della compatibilità estetico-figurativa. Ma nella maggior parte dei casi le azioni sul patrimonio esistente si sono dimostrate prive di quella doverosa attenzione informata da criteri conservativi. Ciò è dovuto solo in parte al basso impatto che le Linee d'Indirizzo emanate dal MiBAC¹⁰ hanno avuto nel panorama italiano. Piuttosto, sembrerebbe collegato alla cogenza del beneficio economico assicurato dagli sgravi fiscali collegati al raggiungimento della prestazione prestabilita, condizione che ha generato la predominanza di interventi ad alto impatto sull'edificio, lavori in genere caratterizzati da una sostituzione massiva delle componenti edilizie esistenti, rispetto a ogni attenzione qualitativa.

L'introduzione del cosiddetto 'Ecobonus', avviato nel 2013, potenziato al 110% nel 2020 e in varia misura prorogato fino al 2025, ha esasperato questa "politica miope", che porta a prediligere un "minor dispendio di energia, a prezzo della perdita dei valori insiti nella materia antica"¹¹, finendo per implementare un approccio frammentario allo studio del costruito storico; per cui ogni architettura non solo è analizzata in sé stessa, al di fuori del contesto in cui è inserita, ma viene perlopiù interpretata come una sommatoria di parti tecniche, ciascuna implementabile in termini prestazionali attraverso la sostituzione o la modificazione del dispositivo originario. Il caso dei serramenti storici che, per il raggiungimento dei valori soglia imposti dalle norme, vengono quasi sistematicamente sostituiti con nuove tecnologie più performanti è, forse, solo la manifestazione più eclatante di un *modus operandi* ampiamente diffuso¹².

Ma le pareti esterne, i tetti, gli stessi serramenti non costituiscono solo componenti tecnologiche che qualificano l'involucro di un ambiente in rapporto al flusso di calore che li attraversa, essi sono, piuttosto, gli elementi che definiscono i caratteri identitari di un'architettura che, a sua volta, è parte del più ampio organismo della città.

Inoltre, escludere dalla valutazione energetica la complessità delle relazioni che intercorrono fra gli spazi pieni e vuoti di un sistema urbano può essere fuorviante, in quanto fa ricadere sul costruito quei problemi che, invece, afferiscono alla città e a questa scala dovrebbero essere affrontati.

¹⁰ La denominazione del Ministero della Cultura è relativa all'epoca di emanazione delle Linee d'Indirizzo.

¹¹ PRACCHI 2020, p. 22. Sul tema si vedano anche: DEL CURTO 2022; CAMPISI, COISSON, MATRACCHI, PUGLIANO 2022.

¹² Sulla conservazione dei serramenti storici la rivista «Recupero e Conservazione» dedica due numeri speciali, il 161 del 2020 e il 168 del 2021.

La normativa italiana e quella europea hanno mostrato pochi interessi per la dimensione urbana dell'efficientamento energetico degli edifici. La legge 10/91, al comma 5, per le città con popolazione superiore ai 50mila abitanti introduce lo strumento del Piano Energetico Comunale (PEC) nel quale l'amministrazione è chiamata a delineare una strategia che, in parallelo alle linee programmatiche disegnate dal PRG, misura e pianifica 'l'efficienza energetica' intesa come indicatore di qualità sia per lo sviluppo territoriale, sia per la gestione del patrimonio immobiliare pubblico, senza mai farsi carico di comprendere in quale modo la città consumi energia, né come l'uso di fonti rinnovabili possa essere compatibile con l'organismo urbano.

Nel 2008 questo strumento di pianificazione viene aggiornato quando, a livello europeo, è introdotto il cosiddetto Patto dei Sindaci (*Covenant of Mayors*). Si tratta di un'iniziativa della Commissione Europea lanciata per riunire in una rete permanente le città che intendevano avviare un insieme coordinato di iniziative per la lotta ai cambiamenti climatici¹³. A oggi il Patto riunisce circa 12.000 aderenti provenienti da 60 Paesi coinvolgendo più di 300 milioni di persone, e ha dato vita al più grande movimento di enti locali impegnati sul cambiamento climatico. Tuttavia, anche questa proposta, benché di grandissima importanza per l'approccio alla pianificazione energetica dal basso (*bottom-up*), non risolve tutte quelle problematiche connesse allo scollamento fra lo studio del testo architettonico e del contesto del quale esso è parte.

Centri storici. Architetture e sistema insediativo

Il carattere sostanziale di un edificio storico è rappresentato dal suo essere uno degli elementi costituenti la struttura complessa dell'aggregato, il cosiddetto tessuto edilizio storico¹⁴; all'interno di quest'ultimo, infatti, sono importanti non solo le unità architettoniche, specialistiche o 'di base', ma le relazioni morfologiche, formali, strutturali e percettive che intercorrono tra tutte le parti componenti della città, poiché ciascuna partecipa alla definizione qualitativa e quantitativa dell'organismo urbano.

Gli studi sugli insediamenti hanno potuto dimostrare che questi costituiscono il risultato di un mosaico strutturale proprio di ciascun ambiente. Le condizioni orografiche e geografiche, quelle climatiche, la compagine vegetazionale e la rete infrastrutturale, sono tutti elementi che condizionano la nascita e lo sviluppo di una città, conferendo a quest'ultima una struttura propria, una forma particolare e un rapporto con l'intorno biunivoco ed esclusivo¹⁵.

In proposito, Christian Norberg-Schulz ricorda che "gli antichi esperimento il loro ambiente come costruito di caratteri definiti. In particolare, riconobbero essere di importanza vitale il venire a patti con il *genus* della località in cui doveva avere luogo la loro esistenza"¹⁶.

¹³ Nel 2015, attraverso la fusione con l'iniziativa gemella *Mayors Adapt*, il 'Patto dei Sindaci' ha avuto un nuovo impulso e agli obiettivi di mitigazione si sono aggiunti quelli inerenti l'adattamento

ai cambiamenti climatici.

¹⁴ CANIGGIA, MAFFEI 1991.

¹⁵ MIARELLI MARIANI 1978.

¹⁶ NORBERG-SCHULZ 1979, p. 18.

Tale notazione implica la messa a fuoco di due questioni: innanzitutto che un insediamento possiede una serie illimitata di relazioni con la storia del territorio nel quale insiste (una storia che è fatta dalla natura e dagli individui), ma non solo, perché è insita pure l'ammissione che in passato la sopravvivenza dell'uomo traeva origine dal buon rapporto che questo e i suoi prodotti sapevano instaurare con i siti¹⁷.

In altri termini, quando in esame vi sono gli scambi energetici tra unità che definiscono un sistema complesso, l'edilizia storica, prima ancora di essere studiata nelle sue componenti tecnologiche, esige un apprezzamento che riguarda il suo essere elemento della struttura urbana di cui è parte. E allora nulla può essere studiato indipendentemente dalle relazioni intorno alle quali l'organismo urbano si articola; così ogni modificazione, che sia di aggiunta, sottrazione o sostituzione, non può non essere che analizzata all'interno di questa complessa trama di connessioni.

In sostanza, la comprensione del sistema energetico di ogni singola costruzione deve essere ampliata alla cognizione dei nessi relazionali intorno ai quali si individuano i caratteri di ogni edificio, affinché i presidi in progetto possano essere specificati nell'ambito di una pratica restaurativa che si ponga in una posizione dialettica tra continuità e mutazione, così che le istanze della conservazione si possano effettivamente coniugare con quelle della sostenibilità dell'intero processo che porta ad una modificazione bilanciata dell'esistente.

Tale diversa processualità si può ottenere anche semplicemente spostando l'approccio metodologico dell'efficientamento energetico del patrimonio edilizio preindustriale, dalla scala dell'architettura a quella dell'ambito urbano.

Gli aggregati urbani, infatti, si compongono non solo dei pieni formati da case e palazzi, ma di vuoti. Le strade, le piazze, i vicoli organizzano la trama gerarchica degli spazi collettivi, e tessono la rete delle interconnessioni tra tessuto edilizio ed emergenze architettoniche, andando a costituire un'unità organica che, nel suo insieme, rappresenta una compagine da analizzare energeticamente, oltre che una risorsa da tutelare unitariamente.

La qualità degli spazi pubblici, la densità edilizia e l'integrazione con il costruito sono elementi che caratterizzano la permeabilità del sistema urbano e la capacità ad interagire con le componenti climatiche del sito. È dalla reciprocità di queste relazioni che si determinano i carichi termici effettivi a cui le costruzioni sono sottoposte ed è nelle mutue influenze che si possono generare risposte diverse ad una medesima sollecitazione.

La capacità di un edificio di rispondere positivamente a una pressione termica dipende, quindi, sì dalla tipologia costruttiva, dal rapporto tra la superficie disperdente e il volume e dalle qualità dei materiali impiegati per la qualificazione dell'involucro architettonico, ma non solo¹⁸. La contiguità e l'elevata concentrazione delle costruzioni costituiscono componenti importanti per descrivere il comportamento energetico del tessuto edilizio in rapporto a determinate condizioni ambientali. In questo tessuto le qualità formali e costruttive delle architetture che lo compongono si relazionano a

¹⁷ PRACCHI, LUCCHI 2013.

¹⁸ CONTE 2007; SCRIMMA 2007.

quelle degli spazi vuoti che lo articolano. Così se l'ampiezza di un vano stradale influisce sul soleggiamento delle superfici architettoniche che ne definiscono gli ambiti, la presenza di alberature può contribuire all'ombreggiamento dei fronti e la qualità dei materiali impiegati per la definizione degli spazi urbani può fungere da amplificatore dei caratteri climatici, ovvero contribuirne a mitigare gli effetti¹⁹. Ciò, implica pure, più semplicemente, che per la cura di un fronte non si è chiamati a rispondere soltanto alle dinamiche interne dell'abitazione, ma anche a confrontarsi con l'invaso plastico della città, con le facciate viciniori, con il contesto.

D'altronde è dal 1975, con la Dichiarazione di Amsterdam, che la conservazione del patrimonio architettonico è interpretata non più come un problema a sé stante, ma come il principale obiettivo della pianificazione urbana e territoriale. Questa è l'idea posta alla base del cosiddetto principio della 'conservazione integrata', che osserva la città, e in particolare la città storica, come un *unicum*, come un organismo in cui ogni elemento vive in funzione del tutto, non già dalla sommatoria delle emergenze architettoniche e dell'edilizia storica comune. Pertanto, non è con un singolo intervento di conservazione che si preserva l'identità del patrimonio architettonico, ma con una progettazione complessiva che tenga conto delle istanze storiche come di quelle estetiche e funzionali dell'edilizia diffusa.

Per un nuovo modello di gestione dell'efficientamento energetico nei centri storici

Nei protocolli in uso per la stima dell'efficienza energetica degli edifici storici, le procedure ad oggi sviluppate implicano esclusivamente la valutazione del bilancio termico che viene a realizzarsi fra una costruzione e l'esterno, attraverso modelli di calcolo che si pongono l'obiettivo di certificarne il fabbisogno energetico²⁰.

Tuttavia, è sembrato doveroso ricercare alcune risposte concrete alle istanze poste dalla dimensione urbana del patrimonio storico, tentando di precisare un sistema di lettura storica, figurativa, fisico-tecnica e ambientale capace di ricomprendere la creazione architettonica all'interno di quella rete complessa di legami che la congiungono alla città, al territorio, al paesaggio, secondo un approccio olistico o, per meglio dire, ecologico alla sostenibilità dell'efficientamento del patrimonio edilizio ricadente nei centri storici.

Questo è stato il quesito che si è posto alla base di una ricerca sviluppata in seno al Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Univer-

¹⁹ DESSI 2007.

²⁰ Le indagini sviluppate in seno al Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara sono state strutturate in funzione della conoscenza dei consumi energetici, quindi sul bilancio termico pertinente a ciascuna abitazione, e su questo dato è stata indirizzata l'eventuale azione di restauro (si

vedano DALLA NEGRA, AMBROGIO, ZUPPIROLI 2010; ADHIKARI *et al.* 2011; FABBRI, ZUPPIROLI, AMBROGIO 2012, CALZOLARI 2016). Nel protocollo che qui si propone, invece, la conoscenza è di tipo olistico e si basa sul riconoscimento delle interferenze degli elementi che, tra architettura e spazio urbano, si influenzano reciprocamente.

sità di Roma²¹; ripartire, cioè, dal concetto di ambiente al quale siamo abituati a fare riferimento, come ad una struttura nella quale “ogni elemento che la compone è quello che è principalmente in virtù della sua relazione, e nella sua relazione, con gli altri”²².

Il metodo

Il sito su cui si è avviata la sperimentazione è il centro storico di Trivento (CB), un piccolo paese dell'entroterra molisano, e lo strumento individuato per la lettura delle sue complessità energetico-strutturali è quello del *data-base* relazionale, poiché costituisce uno dispositivo in grado di gestire e archiviare digitalmente molte informazioni di natura diversa (descrittive, alfanumeriche, d'immagine e di calcolo). In particolare, per rispondere alle complessità dei centri storici, è stato studiato un sistema conoscitivo a 'cascata', dalla grande alla piccola scala, capace di spiegare i legami ecologici che l'architettura e i suoi sistemi di aggregazione stringono con il sito. Così sono state approntate le schede, pensate come delle tracce per la lettura dell'esistente a supporto del rilievo speditivo, che consentirebbero di sostenere lo studio dell'efficientamento energetico dell'edilizia storica secondo un processo metodologico che unisce tutte le dimensioni della città²³.

Un protocollo d'indagine che risponde a questo tipo di approccio metodologico è quello disegnato dalla 'Carta del Rischio per i Centri Storici', un sistema informativo territoriale messo a punto da un gruppo di lavoro del Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma, in collaborazione con il Ministero della Cultura (MiC), Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione e Istituto Centrale del Restauro²⁴. Sulla base di questo modello informatico, nell'ottica di una interoperabilità, si potrebbe pensare di implementare la conoscenza del costruito ottimizzando le risorse disponibili e sfruttando quanto già messo a punto. Quindi, sulla base della matrice già definita, alle diverse scale si dovrebbe aggiungere una serie di voci in una scheda integrativa così da poter descrivere l'interfaccia ambientale degli aggregati edilizi storici.

L'analisi della località, quindi, in aggiunta all'illustrazione delle condizioni amministrative, vincolistiche e geomorfologiche, potrebbe riportare specifici campi dotati di *thesauri* relativi alle qualità botaniche, vegetazionali e climatiche del territorio, all'approfondimento sulla ventilazione, sul soleggiamento, sull'intensità delle piogge, su statistiche relative ad *habitat* ed ecosistemi locali (Fig. 2). Si tratta di dati essenziali all'interno di uno studio analitico che si pone l'obiettivo di divenire la base di quel processo interpretativo legato al progetto di efficientamento dell'organismo urbano, e che ha come fine ultimo la comprensione dei limiti di 'modificabilità'²⁵ del sistema insediativo.

²¹ Del lungo lavoro svolto si è deciso di divulgare solo alcune parti (VITIELLO 2012; VITIELLO 2013a; VITIELLO 2014) insieme agli approfondimenti teorici e storici che hanno accompagnato ogni fase della ricerca per un continuo confronto tra il campo sperimentato e i principi generali della conser-

vazione (VITIELLO 2013).

²² MIARELLI MARIANI 1992, p. 11.

²³ VITIELLO 2012.

²⁴ FIORANI 2019; FIORANI *et al.* 2022; FIORANI *et al.* 2023.

²⁵ Il concetto di 'modificabilità' che qui si intro-

CARATTERISTICHE DEL SITO

Geo-Topografiche

Latitudine Zenit solare Azimut solare Zona Altimetrica ☒ Montagna
 Longitudine Alt. s.l.m. Max Min ☐ Collina
☐ Pianura

Presenza di corsi d'acqua ☐ Mari ☐ Fiumi ☐ Torrenti ☐ Laghi ☐ Specchi d'acqua

Climatiche

Zona Climatica ☐ A ☐ D ☐ B ☒ E ☐ C ☐ F

Gradi Giorno [Kd/a]
 Giorni riscaldamento [d]
 Ore riscaldamento giornaliere

Temperatura dell'aria [C°] ☐ Temperatura media interna
☐ Temperatura esterna minima

dati calcolati secondo UNI e DPR 26/08/93, n.412

Umidità % Max Umidità % min Umidità % Rel

T Max [C°] Primavera Estate Autunno Inverno
 T min [C°]

Precipitazioni medie (mm) Primavera Estate
 Autunno Inverno

Soleggiamento medio (ore) Primavera Estate
 Autunno Inverno

Somme di radiazione per orientamento

Is kWh/m2a Io/w kWh/m2a In kWh/m2a
 I orizzontale kWh/m2a

Venti

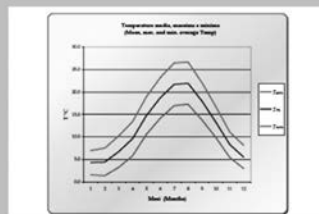
Direzione prevalente del Vento Intensità vento 1 [Km/h]

Primavera ☐ Nord ☐ Sud ☐ Est ☒ Ovest ☐ NEst ☐ NOvest ☒ SOvest ☐ SEst

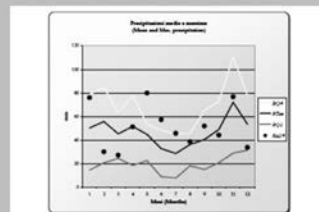
Estate ☐ Nord ☐ Sud ☐ Est ☐ Ovest ☐ NEst ☐ NOvest ☒ SOvest ☐ SEst

Autunno ☐ Nord ☐ Sud ☐ Est ☒ Ovest ☐ NEst ☐ NOvest ☒ SOvest ☐ SEst

Inverno ☐ Nord ☐ Sud ☐ Est ☒ Ovest ☐ NEst ☐ NOvest ☒ SOvest ☐ SEst



DENOMINAZIONE: Temperatura medio
 FONTE: Dati meteo Aeronautica militare



DENOMINAZIONE: Precipitazioni medie minime
 FONTE: Dati meteo aeronautica militare



DENOMINAZIONE
 FONTE:

Fig. 2. Schema per un'organizzazione dei dati relativi ai profili climatici del sito.

duce è maturato a partire dalle riflessioni di DELLA TORRE 2011; un'idea che trova specificazioni più ampie in VITTELLO 2013, pp. 95-124. In particolare la nozione di 'limite di modificabilità' riprende il

concetto matematico di 'limite' e serve a descrivere il modo in cui una successione di cambiamenti può portare alla compromissione dell'autenticità del testo figurativo, VITTELLO 2013, p. 142.

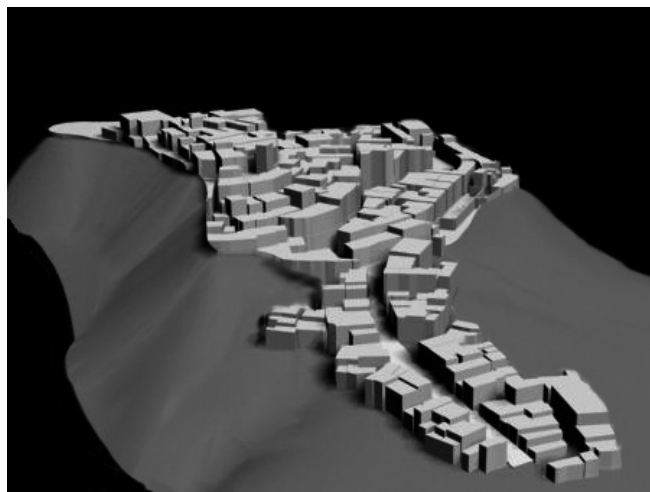
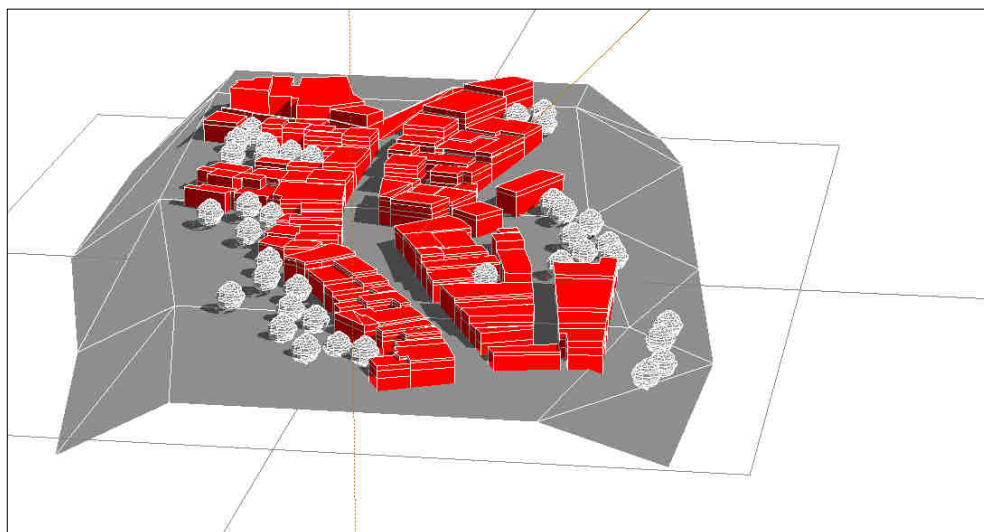


Fig. 3. Elaborazione grafica tridimensionale del centro storico di Trivento (CB). Questo tipo di graficizzazione risulta essenziale per gli studi riferiti alle relazioni instaurate fra abitato e ambiente.

Fig. 4. Graficizzazione degli studi relativi all'accertamento delle caratteristiche di soleggiamento dell'aggregato all'equinozio d'estate del centro storico di Trivento (CB), alle ore 9,00 (elaborato prodotto con Autodesk Ecotect Analysis nel 2013).



Lo studio degli ambiti urbani si dovrebbe arricchire di quei descrittori adatti a rappresentare i parametri basilari per la qualificazione bioclimatica del tessuto edilizio. Tale, ad esempio, è la densità del costruito, descrivibile attraverso il rapporto tra la forma dell'impianto e il dimensionamento dell'aggregato, o l'ampiezza dei percorsi e lo sviluppo in altezza del costruito, ma anche la rappresentazione delle quantità e qualità dei pieni e quella dei vuoti presenti nelle strade e nelle corti, il rapporto fra l'apertura delle facciate nel piano stradale e l'estensione della porzione del cielo visibile nel procedere lungo gli itinerari urbani (Figg. 3-4-5-6). Tutto ciò, senza dimenticare una specifica analisi relativa alla classificazione dei parametri energetici dei materiali costitutivi l'edilizia e gli invasi urbani.

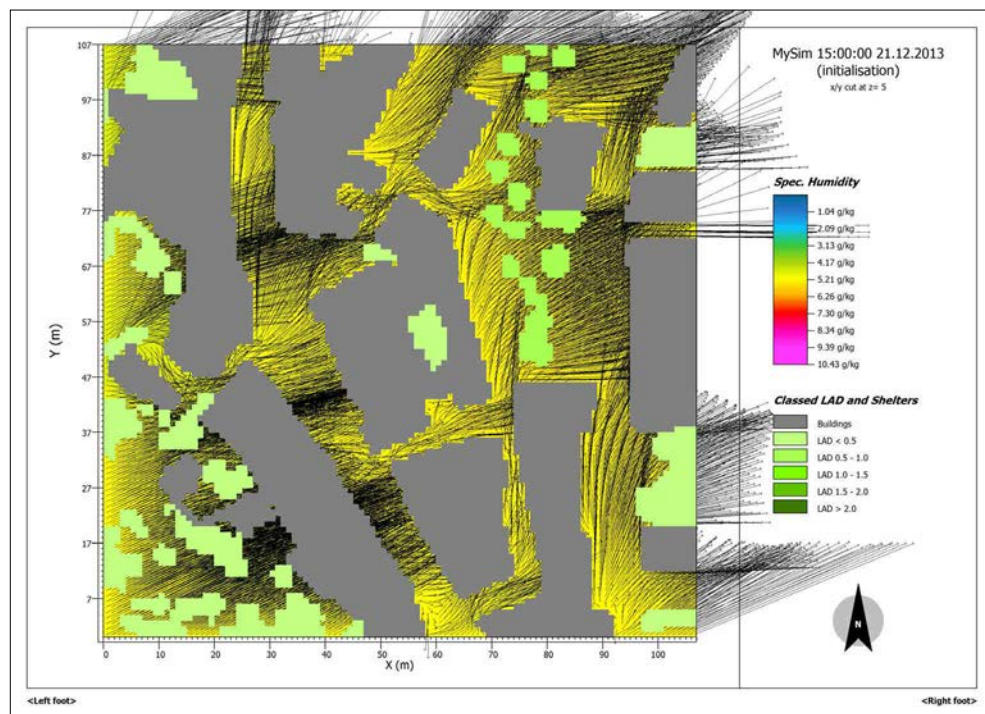


Fig. 5. Graficizzazione degli studi relativi all'accertamento delle caratteristiche dell'umidità relativa con ventilazione dell'aggregato urbano all'equinozio d'inverno del centro storico di Trivento (CB), alle ore 15,00 (elaborato prodotto con *Envimet* nel 2013).

In ultimo si dovrebbe cercare anche di comprendere la qualità dei sistemi percettivi interni ed esterni alla città. La città storica, infatti, è anche paesaggio e va indagata pure nel suo carattere fenomenologico, attraverso, cioè, l'energia proiettiva filtrata dalle facoltà sensuali e intellettive di chi osserva; poiché è proprio attraverso la valutazione del grado di percezione dell'edificato, dal suo interno come dal contesto territoriale, che si possono prefigurare le interferenze visive che le nuove tecnologie possono generare nell'esistente una volta immesse nel flusso della storia dell'abitato²⁶.

Nell'ulteriore passaggio di scala che affronta lo studio dell'architettura e delle sue componenti dimensionali, storiche, costruttive, linguistiche, tipologiche, impiantistiche e d'uso, le integrazioni riguarderebbero la problematica delle dispersioni termiche nella prospettiva dell'efficientamento energetico, consentendo la raccolta di dati che descrivono la permeabilità della forma edilizia sviluppato all'attraversamento dei flussi energetici. Il tal senso verrà per esempio valutata la presenza di discontinuità, finiture e aggettivazione linguistica dell'involucro opaco e di quello trasparente, in quanto

²⁶ FRANCO 2015; BOSCO 2013; DE MARTINO 2013; CLEMENTI 2013.

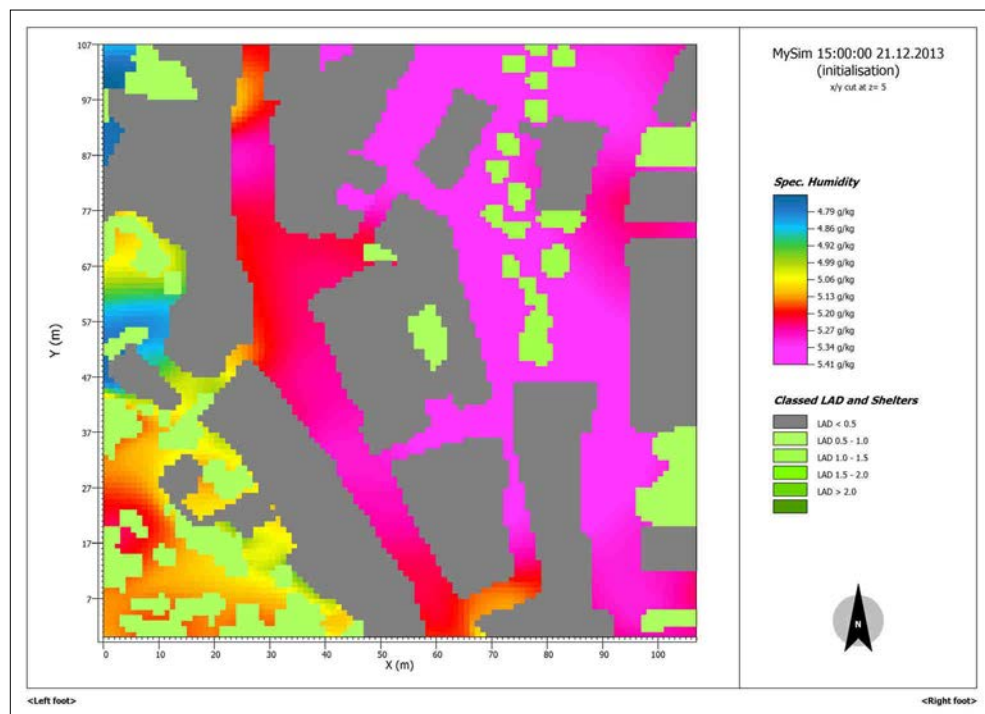


Fig. 6. Studi relativi all'accertamento delle caratteristiche delle temperature in assenza di ventilazione dell'aggregato urbano all'equinozio d'inverno del centro storico di Trivento (CB), alle ore 15,00 (elaborato prodotto con *Envimet* nel 2013).

parti rilevanti del sistema di interfaccia dell'edificio. Infine, per una corretta valutazione della qualità 'energetica' del costruito, vanno aggiunte tutte le informazioni che riguardano i sistemi impiantistici, i loro rendimenti, le carenze prestazionali, così da poter meglio individuare sprechi ed errori di posizionamento e, più in generale, ogni interferenza con il sistema costruttivo (Fig. 7).

L'insieme di questi dati costituisce uno strato di conoscenza profondo e multidimensionale. Si tratta di acquisizioni non semplici, che necessitano di tempi lunghi per la raccolta e l'elaborazione dei dati, ai quali si può pervenire solo attraverso l'aiuto di molti attori; per questo il *data-base* è pensato come uno strumento a gestione differenziata.

Le parti destinate a descrivere le qualità ecologiche del sistema d'interfaccia territorio-città-aggregato urbano, unitamente a tutte quelle indagini ed elaborazioni grafiche connesse a tali ambiti, sono pensate per essere di pertinenza dell'amministrazione comunale e andrebbero a costituire la base su cui sviluppare un 'Piano per l'efficientamento energetico alla scala urbana', una pianificazione fondata sui principi del restauro, che contiene al suo interno conservazione e valorizzazione dell'esistente.

Al singolo progettista, invece, sarebbero rimandati gli approfondimenti relativi all'architettura, nei suoi interni, nei materiali componenti, nella organizzazione degli



Fig. 7. Trivento (CB), termografia effettuata su una porzione dell'edilizia di base del centro storico caratterizzante l'aggregato urbano.

spazi, nella qualità degli impianti e, più in generale, nello stato di conservazione in cui questi versano.

Al termine del percorso conoscitivo, come momento di sintesi, ma anche di valutazione degli elementi costruttivi che individuano i nodi d'interfaccia energetica tra edilizia e ambiente urbano (pareti esterne e seminterrati, coperture, infissi e serramenti, vetri, linee e superfici d'attacco a terra, porticati ecc.), si è concepita una strategia operativa che può favorire scelte più conservative e senz'altro più ponderate rispetto alla semplice sostituzione dell'elemento²⁷. L'approccio valutativo è stato impostato in termini di 'modificabilità' della componente di volta in volta osservata. Con questo termine si è cercato di indicare la capacità residuale di una parte dell'architettura ad essere modificata da eventuali efficientamenti in relazione alle sue qualità linguistico-decorative, allo stato di conservazione dell'esistente, alla rimovibilità dell'intervento e all'incidenza dell'innovazione sul contesto urbano.

²⁷ Per l'impostazione di questo particolare aspetto si è fatto riferimento alla scheda AEDES (Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica) utilizzata per il rilevamento speditivo dei danni, la definizione di provvedimenti di pronto intervento e la va-

lutazione dell'agibilità post-sismica dei fabbricati <https://www.protezionecivile.gov.it/static/6b58fd3bbb60b114ba50a0c65bb4f430/Scheda_GL_AeDES.pdf> [18/09/2023].

MODIFICABILITA' DEL SISTEMA RISPETTO ALLE PRESTAZIONI ENERGETICHE RICHIESTE									
MACROELEMENTO D'INVOLUCRO DELLA FABBRICA - "Sistema Architettonico"									
☐ MIO1 Copertura	☐ MIO2 - MIO3 Pareti Murarie	☐ MIO4 Attacco a Terra	☐ MIT1 -MIT2 Infissi Vetrati						
MIO 1 STATO DI CONSERVAZIONE DELL'INVOLUCRO OPACO - COPERTURE									
Degradi - Indicatori di modificabilità									
D1 Degradi - fatiscenza manto copertura									
Livello		Estensione			eO			eSC eSI	
☐ Fatiscenza manto copertura _ coppi	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza manto copertura _ pietra	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza manto copertura _ metallo	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza manto copertura _ legno	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza manto copertura _ bituminoso	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
Valore D1									
D2 Degradi - fatiscenza struttura principale									
Livello		Estensione			eO			eSC eSI	
☐ Fatiscenza struttura principale _ Legno	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza struttura principale _ ferro	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza struttura principale _ laterocemento	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
Valore D2									
D3 Degradi - fatiscenza struttura secondaria									
Livello		Estensione			eO			eSC eSI	
☐ Fatiscenza struttura secondaria _ legno	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza struttura secondaria _ ferro	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
Valore D3									
D4 Degradi - fatiscenza tavolato									
Livello		Estensione			eO			eSC eSI	
☐ Fatiscenza tavolato _ legno	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
☐ Fatiscenza tavolato _ cotto	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ > 2/3	☐ 1/3-2/3	☐ < 1/3	☐	☐	☐	☐	☐
Valore D4									
MODIFICABILITA' MEDIA DELL'ELEMENTO									
Indice modificabilità_M1									

Fig. 8. Particolare dello schema per un'organizzazione dei dati all'indice di 'modificabilità' di un elemento valutato rispetto al macrosistema d'involucro; l'indice verrà espresso rispetto al degrado, alle prestazioni, alle percezioni dell'elemento medesimo e dovrà rendere la capacità dell'elemento di essere modificato, senza che si rompa l'equilibrio generale del sistema osservato.

L'algoritmo da utilizzare per il calcolo di questo 'indice', che ha lo scopo di rivelare i limiti da porre all'innovazione nel rispetto della preesistenza storica, ad oggi non è stato ancora messo a punto; esso dovrebbe comunque attingere ai dati già presenti nelle schede della Carta del Rischio, in particolare relative alle schede Unità e Fronti Edilizi e a quelli forniti dalla scheda integrativa relativa alla sostenibilità energetica con modalità e pesature opportunamente studiate²⁸.

²⁸ Per il procedimento di definizione degli algoritmi della Carta del Rischio nelle schede citate

vedi DONATELLI 2023.

Tale sistema potrebbe essere utile per rendere oggettivabili le scelte progettuali legate all'efficientamento, oggi soprattutto condizionate dalla sensibilità dell'operatore nell'interpretare la normativa. Tali scelte, tuttavia, non possono essere mai del tutto escluse, ma soltanto arginate o, per l'appunto, indirizzate. D'altronde, i metodi di valutazione non-discorsiva sono sempre più frequenti anche nel mondo dell'architettura poiché consentono di sviluppare tecniche di giudizio equanime finalizzate allo studio diretto di un manufatto alle sue differenti scale²⁹. Non è un approccio nuovo, già nel XIX secolo Gottfried Semper lo aveva sistematizzato pervenendo alla definizione di architettura come il frutto deterministico di una necessità misurata³⁰.

In questo specifico caso, l'indicatore di modificabilità M_n dell'elemento rispetto al macrosistema, costituisce solo una traccia meta-progettuale, una sorta di riflessione guidata verso la selezione dei presidi tecnologici più compatibili con l'esistente (Fig. 8).

Conclusioni

La visione 'ecologica' del restauro, dunque, impone un "approccio sistemico al progetto 'sostenibile', con l'obiettivo della conservazione e della valorizzazione"³¹. Questo è un orientamento che la disciplina avverte già tra gli anni Sessanta e Settanta del Novecento³²; un momento in cui anche Roberto Pane si avvia a definire il principio fondamentale di unitarietà delle scienze restaurative, quale strumento d'eccellenza per la decodificazione delle complesse relazioni dei paesaggi urbani. D'altronde, Pane sottolinea che "la sussistenza dei valori estetici è strettamente subordinata alle condizioni ecologiche ambientali"³³, e ciò significa che la questione dell'efficientamento energetico dell'architettura non può essere risolta soltanto nel "valutare la compatibilità estetica e strutturale di nuovi strumenti per lo sfruttamento dell'energia eolica, geotermica, solare con le preesistenze architettoniche e urbane. È piuttosto quella di articolare strategie d'intervento su più scale, che siano ampie, flessibili e diversificate"³⁴.

Lo strumento metodologico prospettato dovrebbe riuscire a dare risposte multidimensionali che oltrepassano il singolo edificio attraverso una rete di valutazioni, e di conseguenti azioni, che si rivolgono alla città partendo, però, dalle qualità del territorio di cui questa è parte.

In questa maniera, si è, in sostanza, tentato di dare concretezza a quella idea di "inversione di tendenza" auspicata da Maria Adriana Giusti per la definizione di piani e progetti di efficientamento energetico, nel momento in cui si è immesso nel processo di lettura dell'esistente "innanzitutto il comportamento passivo dell'edificio, cioè la sua logica costruttiva in sintonia con l'ambiente fisico e con le risorse del contesto, prima di procedere con il progetto di miglioramento o di integrazione"³⁵.

²⁹ DI PINTO 2018.

³⁰ SEMPER 1884, p. 259. Sulle teorie semperiane si veda anche KRUFF 1985, pp. 63-69.

³¹ GIUSTI 2012, p. 89.

³² VITIELLO 2013.

³³ PANE 1953, p. 89.

³⁴ GIUSTI 2012, p. 90.

³⁵ Ivi, p. 91.

Il coinvolgimento di attori diversi nel processo di progettazione, poi, non solo amplifica il senso di responsabilità che ciascuno deve avere nei confronti di un patrimonio che, prima ancora di essere conservato, ha bisogno di essere riconosciuto³⁶, ma implica una diversificazione degli obiettivi.

Il 'Piano di restauro per l'efficientamento energetico alla scala urbana' avrebbe, quindi, il compito di interessarsi alla riqualificazione dei fronti, in particolar modo a quelli ciechi che, se esposti favorevolmente, possono accogliere sistemi integrati di moduli fotovoltaici, o trasformarsi in pareti verdi; di prendersi cura della conservazione delle pavimentazioni antiche, controllandone l'effettiva capacità di convogliare le acque meteoriche, che generano problemi di umidità negli edifici confinanti; di creare ombreggiamenti negli spazi urbani più assolati, di controllare l'illuminazione pubblica, di favorire o arginare la ventilazione degli spazi, di migliorare il microclima urbano e di programmare lo sfruttamento delle fonti rinnovabili compatibilmente alla morfologia dei sistemi urbani, rendendole disponibili all'intera comunità³⁷.

Il metodo prospettato, dunque, ripartendo dall'idea di "intervento di riqualificazione del patrimonio architettonico e paesaggistico in termini di complessità organizzata, che si definisce progetto per progetto, ma all'interno di un quadro conoscitivo pianificato a più scale"³⁸, cerca di disegnare una processualità diversa per una visione 'ecologica' del restauro.

³⁶ È il tema sviluppato dalla Convenzione del Consiglio d'Europa a Faro il 27 ottobre 2005, ratificata dall'Italia con la legge n. 133/2020.

³⁷ Questo è il principio su cui si basano le Comunità Energetiche Rinnovabili; associazioni di cittadini, enti e imprese che decidono, insieme, di costruire impianti per produrre e condividere energia rinnovabile.

In questo caso, s'immagina di poter mettere in comune solo terreni assolti lontani dalla città, ma di condividere i tetti, e qualunque altra superficie privata poco visibile dai con i percettivi interni al sistema urbano. Sui temi della progettazione bioclimatica alla scala urbana si rimanda a: DIERNA, ORLANDI 2009.

³⁸ GIUSTI 2012, p. 94.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ADHIKARI *et al.* 2011: R. Adhikari, V. Pracchi, A. Rogora, E. Rosina, *La valutazione delle prestazioni energetiche negli edifici storici: sperimentazioni in corso*, in «Il Progetto Sostenibile», 28, 2011, pp. 20-27
- BENETTI, GUCCIONE 2000: D. Benetti, M. Guccione, *Una banca dati per la prevenzione dei centri storici*, in O. Segnalini (a cura di), *Metodi e strumenti per i centri storici delle Marche*, Gangemi Editore, Roma 2000, pp. 22-24
- BIANCHI 2000: A. Bianchi, *La Carta del rischio: sviluppo e applicazioni*, in O. Segnalini (a cura di), *Metodi e strumenti per i centri storici delle Marche*, Gangemi Editore, Roma 2000, p. 25
- BOSCO 2013: A. Bosco, *Aspetti percettivi dello spazio urbano*, in G. Scudo (a cura di), *Tecnologie solari integrate nell'architettura. Processi Strumenti Componenti*, Wolters Kluwer, Assago 2013, pp. 145-150
- BUDA *et al.* 2021: A. Buda, E.J. de Place Hansen, A. Rieser, E. Giancola, V.N. Pracchi, S. Mauri, V. Marincioni, V. Gori, K. Fouseki, C.S. Polo López, A. Lo Faro, A. Egusquiza, F. Haas, E. Leonardi, D. Herrera-Avellanosa, *Conservation-Compatible Retrofit Solutions in Historic Buildings: An Integrated Approach*, in «Sustainability», XIII, 2021, 2927 <<https://doi.org/10.3390/su13052927>>.
- CAMPISI *et al.* 2022: M.T. Campisi, E. Coisson, P. Matracchi, G. Pugliano, *Interventi sulle facciate: i rischi dell'improvvisazione i vantaggi della preparazione*, in «ANANKE», XCV, n.s., 2022, pp. 9-20
- CANIGGIA, MAFFEI 1991: G. Caniggia, P.L. Maffei, *Lecture dell'edilizia di base*, Marsilio Editore, Venezia 1991
- CLEMENTI 2013: M. Clementi, *Mappatura del potenziale solare e del campo visivo con i GIS*, in G. Scudo (a cura di), *Tecnologie solari integrate nell'architettura. Processi Strumenti Componenti*, Wolters Kluwer, Assago 2013, pp. 47-60
- CONTE, LATTANZI, MILANO 2007: E. Conte, V. Lattanzi, R. Milano, *Un insediamento residenziale: verifica delle prestazioni energetiche d'involucro*, in A. Greco, E. Quagliarini (a cura di), *L'involucro edilizio, una progettazione complessa*, atti del convegno Artec 2007, Alinea, Firenze 2007, pp. 227-236
- CAPUTO 2007: P. Caputo, *Strumenti di valutazione del comportamento energetico*, in «Il Progetto Sostenibile», XVI, 2007, pp. 6-15
- DALLA NEGRA, AMBROGIO, ZUPPIROLI 2010: R. Dalla Negra, K. Ambrogio, M. Zuppiroli, *Miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia storica: tra istanze conservative e prestazionali*, in P. Davoli (a cura di), *Il recupero energetico ambientale del costruito*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna 2010, pp. 29-38
- DEL CURTO 2022: D. Del Curto, *Edifici storici e sostenibilità ambientale. Opportunità (e qualche rischio) della transizione energetica*, in «ANANKE», XCV, n.s., 2022, pp. 21-24
- DELLA TORRE 2011: S. Della Torre, *Conservare è governare la trasformazione. Il caso di Chiavenna (Sondrio)*, in «ANANKE», LXII, 2011, pp. 116-129
- DE MARTINO 2013: R. De Martino, *Strumenti per analisi orientate degli spazi aperti urbani*, in G. Scudo (a cura di), *Tecnologie solari integrate nell'architettura. Processi Strumenti Componenti*, Wolters Kluwer, Assago 2013, pp. 61-63
- DESSI 2007: V. Dessi, *Progettare il comfort urbano*, Sistemi Editoriali, Napoli 2007
- DIERNA, ORLANDI 2009: S. Dierna, F. Orlandi, *Ecoefficienza per la città diffusa. Linee guida per il recupero energetico e ambientale degli insediamenti informali nella periferia romana*, Alinea, Firenze 2009

- DI PINTO 2018: V. Di Pinto, *C come paesaggio. Analisi configurazionale e paesaggio urbano*, Liguori Editore, Napoli 2018
- FABBRI, ZUPPIROLI, AMBROGIO 2012: K. Fabbri, M. Zuppiroli, K. Ambrogio, *Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools*, in «Energy Build», XLVIII, 2012, pp. 137-145
- FIORANI 2019: D. Fiorani, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Edizioni Quasar, Roma 2019
- FIORANI *et al.* 2022: D. Fiorani, M. Acierno, A. Donatelli, S. Cutarelli, A. Martello, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2022
- FIORANI *et al.* 2023: D. Fiorani, M. Acierno, A. Donatelli, S. Cutarelli, A. Martello, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2023
- FRANCO, BIONDI 2011: G. Franco, F. Biondi, *Tecnologie innovative per il risparmio energetico nell'edilizia storica*, in G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *Governare l'innovazione. Processi, strutture, materiali e tecnologie tra passato e futuro*, atti del XXVIII convegno Scienza e Beni Culturali (Bressanone 21-24 giugno 2011), Arcadia Ricerche, Venezia 2011, pp. 343-352
- FRANCO 2015: G. Franco, *Paesaggi ed energia. Un equilibrio delicato*, Edicom Edizioni, Gorizia 2015
- GIUSTI 2012: M.A. Giusti, *Città storica e paesaggio: piani e progetti per il restauro e la sostenibilità*, in M. De Vita (a cura di), *Città storica e sostenibilità*, Firenze University Press, Firenze 2012, pp. 89-96
- KRUFFT 1985: H.-W. Krufft, *Geischichte der Architekturtheorie*, Munchen (ed. it. *Storia delle teorie architettoniche dall'Ottocento ad oggi*, Editori Laterza, Bari 1987)
- NORBERG-SCHULZ 1979: C. Norberg-Schulz, *Genius Loci: paesaggio, ambiente, architettura*, Electa, Milano 1992
- MAURI, PRACCHI 2021: S. Mauri, V. Pracchi, *High-performance materials and technological solutions to improve the thermal performance of historic buildings*, in *Earth and Environmental Science*, OP Conference Series proceeding (Bolzano, 14-16 aprile 2021), vol. 863, <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/863/1/012044>> (DOI 10.1088/1755-1315/863/1/012044)
- MERCURI 2000: C. Mercuri, *La scheda per la valutazione della vulnerabilità urbana*, in O. Segnolini (a cura di), *Metodi e strumenti per i centri storici delle Marche*, Gangemi Editore, Roma 2000, pp. 37-41
- MIARELLI MARIANI 1978: G. Miarelli Mariani, *Restauro e territorio. Appunti su un rapporto difficile e controverso*, in «Palladio», XXV 1978, pp. 83-100
- MIARELLI MARIANI 1992: G. Miarelli Mariani, *Centri storici, note sul tema*, Bonsignori editore, Roma 1992
- MIBACT 2015: *Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici urbani*
- PALAZZO 1998: A. Palazzo, *La prevenzione sismica la scala territoriale. Attuali indirizzi di studio nei contesti costruiti e naturali di interesse storico*, in «Ricerche di storia dell'arte», 65, 1998, pp. 35-39
- PANE 1953: R. Pane, *Paesaggio e ambiente*, in *La pianificazione regionale*, atti del IV congresso nazionale di urbanistica (Venezia, 18-21 ottobre 1952), Roma 1953, pp. 89-95

- PNIEC 2023: *Piano Nazionale Integrato per l'energia e il clima*, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, giugno 2023, <https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf> [20/07/2023]
- PRACCHI 2020: V. Pracchi, *Sostenibilità versus sostenibilità. Alcuni equivoci tra conservazione ed efficienza energetica*, in «Recupero e Conservazione. Magazine», 161, 2020, pp. 14-23
- PRACCHI, LUCCHI 2013: V. Pracchi, E. Lucchi (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito: la sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna 2013
- PUGLIANO 1998: G. Pugliano, *La prevenzione sismica alla Scala territoriale. Atlante dei centri storici italiani esposti al rischio sismico*, in «Ricerche di storia dell'arte», 65, 1998, pp. 23-34
- ROGORA 1998: A. Rogora, *La simulazione del comportamento termico degli edifici*, in D. Faconti, S. Piardi (a cura di), *La qualità ambientale degli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 1998, pp. 501-516
- SASSO 2007: U. Sasso, *Il nuovo manuale europeo di bioarchitettura*, Gruppo Mancosu Editore, Roma 2007
- SCRIMMA 2007: R. Scrimma, *Tra 'muro' e 'involucro'*, in A. Greco, E. Quagliarini (a cura di), *L'involucro edilizio, una progettazione complessa*, atti del convegno Artec 2007, Alinea, Firenze 2007, pp. 173-179
- SEGNALINI 1998: O. Segnalini, *La prevenzione sismica alla Scala territoriale. Verso una strategia integrata di tutela del patrimonio storico esposto al rischio sismico*, in «Ricerche di storia dell'arte», 65, 1998, pp. 41-45
- SEMPER 1884: G. Semper, *Kleine Schriften*, a cura di H. e M. Semper, Berlin-Stuttgart 1884
- VITIELLO 2012: M. Vitiello, *Compatibility, Sustainability, modifiability: the impact of sustainable energy on historical center*, in M. Pacetti, G. Passerini, C.A. Brebbia, G. Latini (a cura di), *Sustainable City*, atti del VII convegno internazionale, WitPress, London 2012, pp. 719-730
- VITIELLO 2013: M. Vitiello, *Prospettive ecologiche per il restauro. Riflessioni intorno ad alcune parole chiave*, Franco Angeli Editore, Milano 2013
- VITIELLO 2013a: M. Vitiello, *Energia rinnovabile negli edifici storici. Un tema di restauro, una relazione da ripensare*, in C. Conforti, V. Gusella (a cura di), *Aid Monuments. Conoscere, Progettare, Ricostruire*, atti del convegno (Perugia, 24-26 maggio 2012), Aracne Editrice, Roma 2013, pp. 623-636
- VITIELLO 2014: M. Vitiello, *Responsabilità e interdipendenza delle azioni conservative. Le parole chiave per una possibile definizione di 'restauro sostenibile'*, in G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *Quale sostenibilità per il restauro?*, atti del XXX convegno di studi Scienza e Beni Culturali, (Bressanone, 1-4 luglio 2014), Arcadia Ricerche, Venezia, pp. 13-22

SITI

- GREEN BUILDING COUNCIL ITALIA: <<https://gbcitalia.org/certificazione/gbc-historic-building/gbc-historic-building-documenti/>>
- CASA CLIMA: <<https://www.agenziacasaclima.it/it/certificazionesostenibilita-1381.html>>
- MINISTERO DELLA CULTURA, *Segretariato generale per il Veneto*: <<https://www.veneto.beniculturali.it/progetto-atte>>

- ISPRA, *Patto dei Sindaci per il Clima e l'Energia*: <<https://bogelso.sinanet.isprambiente.it/temi/cambiamenti-climatici/il-patto-dei-sindaci-per-il-clima-e-lenergia>>
- PROTEZIONE CIVILE, *Scheda di valutazione di danno e agibilità post-sisma*: <https://www.protezionecivile.gov.it/static/6b58fd3bbb60b114ba50a0c65bb4f430/Scheda_GL_AeDES.pdf>
- MINISTERO DELLA CULTURA, *Linee guida per il miglioramento dell'efficienza energetica*: <<https://www.soprintendenzapdve.beniculturali.it/la-soprintendenza-informa/atti-di-indirizzo/linee-guida-di-indirizzo-per-il-miglioramento-dellefficienza-energetica-nel-patrimonio-culturale/>>
- ISTAT, *Censimento popolazione*: <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICIRES#>

Cambiamenti climatici e patrimonio culturale: metodi e strumenti di protezione e valutazione del rischio

ALESSANDRA BONAZZA, RAFFAELA GADDI, ALESSANDRO SARDELLA

Introduzione

L'impatto dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale è senza dubbio sempre più al centro dell'attenzione, continuando a rappresentare una sfida per la comunità scientifica e per gli enti preposti alla salvaguardia dei beni culturali e paesaggistici, alla pianificazione e gestione del rischio. Numerosi sono infatti gli studi di ricerca nazionali e internazionali condotti negli ultimi 20 anni, mirati alla valutazione dei rischi e degli effetti potenzialmente causati dalle variazioni estreme e graduali dei parametri climatici e di inquinamento sul patrimonio costruito¹.

A livello metodologico è stato ampiamente dimostrato come la stima degli impatti richieda prima di tutto una dettagliata caratterizzazione del territorio dal punto di vista ambientale attraverso l'identificazione dei parametri relativi al clima e alla qualità dell'aria, prioritari nel causare il degrado. La raccolta e il monitoraggio di questi dati risulta infatti fondamentale per un'adeguata stima della pericolosità cui sono potenzialmente esposti i beni culturali del territorio. L'utilizzo di appropriate funzioni di danno e di selezionati indici di estremi climatici permettono successivamente la quantificazione di specifici processi di degrado (recessione superficiale, accumulo di biomassa ecc.) e l'identificazione di indicatori di rischio².

Nella valutazione del rischio, oltre che stimare la pericolosità, è necessario fare una valutazione delle vulnerabilità del bene considerando anche l'esposizione ai fattori ambientali. Inoltre, la quantificazione dei potenziali impatti deve essere necessariamente correlata con le informazioni relative allo stato di conservazione.

Nonostante l'avanzamento indiscutibilmente raggiunto dalla ricerca, purtroppo le strategie e i piani locali e nazionali di adattamento ai cambiamenti climatici non propongono misure esaustive e adeguate di protezione e mitigazione degli impatti sul patrimonio culturale³. Tale carenza viene chiaramente evidenziata nel recente documento *Strengthening Cultural Heritage Resilience for Climate Change* (2022) elaborato dal *EU Open Method of Coordination (OMC) Experts Group* degli Stati Membri dell'Unione Europea (OMC), che sottolinea come solo 12 dei 28 paesi

¹ BONAZZA, SARDELLA 2023, PRESTILEO *et al.* 2022.

³ BONAZZA *et al.* 2018.

² GADDI *et al.* 2022.

partecipanti includano il patrimonio culturale nelle politiche in materia di contrasto al cambiamento climatico⁴.

Appare sempre più evidente come, per colmare questa lacuna, sia fondamentale promuovere lo sviluppo dei risultati della ricerca in strumenti e soluzioni rivolte a soddisfare le esigenze delle parti interessate e a risolvere le sfide esistenti a livello territoriale.

In questo frangente, il contributo illustra due sistemi informativi territoriali (Carta del Rischio e *Risk Mapping Tool for Cultural Heritage Protection*) che rappresentano un esempio concreto di applicazione dei risultati della ricerca a supporto del settore politico-decisionale nel campo della salvaguardia e della gestione del patrimonio culturale a rischio.

1. Stima della pericolosità territoriale nel Sistema Informativo della Carta del Rischio

La stima del potenziale rischio di degrado per il patrimonio culturale richiede un'approfondita caratterizzazione, dal punto di vista ambientale, del territorio con cui i beni interagiscono.

Tale caratterizzazione è possibile mediante l'acquisizione di dati attendibili che possano fornire informazioni sulla potenziale pericolosità naturale o antropica di uno specifico contesto ambientale nei confronti del patrimonio culturale.

Nel caso di fenomeni di degrado connessi all'inquinamento atmosferico e ai fattori climatici, la stima della potenziale pericolosità di un territorio, sovrapposta alle informazioni relative alla vulnerabilità dei beni e alla loro esposizione, consente di individuare, in prima approssimazione, i beni più a rischio.

Questo tipo di approccio, descritto nel progetto Carta del Rischio del Patrimonio Culturale del Ministero della Cultura italiano⁵, è stato applicato in alcuni studi⁶ per individuare i beni architettonici maggiormente esposti ai processi di deterioramento causati dall'azione degli inquinanti atmosferici e dei fattori climatici.

In particolare, nell'ambito della collaborazione tra ICR (Istituto Centrale per il Restauro) e ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), la raccolta e l'elaborazione dei dati ambientali misurati dalle reti di monitoraggio nazionali ha consentito di stimare il processo di recessione superficiale di materiali di natura calcarea nelle aree urbane in cui i livelli di concentrazione di alcuni inquinanti atmosferici continuano a superare i limiti previsti dalla normativa vigente per la tutela della salute umana.

⁴ STRENGTHENING CULTURAL HERITAGE RESILIENCE FOR CLIMATE CHANGE 2022.

⁵ CARTA DEL RISCHIO 1996.

⁶ BONANNI *et al.* 2019.

1.1. I dati delle reti di monitoraggio nazionali

L'inquinamento atmosferico è monitorato in Italia dalla rete nazionale della qualità dell'aria che permette di misurare contemporaneamente, in diversi punti del territorio, le concentrazioni di sostanze inquinanti aerodisperse.

Le stazioni di misura sono situate, a livello nazionale, secondo quanto previsto dalla Direttiva 2008/50/CE, recepita dal D.lgs 155/2010⁷ e dalla Decisione 2011/850/EU; queste forniscono i dati puntuali orari misurati sulla base di criteri standardizzati e condivisi a livello europeo.

I dati misurati dalle reti sono raccolti in Italia nel sistema InfoAria di ISPRA, che si occupa di curare la raccolta dei dataset regionali.

Per lo studio degli effetti dell'inquinamento atmosferico sui beni culturali, i valori delle concentrazioni degli inquinanti aerodispersi vengono generalmente confrontati con i valori limite annui⁸, definiti nel D.lgs 155/2010, per la protezione della salute umana, poiché non esistono al momento valori limite specifici per la salvaguardia dei materiali da costruzione.

Anche i parametri meteorologici vengono misurati da specifiche reti osservative nazionali e da numerose reti regionali. I dati ottenuti vengono acquisiti dal Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale (SCIA)⁹, realizzato da ISPRA e alimentato in collaborazione con il Sistema Nazionale della Protezione dell'Ambiente e di altri organismi titolari delle principali reti osservative presenti in Italia.

A titolo di esempio, sono riportati la distribuzione sul territorio nazionale delle concentrazioni medie annue (esprese in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) di particolato atmosferico (PM_{10}), misurate nel 2020 dalle stazioni della rete di monitoraggio della qualità dell'aria (*Fig. 1a*) e i dati delle precipitazioni cumulate (in mm) registrate nel 2020 disponibili nel sistema SCIA (*Fig. 1b*).

I dati puntuali forniti dalle reti nazionali vengono annualmente aggiornati, consentendo in tal modo di monitorare nel tempo il territorio circostante il patrimonio culturale e di individuare la sussistenza di aree maggiormente aggressive dal punto di vista ambientale e di beni più esposti a specifici processi di deterioramento.

Per le aree in cui non sono presenti le stazioni di monitoraggio è possibile e utile impiegare i dati di inquinamento atmosferico ottenuti mediante l'utilizzo di modelli di dispersione atmosferica¹⁰ oppure le osservazioni satellitari¹¹.

⁷ D.LGS 155/2010.

⁸ Per NO_2 , PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$ sono rispettivamente 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; per SO_2 esiste un livello critico annuo per la protezione degli ecosistemi (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), cfr. D.LGS 155/2010.

⁹ Cfr. <<http://www.scia.isprambiente.it>> [27/10/-2023].

¹⁰ DE MARCO *et al.* 2017.

¹¹ WAGNER *et al.* 2021.

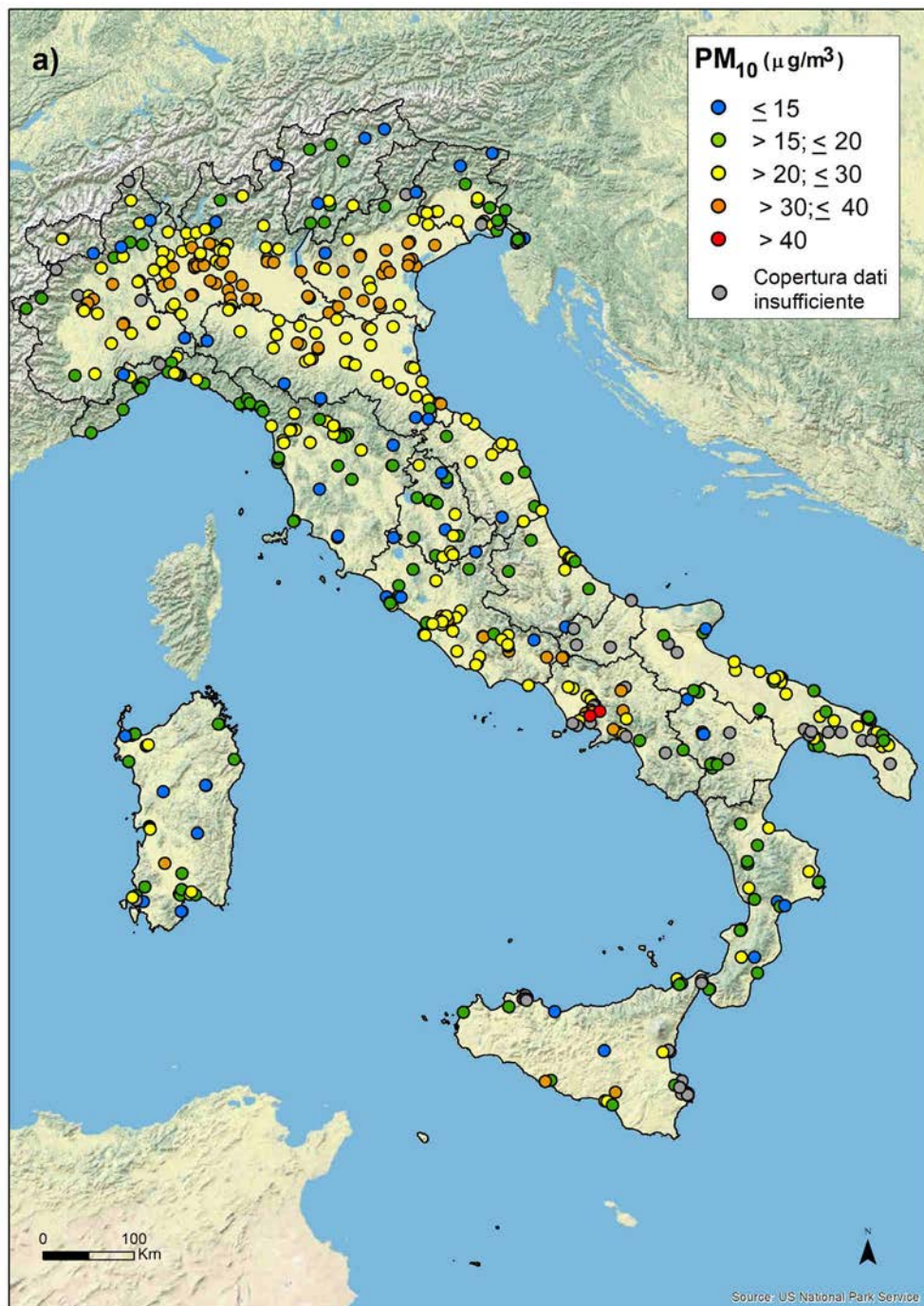


Fig. 1a. Concentrazioni medie annue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) di PM10 misurate nel 2020 dalla rete nazionale di monitoraggio della qualità dell'aria (Fonte dati: InfoAria).

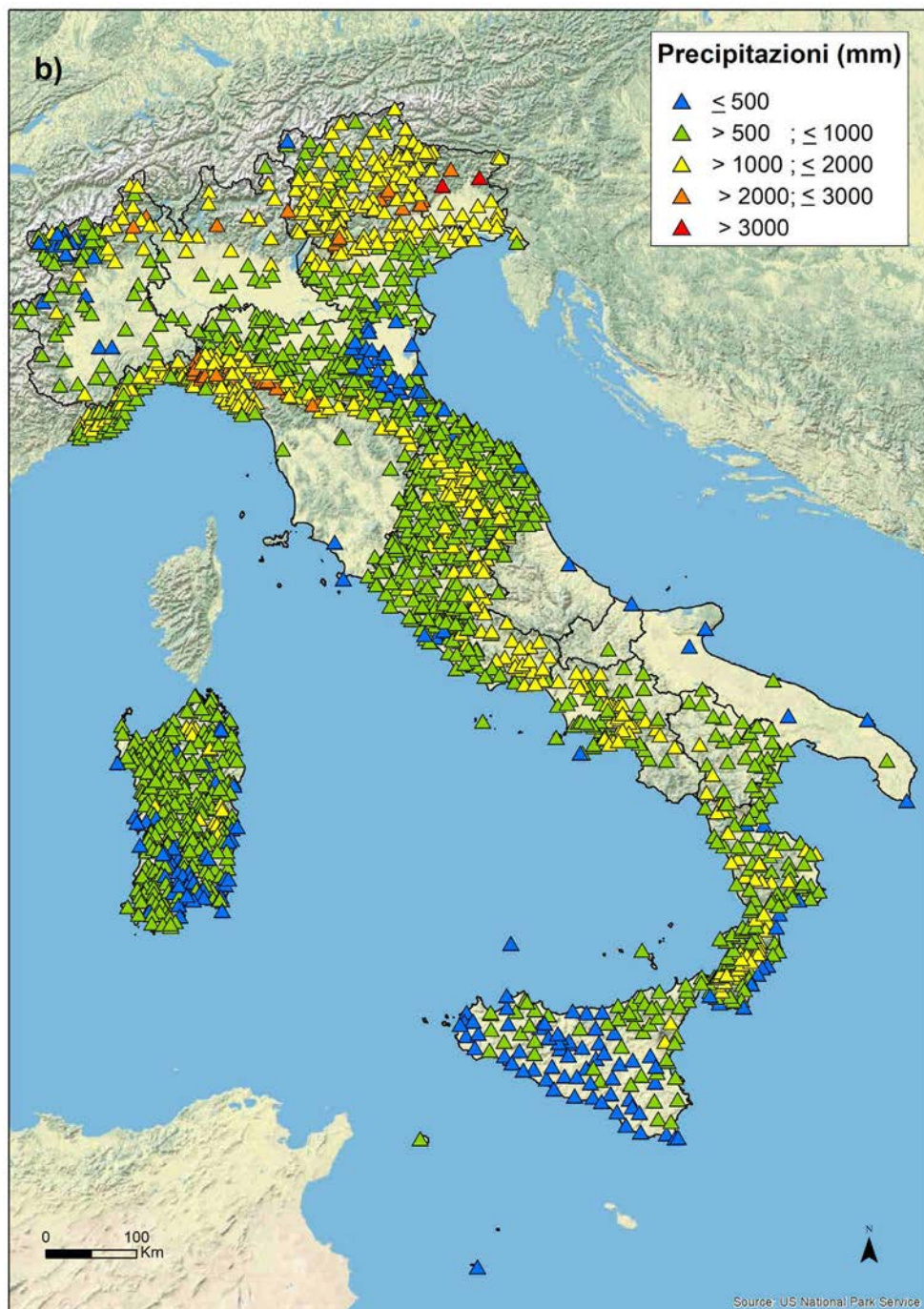


Fig. 1b. Precipitazioni cumulate (mm) misurate dalle stazioni meteorologiche a livello nazionale (Fonte dati: SCIA).

1.2. La metodologia per la stima della pericolosità

La stima del potenziale rischio di degrado associato all'inquinamento atmosferico può essere realizzata utilizzando l'approccio descritto dalla Carta del Rischio del Patrimonio Culturale¹², progetto sviluppato dall'Istituto Centrale per il Restauro (ICR) nel 1996 e attualmente gestito dalla Direzione Generale Sicurezza del Patrimonio Culturale del Ministero della Cultura (MiC).

Nella Carta del Rischio, il potenziale rischio di degrado di un bene culturale può essere stimato in funzione della pericolosità territoriale e della vulnerabilità del bene considerato.

La pericolosità rappresenta la probabilità che si verifichino eventi dannosi sul territorio.

Nella Carta del Rischio sono definiti tre differenti domini di pericolosità: ambientale-aria, statico strutturale e antropica¹³.

La pericolosità ambientale-aria è associata a tre fenomeni di degrado: recessione superficiale, annerimento e stress fisico¹⁴.

Attualmente, all'interno del progetto, tra le tre tipologie di degrado individuate, la recessione superficiale è l'unico indice che è stato sviluppato e quantificato: esso rappresenta, nel dominio ambientale-aria, la pericolosità dovuta all'azione sinergica di inquinamento atmosferico e fattori climatici sul materiale esposto¹⁵.

La stima della recessione superficiale dei beni di natura calcarea può essere effettuata utilizzando specifiche funzioni di danno, presenti in letteratura¹⁶, che consentono di quantificare la potenziale perdita di materiale in funzione di quei fattori ambientali che la determinano.

Nella Carta del Rischio è stata utilizzata la funzione dose-risposta¹⁷ (1) definita, per il calcare Portland, dal progetto europeo MULTIASSESS nell'ambito del programma internazionale ICP Materials¹⁸.

$$R = 4 + 0.0059[SO_2] RH_{60} + 0.054 \text{Rain}[H^+] + 0.078[HNO_3] RH_{60} + 0.0258 PM_{10} \quad (1)$$

¹² ACCARDO *et al.* 2003.

¹³ Dominio ambientale-aria, connesso ai danni causati dai fattori climatici e all'inquinamento atmosferico; dominio statico - strutturale, relativo al degrado del materiale dovuto a fenomeni riguardanti la statica dei beni (terremoti, frane, dissesti, valanghe); dominio antropico, relativo ai fattori dovuti all'azione dell'uomo, che possono modificare le condizioni di conservazione dei beni culturali.

¹⁴ CACACE *et al.* 2014.

¹⁵ ACCARDO *et al.* 2005.

¹⁶ BONAZZA *et al.* 2009, STRLIC *et al.* 2013.

¹⁷ R = recessione superficiale nell'unità di tempo ($\mu\text{m}/\text{anno}$); $[SO_2]$ = concentrazione di SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

RH_{60} = misura dell'umidità relativa quando $RH > 60$, altrimenti = 0; Rain = precipitazioni (mm/anno); $[H^+] = 10^{3-pH}$, concentrazione di H^+ nelle precipitazioni (mg/l); $[HNO_3]$ = concentrazioni di HNO_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) calcolate mediante la formula $HNO_3 = 516 \times e^{-3400/(T+273)}$ ($[NO_2]$ $[O_3]$ RH)^{0.5}; $[NO_2]$ = concentrazione di biossido di azoto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); $[O_3]$ = concentrazione di ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); PM_{10} = concentrazione di particolato atmosferico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). MULTIASSESS 2005; KUCERA *et al.* 2007; TIDBLAD *et al.* 2001.

¹⁸ International Co-operative Programme on Effects on Materials, including Historic and Cultural Monuments.

Per la quantificazione del danno è stata selezionata la funzione MULTIASSESS perché, pur descrivendo la recessione superficiale del calcare Portland e non di un generico calcare, stima la perdita di materiale considerando non solo la deposizione di inquinanti gassosi ma anche il contributo del particolato atmosferico che, soprattutto nelle aree urbane, può raggiungere spesso concentrazioni superiori ai limiti di legge.

Data la complessità dei processi che determinano la perdita di materiale di un bene di natura lapidea, è difficile definire i valori limite di deterioramento.

Nell'ambito del programma ICP Materials è stato fatto un tentativo in questo senso; sono stati individuati, sulla base di considerazioni tecniche, economiche e sociali, i valori 'accettabili' di recessione superficiale e corrosione per alcuni materiali¹⁹.

Considerando i valori accettabili definiti per il calcare, sono state individuate, all'interno della collaborazione tra ISPRA e ICR, tre classi di pericolosità da recessione superficiale:

1. Bassa ($R \leq 6.4 \mu\text{m}$)
2. Media ($6.4 < R \leq 8 \mu\text{m}$)
3. Alta ($R > 8 \mu\text{m}$)

Le classi di pericolosità sono state successivamente utilizzate per individuare, in prima approssimazione, quelle zone in cui la potenziale recessione superficiale può essere considerata elevata e i beni architettonici, che in esse ricadono, a maggior rischio di degrado²⁰.

La pericolosità locale territoriale è stata stimata quantificando la recessione superficiale nelle aree in prossimità dei beni considerati.

Le aree di studio sono state individuate mediante applicazione GIS attraverso le seguenti fasi:

- 1) costruzione di buffer, di raggio di 500 m, in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria (*Fig. 2a*);
- 2) sovrapposizione dei buffer con i beni culturali georeferiti nel Sistema Informativo della Carta del Rischio (*Fig. 2b*).

Dopo la definizione delle aree di studio, sono stati estratti i dati delle concentrazioni di inquinanti atmosferici e i dati meteorologici misurati dalle stazioni presenti nei buffer selezionati al punto 2) e successivamente è stata calcolata la recessione superficiale, mediante l'applicazione della funzione MULTIASSESS in ogni buffer selezionato.

I buffer, centrati sulle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria, sono stati costruiti considerando un raggio di 500 m per includere un numero consistente di beni culturali ed evitando l'intersezione tra buffer vicini.

¹⁹ MAPPING OF EFFECTS ON MATERIALS 2015.

²⁰ GADDI *et al.* 2022.

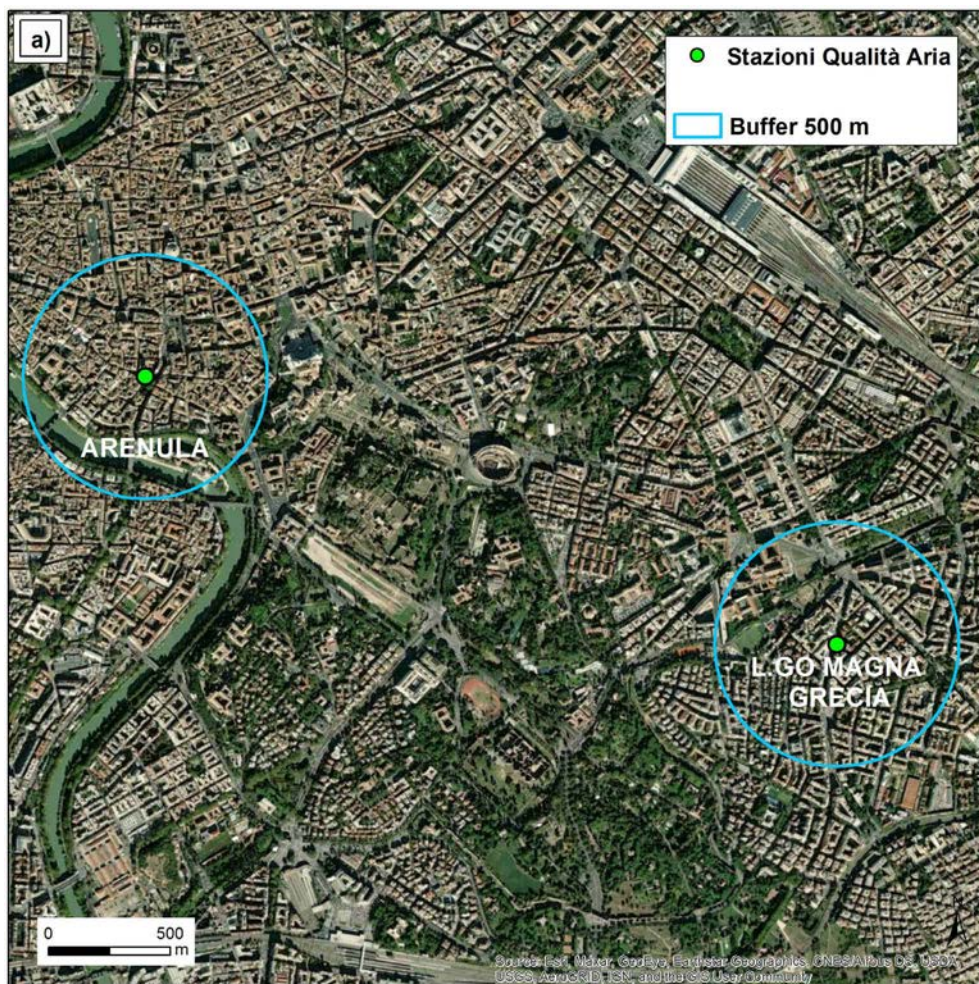


Fig. 2a. Costruzione dei buffer di 500 m in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

1.3. Le mappe di recessione superficiale a livello locale

Sulla base dei criteri esposti, è stato possibile valutare la recessione superficiale stimata a partire dai valori misurati dalle reti di monitoraggio nazionali; i dati così ottenuti sono stati inseriti nel Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio, che restituisce le mappe della recessione superficiale quantificata in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria (Fig. 3).

La Figura 4 mostra i buffer in verde che indicano, in corrispondenza delle stazioni selezionate, una potenziale recessione superficiale bassa ($R < 6.4 \mu\text{m}$), la posizione dei

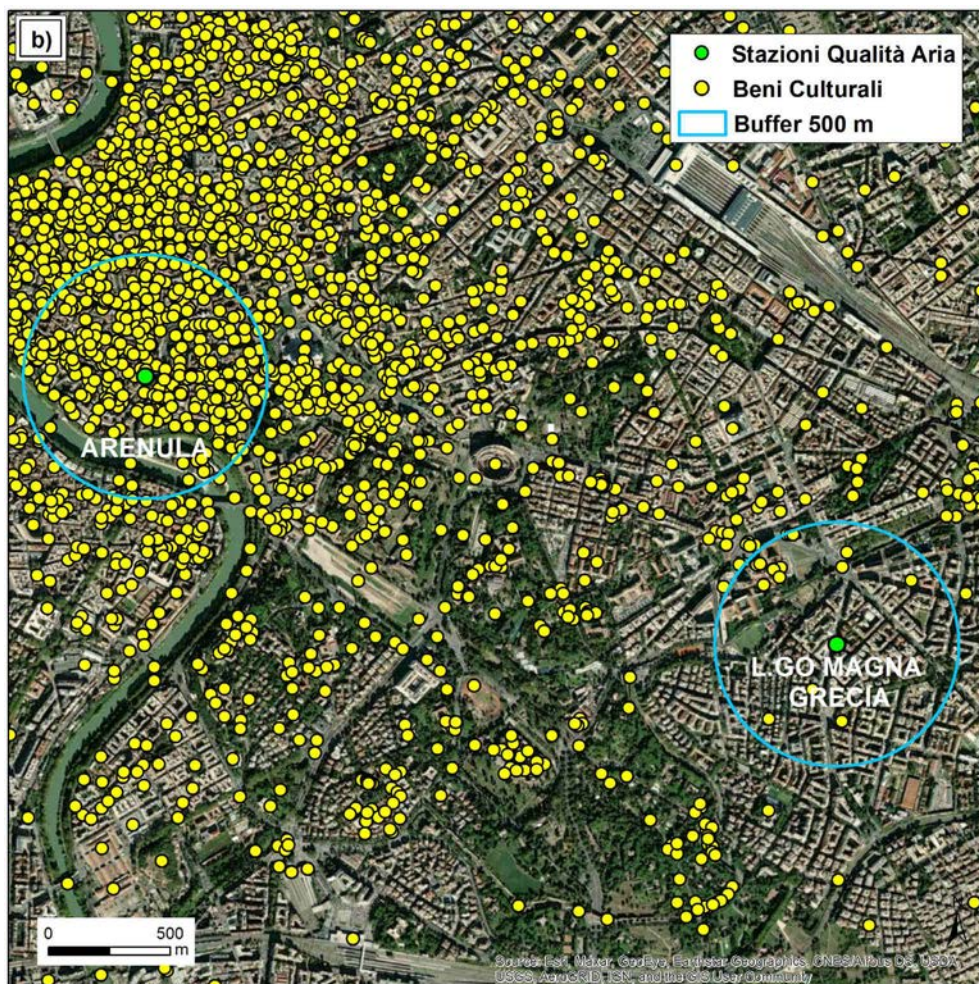


Fig. 2b. Localizzazione dei beni culturali ricadenti nell'area considerata (dati estratti dalla Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, Direzione Generale Sicurezza del Patrimonio Culturale).

punti di misura (quadrati in rosso) e la localizzazione dei beni georeferiti, ricadenti e non, nei buffer considerati (triangoli in rosso e giallo).

La sovrapposizione dei dati relativi alla recessione superficiale con le informazioni inerenti alla vulnerabilità dei beni culturali (presenti nel sistema Carta del Rischio) e alla loro esposizione²¹ consente d'individuare, in prima approssimazione, il potenziale rischio di degrado dei beni stessi.

²¹ Nel dominio ambientale - aria, il rischio è stimato in funzione della pericolosità territoriale, della vulnerabilità e dell'esposizione, componente che tiene conto del 'contenuto' del bene cultura-

le e che è definita dalla presenza di elementi di pregio come decorazioni in marmi, stucchi, metalli, intonaci antichi e pitture murali (GADDI *et al.* 2022).

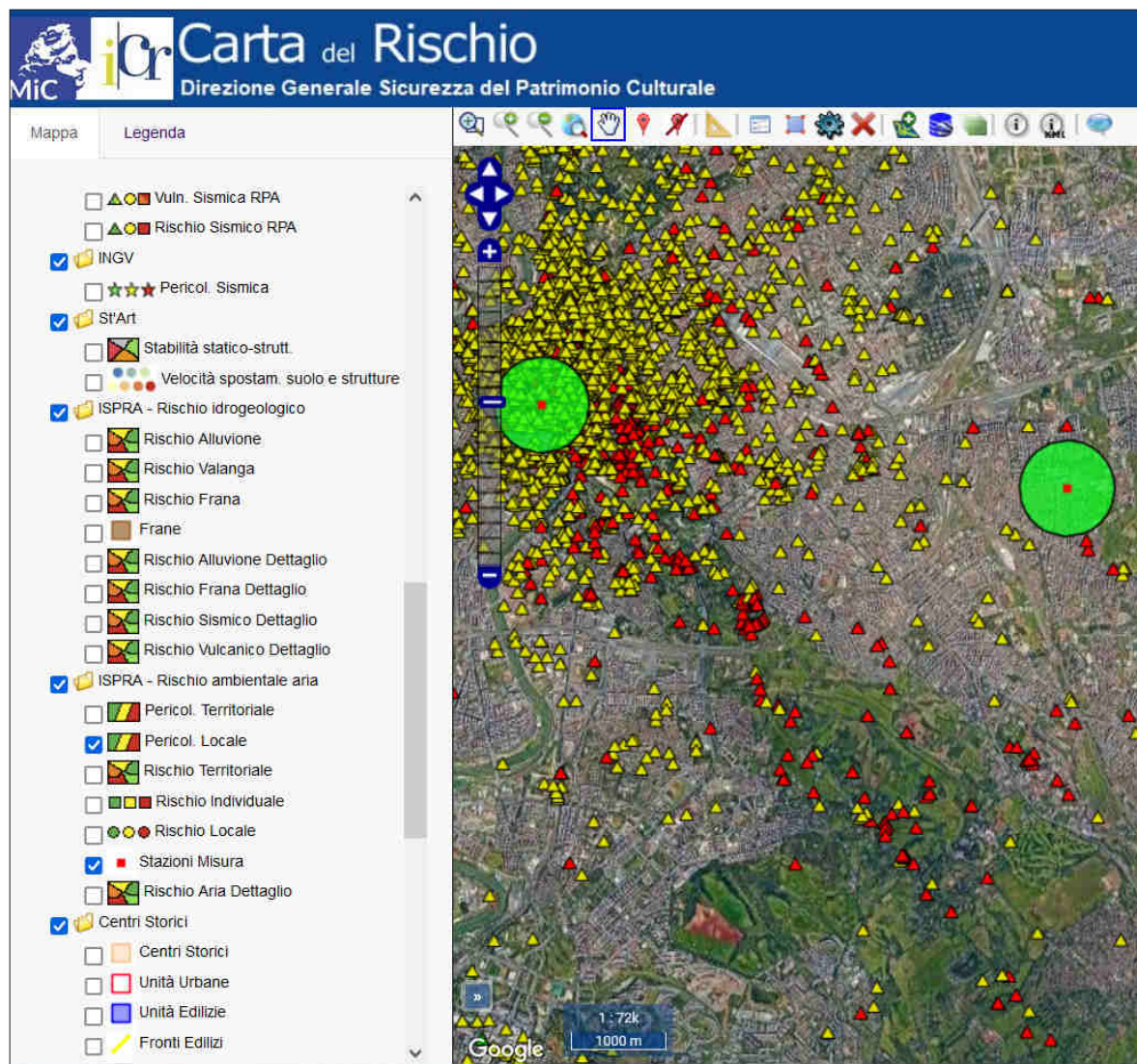
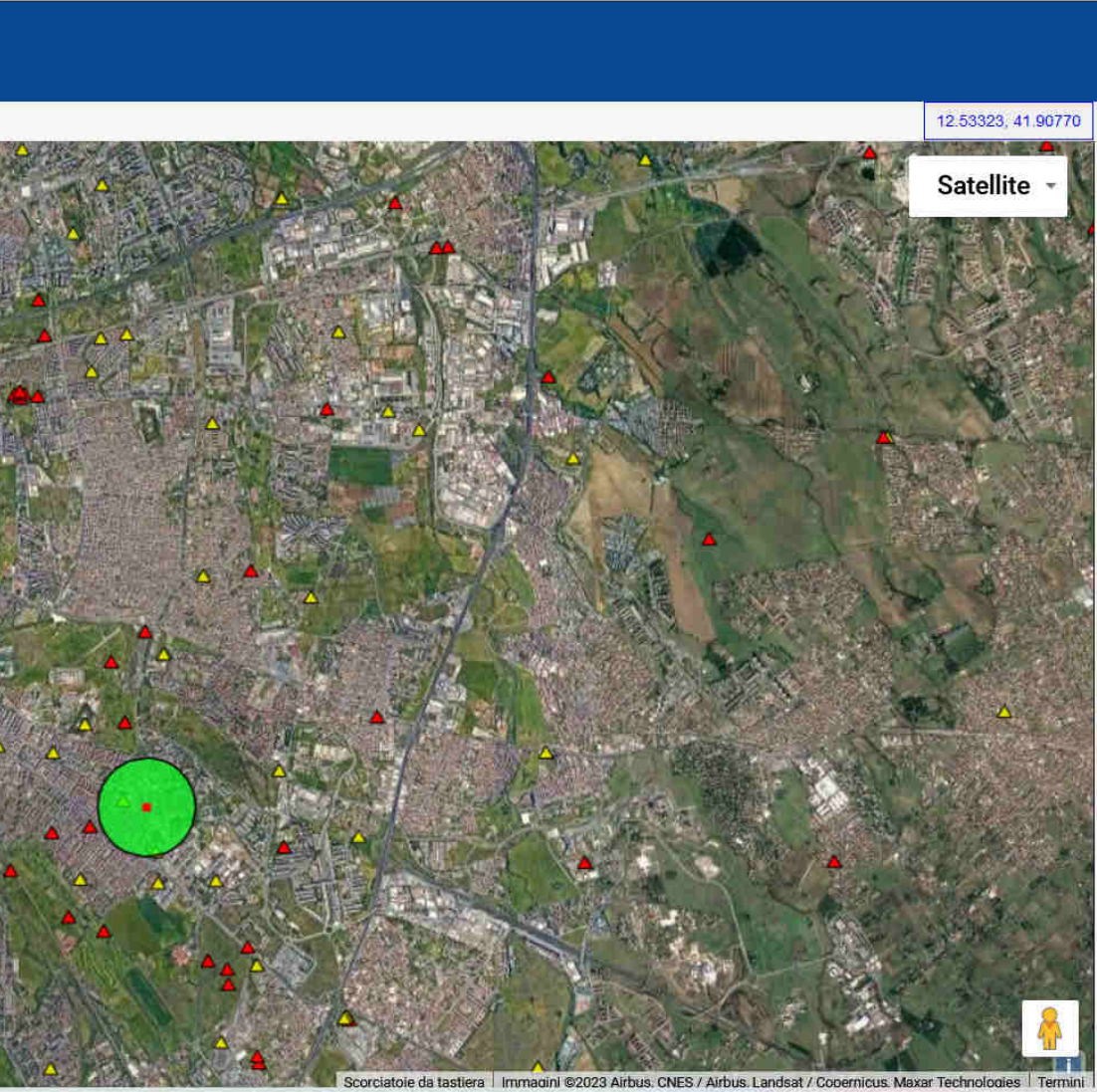


Fig. 3. Mappa della recessione superficiale stimata in corrispondenza di alcune delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria di Roma (Carta del Rischio del Patrimonio Culturale).



2. Risk Mapping Tool for Cultural Heritage Protection

Uno dei principali risultati dei progetti *Interreg Central Europe ProteCHt2save* e *STRENCH* è il *Risk mapping tool for Cultural Heritage Protection (Risk Mapping Tool)*²². Si tratta di una piattaforma WebGIS liberamente accessibile agli utenti attraverso una semplice registrazione che è stata ideata con lo scopo di fornire uno strumento di supporto ad autorità ed enti pubblici e privati nell'ambito della protezione e gestione dei beni culturali a rischio da eventi climatici estremi, quali piogge intense, alluvioni e prolungati periodi siccitosi. Si basa sul concetto di rischio che implica l'esistenza di una sorgente di pericolo e delle possibilità che ne consegua un danno²³.

2.1. Analisi della pericolosità

Le differenti funzioni disponibili all'interno della piattaforma permettono di visualizzare e scaricare informazioni e dati sotto forma di mappe ad elevata risoluzione spaziale (fino a 12x12 Km) e serie temporali delle variazioni delle principali variabili climatiche (temperatura e precipitazione) e di specifici indici di estremi climatici elaborati appositamente per valutare i potenziali impatti sul patrimonio costruito e sul paesaggio. Gli indici climatici utilizzati, riportati in Tabella 1, sono stati selezionati da una serie di indici standard utilizzati per la stima di eventi estremi quali: piogge intense, siccità, inondazioni e ondate di calore e definiti dal gruppo di esperti denominato *Expert Team on Climate Change Detection Indices (ETCCDI)*²⁴. Tali indici, elencati e descritti in una pagina dedicata del *Risk Mapping Tool*, sono inoltre consultabili per approfondimenti sia sul sito web dell'*Expert Team on Climate Change Detection Indices* sia sul sito web del progetto 'Climdex'²⁵.

Gli indici selezionati sono stati quindi utilizzati per la produzione di mappe climatiche che permettono l'individuazione di potenziali aree geografiche di rischio, in Europa e nel bacino del Mediterraneo, nei confronti di un determinato evento legato a variazioni estreme di temperatura e precipitazione al fine di valutare i possibili impatti sul patrimonio costruito.

Le mappe prodotte derivano dall'applicazione della modellistica climatica e sono consultabili nell'apposita sezione del *Risk Mapping Tool* dedicata al *Climate Modelling* (Fig. 4). Per studiare la possibile evoluzione futura del sistema climatico sono state infatti analizzate simulazioni numeriche di modelli climatici. In particolare, un insieme di 12 combinazioni di modelli climatici globali (GCM) e regionali (RCM) è stato utilizzato per fornire proiezioni regionali per il continente europeo e per il bacino del Mediterraneo. È possibile consultare mappe relative sia alle proiezioni ottenute da ciascuna coppia di GCM/RCM utilizzata, sia rappresentative delle medie dei valori

²² Cfr. <<https://www.protech2save-wgt.eu/>> [27/10/2023].

²³ SARDELLA *et al.* 2020; BONAZZA *et al.* 2021.

²⁴ Cfr. <<http://etccdi.pacificclimate.org/indices>

> [27/10/2023].

²⁵ Cfr. <<https://www.climdex.org/learn/indices>> [27/10/2023].

Evento	Indice	Descrizione breve	Descrizione	UM
Siccità	CDD	Numero massimo di giorni secchi consecutivi	Durata massima di un periodo di siccità in un anno, ovvero il numero massimo in un anno di giorni secchi consecutivi con precipitazioni giornaliere inferiori a 1 mm/giorno	giorni
Caldo estremo	Tx90p	Giorni estremamente caldi	Percentuale di giorni in un anno in cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile. Una soglia basata sul 90° percentile seleziona solo il 10% dei giorni più caldi su un periodo di riferimento di 30 anni	%
Pioggia intensa	R20mm	Giorni con precipitazioni molto abbondanti	Numero di giorni in un anno con precipitazioni maggiori o uguali a 20 mm/giorno	giorni
	R95pTOT	Precipitazioni dovute a giornate estremamente umide	Le precipitazioni totali in un anno cumulate su tutti i giorni in cui le precipitazioni giornaliere sono superiori al 95° percentile delle precipitazioni giornaliere nei giorni piovosi. Un giorno piovoso è definito come avente precipitazioni giornaliere ≥ 1 mm/giorno. Una soglia basata sul 95° percentile seleziona solo il 5% dei giorni di pioggia più estrema su un periodo di riferimento di 30 anni.	mm
Alluvione	Rx5day	Massima quantità di precipitazioni su 5 giorni	Massimo annuo di precipitazioni cumulate su periodi di 5 giorni consecutivi	mm

Tab.1. Indici climatici estremi selezionati per l'analisi della pericolosità climatica e degli impatti sul patrimonio culturale. Indici climatici di eventi estremi di temperatura e precipitazione selezionati tra i 27 indici ETCDDI che rappresentano statisticamente un particolare tipo di evento idrometeorologico estremo.

minimi, medi e massimi di tutte le 12 combinazioni utilizzate (*ensemble minimum, medium, maximum*).

I modelli climatici globali e regionali utilizzati provengono da simulazioni EuroCORDEX²⁶ con risoluzione spaziale di 0.11°²⁷. Simulazioni storiche e di proiezione dei RCM sono state analizzate per calcolare le anomalie. Le mappe consultabili sulla piattaforma rappresentano quindi i possibili cambiamenti delle future climatologie rispetto alle condizioni passate. Le variazioni sono valutabili relativamente a due scenari climatici a scala globale (RCP - *Representative Concentration Pathways*, RCP4.5 e RCP8.5), per due trentenni futuri (2021-2050 e 2071-2100) rispetto alla climatologia storica di riferimento (1976-2005)²⁸.

Tra gli strumenti disponibili all'interno del *Risk Mapping Tool* è da segnalare la funzione *Open Search* che permette di esplorare e di analizzare in modo interattivo

²⁶ Cfr. <<http://www.euro-cordex.net>> [27/10/2023].

²⁷ Cfr. <<https://www.euro-cordex.net/imperia/md/>

content/csc/cordex/20180130-eurocordex-simulations.pdf> [27/10/2023].

²⁸ SARDELLA *et al.* 2020.

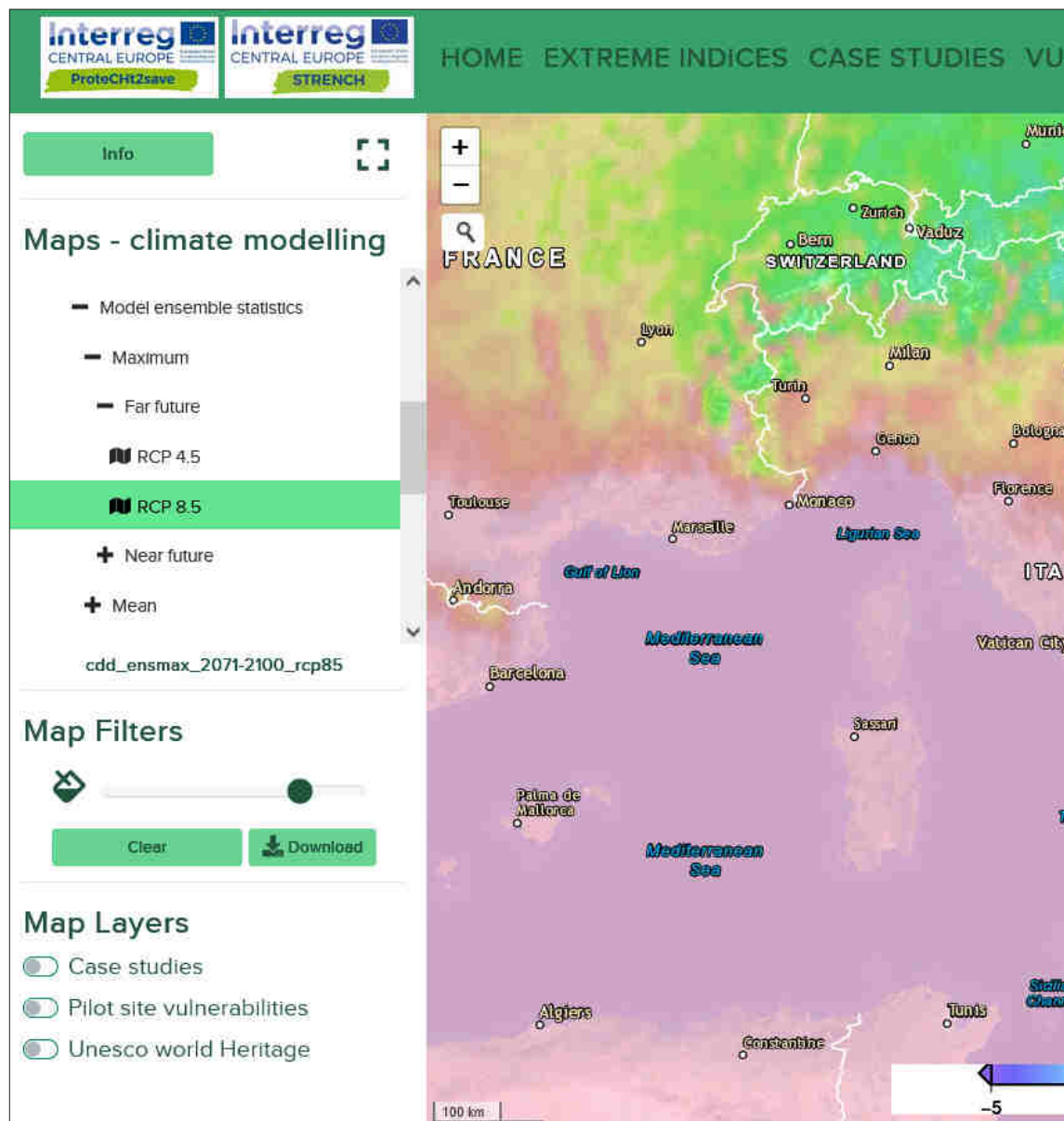
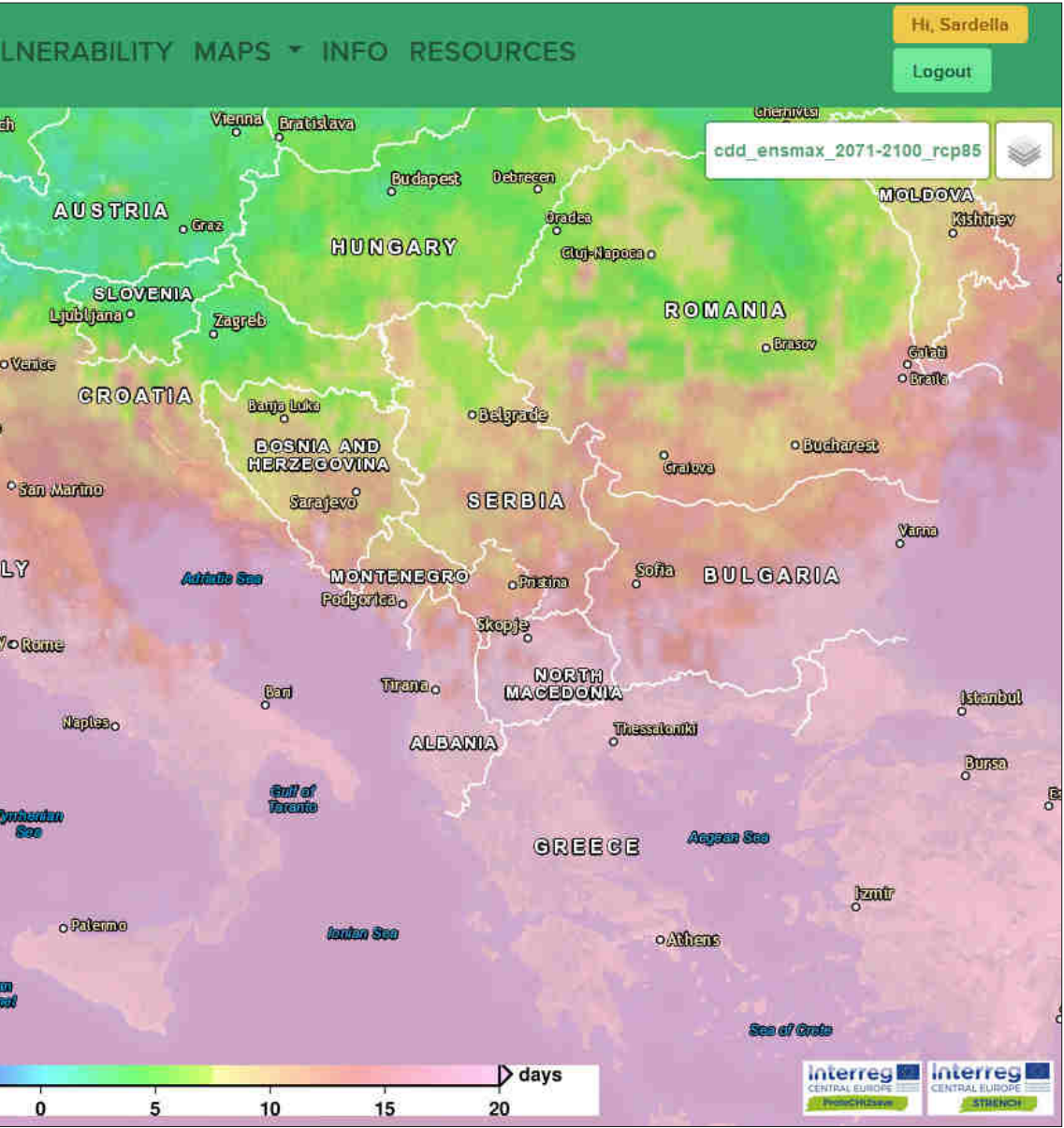


Fig. 4. Immagine rappresentativa di una schermata del Numero massimo di giorni secchi consecutivi relativa allo strumento di mappatura *climate modeling*. Esempio di proiezione dell'indice CDD - Numero massimo di giorni secchi consecutivi, scenario RCP 8.5. Proiezioni climatiche delle variazioni previste dall'ensemble max per il periodo 2071-2100 rispetto al periodo di riferimento 1976-2005.



su scala mensile, stagionale e annuale, serie storiche (dal 1950 al 2022) di selezionati indici climatici rappresentativi di eventi estremi di precipitazione e temperatura. Tali indici sono stati elaborati utilizzando dati di temperatura e precipitazione forniti da specifici prodotti numerici del programma europeo di osservazione della terra *Copernicus*, in particolare dal servizio C3S²⁹ (ERA5, ERA5 Land), e dati di precipitazione ricavati dalla missione *Global Precipitation Measurement* della NASA³⁰ (GPM-IMERG). I dati visualizzati sul *Risk Mapping Tool* sono anche disponibili in formato Geotiff al fine di poter essere scaricati e analizzati dall'utente anche al di fuori della piattaforma stessa, utilizzando altri *software* GIS per l'analisi di dati spaziali georeferenziati. A titolo di esempio, in Tabella 2 è riportato un elenco dei soli indici di estremi climatici elaborati sfruttando dati di temperatura e precipitazione ricavati dal prodotto ERA5 Land del C3S, con indicazione della loro aggregazione temporale.

Climate extreme index	Aggregazione temporale	Unità
Numero di giorni estivi ($T_{max} > 25^{\circ}C$) (SU)	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni
Numero di notti tropicali ($T_{min} > 20^{\circ}C$) (TR)	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni
Numero di giorni molto caldi (T_{x99p})	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni
Numero di giorni con precipitazioni $> 20mm$ (R20mm)	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni
Precipitazioni dovute a giornate estremamente umide (R95p-TOT)	mensile	metri
	stagionale	metri
	annuale	metri
Occurrence of consecutive dry days (CDD5)	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni
Massima quantità di precipitazioni su 5 giorni (Rx5day)	mensile	metri
	stagionale	metri
	annuale	metri

²⁹ Cfr. <<https://climate.copernicus.eu/>> [27/10/2023].

³⁰ Cfr. <<https://gpm.nasa.gov/>> [27/10/2023].

Precipitazioni giornaliere massime previste in 50 anni (50-yr Return Level)		millimetri
Numero massimo di giorni secchi consecutivi (CDD)	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni
Numero massimo di giorni umidi consecutivi (CWD)	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni
Giorni estremamente caldi (Tx90p)	annuale	giorni
Indice Ondata di calore (HWI)	mensile	giorni
	stagionale	giorni
	annuale	giorni

Tab. 2. Elenco degli indici climatici disponibili all'interno della funzione *Open Search* del *Risk Mapping Tool* elaborati utilizzando dati di precipitazione e temperatura del prodotto di rianalisi ERA5 Land del Servizio C3S.

3. Approcci alla valutazione della vulnerabilità

3.1 Valutazione della vulnerabilità nella Carte del Rischio

Nel Sistema Informativo della Carta del Rischio, la vulnerabilità è condizionata dallo stato di conservazione del bene.

Per i beni architettonici, può essere stimata attraverso una procedura di schedatura (scheda di vulnerabilità) realizzata, *in situ*, analizzando le condizioni di conservazione di dodici elementi che costituiscono il bene: fondazioni, strutture in elevazione, strutture di orizzontamento, coperture, collegamenti verticali, pavimenti interni, pavimenti esterni, rivestimenti, apparato decorativo interno, rivestimenti e decorazioni esterne, infissi interni, infissi esterni³¹.

Per ciascun elemento vengono analizzate sei tipologie di danno: danni strutturali, disgregazione del materiale, macchie da umidità, attacchi biologici, alterazione degli strati superficiali, parti mancanti.

Per ciascuna tipologia di danno sono classificate, la gravità, l'estensione e l'urgenza secondo una scala di intensità suddivisa in più livelli³².

I dati relativi alle tipologie di danno e alla loro intensità vengono generalmente raccolti, elaborati e successivamente introdotti nell'algoritmo (2) per la quantificazione dell'indice di vulnerabilità $V(k)$ ³³:

³¹ CACACE *et al.* 2014.

³² FERRONI *et al.* 2022.

³³ $V(k)$ = indice di vulnerabilità (espresso in unità arbitrarie) del bene k-esimo; m = numero di varia-

$$V(k) = \sum (P_j \times Q_{ji} / (m - n) \times (\text{cost}/m))$$

La procedura di calcolo della vulnerabilità considera inoltre tre aspetti dello stato di conservazione del bene: globale, statico-strutturale e superficiale³⁴.

Delle tre tipologie di vulnerabilità, quella superficiale descrive lo stato di conservazione delle superfici dei beni in relazione all'inquinamento atmosferico e ai fattori meteorologici ed è la vulnerabilità che viene utilizzata per la valutazione del rischio nel dominio ambientale-aria.

3.2 Stima della vulnerabilità nel Risk Mapping Tool for Cultural Heritage Protection

La piattaforma introdotta nella sezione 2 fornisce inoltre una metodologia per la valutazione della vulnerabilità a scala locale, calcolata attraverso l'identificazione di specifici elementi critici fisici e gestionali legati al bene in oggetto. Tale metodologia, messa a punto nel progetto *Interreg Central Europe STRENGTH*, è valida sia per categorie di patrimonio culturale costruito che naturale (parchi e giardini storici, siti archeologici, complessi monumentali, paesaggio terrazzato), in relazione all'impatto di eventi idrometeorologici estremi quali piogge intense, alluvioni e prolungati periodi di siccità. Una caratterizzazione dettagliata delle differenti categorie di patrimonio culturale considerate è presente nella sezione del *Risk Mapping Tool* dedicata alla descrizione dei casi studio relativi ai due progetti *ProteCHt2save* e *STRENGTH*. Tale sezione fornisce anche informazioni importanti circa i principali rischi ambientali legati ad eventi idrometeorologici estremi cui tali beni sono soggetti e un'analisi degli eventi disastrosi che sono avvenuti in passato.

La metodologia per la valutazione della vulnerabilità sopracitata è descritta in dettaglio nel 'deliverable' del progetto *STRENGTH D.T1.2.2 Definition of a methodology for ranking vulnerability of cultural heritage*³⁵ e comprende anche un allegato che guida passo dopo passo l'utente all'analisi del proprio caso studio. L'approccio seguito, di tipo empirico, è basato sulla consultazione e interazione con i portatori di interesse locali e mira ad includere e a valutare gli elementi critici che determinano la vulnerabilità di un bene, non solo appartenenti al dominio fisico/chimico/strutturale, ma anche di tipo socio-culturale e gestionale.

In *STRENGTH* quindi la vulnerabilità è stata interpretata come la combinazione di tre fattori principali di un sistema:

$$\text{Vulnerabilità} = \text{Suscettibilità} + \text{Esposizione} - \text{Resilienza}$$

Questi tre fattori rappresentano i principali requisiti da caratterizzare per fornire una valutazione della vulnerabilità. La suscettibilità o sensibilità identifica la fragilità,

bili utilizzate per quantificare lo stato di conservazione superficiale in relazione all'urgenza, alla gravità e all'entità del danno; n = numero di variabili per le quali non sono disponibili informazioni; P_j = peso della variabile j -esima; Q_{ji} = valore i -esimo

della variabile j -esima; cost/m = costante aggiornata in relazione al peso aggiornato delle variabili. ACCARDO *et al.* 2003a.

³⁴ GADDI *et al.* 2022.

³⁵ CACCIOTTI *et al.* 2020.

la carenza o la predisposizione di un sistema ad essere influenzato negativamente dal verificarsi di un evento; in altre parole, il requisito di suscettibilità definisce il grado in cui un bene culturale è influenzato da un evento. L'esposizione si riferisce alla presenza di persone, mezzi di sussistenza, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi e risorse, infrastrutture o beni economici, sociali o culturali in luoghi e ambienti che potrebbero essere danneggiati dal verificarsi di un disastro. La resilienza identifica la capacità di un sistema di assorbire i cambiamenti e riorganizzarsi in modo da mantenere essenzialmente la stessa funzione e identità³⁶. Essa costituisce un aspetto fondamentale della vulnerabilità che contribuisce alla sua riduzione. È rappresentato da quegli elementi di un sistema di patrimonio culturale che caratterizzano la sua capacità di adattamento e ripristino.

Nello specifico, l'analisi viene condotta attraverso la consultazione con gli utenti e i portatori di interesse responsabili della gestione e manutenzione del sito culturale. Tali soggetti sono chiamati a fornire una stima qualitativa di criteri e sotto-criteri associati a ciascuno dei tre requisiti principali richiesti (suscettibilità, esposizione e resilienza). La stima per ogni criterio e sotto-criterio è associata direttamente ad un valore compreso tra 0 e 1. Nel *'deliverable'* vengono fornite le definizioni dei termini utilizzati e sono incluse linee guida semplificate per la valutazione; vengono inoltre descritti in dettaglio i differenti parametri da considerare durante il processo di analisi del bene per ciascuno dei requisiti (suscettibilità, esposizione e resilienza) e dei relativi criteri e sotto-criteri, riportando per ciascuno di essi i relativi pesi da assegnare ai fini del calcolo finale della vulnerabilità. I pesi e i valori vengono determinati utilizzando il metodo del cosiddetto 'Processo di Gerarchia Analitica', successivamente revisionati da esperti.

La ponderazione proposta nella metodologia descritta può variare in base ai requisiti specifici del sito (per esempio tipo di pericolo, tipologia del patrimonio culturale ecc.). Pertanto, i valori e i pesi presentati devono essere considerati solo come riferimento, la cui validità è limitata ad uno scenario di rischio simulato. Anche le situazioni multirischio e gli effetti sinergici di azioni concomitanti legate al clima non vengono prese in considerazione e devono essere trattate con un'analisi approfondita.

Una volta eseguita l'analisi di un determinato caso studio, identificandone i valori che influenzano i requisiti di Suscettibilità, Esposizione e Resilienza, così come indicato precedentemente sarà possibile calcolare la vulnerabilità di una determinata categoria di patrimonio culturale applicando la seguente formula:

$$\text{Vulnerabilità} = 0.70 \times \text{Suscettibilità} + 0.30 \times \text{Esposizione} - 0.30 \times \text{Resilienza}$$

Il valore della vulnerabilità potrà quindi variare tra 0 (bassa vulnerabilità) e 1 (alta vulnerabilità)

³⁶ CLOETE 2012.

Le sezioni del *Risk Mapping Tool* dedicate alla presentazione dei casi studio e della metodologia della vulnerabilità permettono di visualizzare e scaricare le schede di descrizione e di valutazione della vulnerabilità di ciascun caso studio del progetto, al fine di rendere disponibile il materiale prodotto come esempio per l'applicazione su altri casi di studio.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano i colleghi partner dei Progetti *Interreg Central Europe Pro-teCHt2save* e *STRENCH* per la collaborazione ed il supporto al raggiungimento degli obiettivi di progetto, tra cui la messa a punto del *Risk Mapping Tool for Cultural Heritage Protection*.

Si ringrazia inoltre il dott. Carlo Cacace per il suo importante contributo e continuo supporto nell'implementazione della Carta del Rischio.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ACCARDO *et al.* 2003: G. Accardo, A. Altieri, C. Cacace, E. Giani, A. Giovagnoli, *Risk Map: a project to aid decision-making in the protection and conservation of Italian Cultural Heritage*, in J.H. Towensend (a cura di), *Conservation Science*, papers from the conference held in Edinburg, Scotland (22-24 May 2002), Archetype Publications, London 2003, pp. 44-49
- ACCARDO *et al.* 2003a: G. Accardo, E. Giani, A. Giovagnoli, *The Risk Map of Italian Cultural Heritage*, in «Journal of Architectural Conservation», 2, 2003, pp. 41-57
- ACCARDO *et al.* 2005: G. Accardo, C. Cacace, R. Rinaldi, *Il Sistema Informativo Territoriale della carta del Rischio*, in «ARKOS. Scienza e Restauro dell'Architettura», n.s., VI, 2005, 3, pp. 43-52
- BONANNI *et al.* 2019: P. Bonanni, R. Gaddi, M. Cusano, M.F. Fornasier, C. Iadanza, D. Spizzichino, A. Trigila, *Le attività di ISPRA per la tutela dei beni culturali: la partecipazione al progetto Artek*, ISPRA Rapporti, 310, 2019
- BONAZZA *et al.* 2009: A. Bonazza, P. Messina, C. Sabbioni, C.M. Grossi, P. Brimblecombe, *Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe*, in «Science of Total Environment», 407, 2009, pp. 2039-2050
- BONAZZA *et al.* 2018: A. Bonazza, I. Maxwell, M. Drdáký, E. Vintzileou, C. Hanus, C. Ciantelli, P. De Nuntiis, E. Oikonomopoulou, V. Nikolopoulou, S. Pospíšil, C. Sabbioni, P. Strasser, *Safeguarding Cultural Heritage from Natural and Man-Made Disasters A comparative analysis of risk management in the EU*, © European Union, Brussels 2018, DOI:10.2766/224310, <<https://data.europa.eu/doi/10.2766/224310>> [28/10/2923]
- BONAZZA *et al.* 2021: A. Bonazza, A. Sardella, A. Kaiser, R. Cacciotti, P. De Nuntiis, C. Hanus, I. Maxwell, T. Drdáký, M. Drdáký, *Safeguarding cultural heritage from climate change related hydrometeorological hazards in Central Europe*, in «International Journal of Disaster Risk Reduction», 63, 2021, p. 102455, <<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102455>> [27/10/2023]

- BONAZZA, SARDELLA 2023: A. Bonazza, A. Sardella, *Climate Change and Cultural Heritage: Methods and Approaches for Damage and Risk Assessment Addressed to a Practical Application*, in «Heritage», 6, 2023, 4, pp. 3578-3589, <<https://doi.org/10.3390/heritage6040190>> [27/10/2023]
- CACACE *et al.* 2014: C. Cacace, A. Giovagnoli, R. Gaddi, M. Cusano, P. Bonanni, *Gli impatti dei cambiamenti climatici e dell'inquinamento atmosferico sui beni culturali di Ancona*, in «Bollettino ICR», 28, 2014, pp. 47-67
- CACCIOTTI *et al.* 2020: R. Cacciotti, M. Drdácý, with the contribution of all partners, *Definition of a methodology for ranking vulnerability of cultural heritage*, in «STRENCH Project Deliverable 1.2.2», 2020, <<https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/STRENCH/STRENCH-Newsletter-03-2021.pdf>> [22/9/2023]
- CARTA DEL RISCHIO 1996: *Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*, A.T.I. Maris, Roma 1996
- CLOETE 2012: C. Cloete, *Assessing urban resilience*, in «WIT Transactions on Information and Communication Technologies», 44, 2012, pp. 341-351
- D.LGS 155/2010: D. lgs 13 agosto 2010, n. 155, *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa*, SO n.217 alla Gazzetta Ufficiale n. 216, 2010
- DE MARCO *et al.* 2017: A. De Marco, A. Screpanti, M. Mircea, A. Piersanti, C. Proietti, M.F. Fornasier, *High resolution estimates of the corrosion risk for cultural heritage in Italy*, in «Environmental Pollution», 226, 2017, pp. 260-267
- FERRONI, CACACE 2022: A. Ferroni, C. Cacace, *Il sistema informativo territoriale della "Carta del rischio del patrimonio culturale italiano e i siti UNESCO italiani: un processo virtuoso per il monitoraggio della vulnerabilità dei beni del patrimonio mondiale"* in «Restauro Archeologico, Special issue», 1, 2022, pp. 282-291
- GADDI *et al.* 2022: R. Gaddi, C. Cacace, A. Di Menno di Bucchianico, *The risk assessment of surface recession damage for architectural buildings in Italy*, in «Journal of Cultural Heritage», 2022, 57, pp. 118-130
- KUCERA *et al.* 2007: V. Kucera, J. Tidblad, K. Kreislova, D. Knotkova, M. Faller, D. Reiss, R. Snethlage, T. Yates, J. Henriksen, M. Schreiner, M. Melcher, M. Ferm, R-A. Lefèvre, J. Kobus, *UN/ECE ICP materials dose-response functions for the multi-pollutant situation*, in «Water, Air & Soil Pollution», Focus 7, 2007, pp. 249-258
- MAPPING OF EFFECTS ON MATERIALS 2015: *Mapping of Effects on Materials Chapter IV of Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends*, 2015, <<https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2015/AIR/WGE/Ch4-MapMan-2015-08-24.pdf>> [27/10/2023]
- MULTIASSESS 2005: *MULTI-ASSESS model for multi-pollutant impact and assessment of threshold levels for cultural heritage 2002-2005*, 2005, <<https://www.ri.se/sites/default/files/2021-04/ICP-MULTI-ASSESS-Publishable-final-report.pdf>> [27/10/2023]
- PRESTILEO *et al.* 2022: F. Prestileo, A. Mascitelli, G. Meli, M. Petracca, C. Giorgi, D. Melfi, S. Puca, S. Dietrich, *Resilience of Cultural Heritage in Extreme Weather Conditions: The Case of the UNESCO Villa Romana del Casale Archaeological Site's Response to the Apollo Medicanne in October 2021*, in O. Gervasi *et al.* (a cura di), *Computational Science and Its Applications*, atti del convegno ICCSA 2022 (Malaga, Spain, 3-6 luglio 2022), Springer, Cham 2022, pp. 511-526, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-10542-5_35> [27/10/2023]

- SARDELLA *et al.* 2020: A. Sardella, E. Palazzi, J. von Hardenberg, C. Del Grande, P. De Nuntiis, C. Sabbioni, A. Bonazza, *Risk mapping for the sustainable protection of cultural heritage in extreme changing environments*, in «Atmosphere», 11, 2020, 7, *Special Issue Assessing the Impact of Climate Change on Urban Cultural Heritage*, <<https://doi.org/10.3390/atmos11070700>> [27/10/20]
- STRENGTHENING CULTURAL HERITAGE RESILIENCE FOR CLIMATE CHANGE 2022: *Strengthening cultural heritage resilience for climate change: where the European Green Deal meets cultural heritage*, European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Publications Office of the European Union, 2022, <<https://data.europa.eu/doi/10.2766/44688>> [27/10/2023]
- STRLIC *et al.* 2013: M. Strlic, D. Thickett, J. Taylor, M. Cassar, *Damage functions in heritage science*, in «Studies in Conservation», 58, 2013, 2, pp. 80–87
- TIDBLAD *et al.* 2001: J. Tidblad, V. Kucera, AA. Mikhailov, J. Henriksen, K. Kreislova, T. Yates, B. Stockle, M. Scchre, *UN ECE ICP materials: dose–response functions on dry and wet acid deposition effects after 8 years of exposure*, in «Water, Air and Soil Pollution», 130, 2001, pp. 1457–1462
- WAGNER *et al.* 2021: A. Wagner, Y. Bennouna, A.-M. Blechschmidt, G. Brasseur, S. Chabrillat, Y. Christophe, Q. Errera, H. Eskes, J. Flemming, K.M. Hansen, A. Inness, J. Kapsomenakis, A. Langerock, A. Richter, N. Sudarchikova, V. Thouret, C. Zerefos, *Comprehensive evaluation of the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) reanalysis against independent observations: Reactive gases*, in «Elementa: Science of the Anthropocene», 9, 2021, pp. 1–31

Abstract

GLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL PATRIMONIO CULTURALE DI VENEZIA. PROPOSTA DI UN METODO PER LA DEFINIZIONE DI MISURE DI CONTRASTO

FRANCESCO TROVÒ

Il contributo inquadra nel contesto attuale con una visione transcalare, globale e locale, una serie di riflessioni e attività svolte presso l'Università Iuav di Venezia, finalizzate a delineare le misure di contrasto e di adattamento ai diversi effetti dei cambiamenti climatici nell'ambito del Sito UNESCO Venezia e la sua laguna, descrivendo il metodo assunto e descrivendo brevemente ciascuna delle relative fasi operative.

In particolare, dopo una descrizione delle posizioni assunte sull'argomento dalle principali istituzioni internazionali, come ONU, Comunità Europea, ICOMOS, e di associazioni come Europa Nostra, viene descritta sommariamente la situazione del patrimonio edificato in Italia, mettendo in evidenza il ruolo significativo dei principi e degli strumenti della disciplina del Restauro al fine della transizione ecologica.

Sono descritte una serie di esperienze di ricerca, alcune ancora nella fase del progetto e candidate, altre già definite e avviate, riconducibili al contesto edificato del sito UNESCO 'Venezia e la sua laguna'. Il tema dei cambiamenti climatici è stato trattato nelle due principali componenti: la prima legata alla mitigazione delle cause, e quindi riconducibile a misure di contrasto delle emissioni clima alteranti e dell'efficienza energetica dell'edilizia storica, la seconda legata al tema della definizione delle minacce e delle possibili azioni di contrasto degli effetti dei cambiamenti climatici sul patrimonio culturale veneziano.

THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE CULTURAL HERITAGE OF VENICE. A PROPOSED METHOD FOR DEFINING MEASURES TO COMBAT THEM

FRANCESCO TROVÒ

Using a trans-scalar, global, and local vision, this paper frames within the current setting a series of reflections and activities performed by Iuav University of Venice, aimed at outlining the measures to combat and adapt to the various effects of climate change within the Venice and its Lagoon UNESCO Heritage Site, describing the employed method and briefly discussing the related operative phases.

In particular, after briefly illustrating the stances taken on the subject by such leading international institutions as the UN, the European Community, and ICOMOS, as well as associations like Europa Nostra, the situation of Italy's building stock is summarized, highlighting the significant role of the principles and instruments of the regulations on Restoration for the purposes of ecological transition.

A series of research experiences is described, some of which still in the design and candidate phase, and others already defined and begun, involving the buildings in the Venice and its Lagoon UNESCO Heritage Site. The issue of climate change has been discussed in the two main components: the first connected with mitigating the causes and therefore to measures to combat greenhouse gas emissions and to achieve energy efficiency for historic

ABSTRACT

buildings, and the second linked to the issue of defining the threats and the possible actions to combat the effects of climate change on Venice's cultural heritage.

ANTICHE SUBSIDENZE E NUOVI CAMBIAMENTI CLIMATICI: LE SFIDE ATTUALI PER IL PATRIMONIO MONUMENTALE DI RAVENNA

ANDREA UGOLINI

La subsidenza è un fenomeno antico presente in diverse aree della Pianura Padana e della costa adriatica che si manifesta con un lento ma progressivo abbassamento dei suoli. In alcune città storiche, in particolar modo a Ravenna, esso è all'origine delle sostanziali trasformazioni del sedime urbano e dei suoi monumenti. Si tratta di un processo che, a partire dalla metà del secolo scorso, si è andato via via aggravando con l'estrazione industriale dei fluidi del sottosuolo, determinando impatti ambientali rilevanti al punto da rendere necessari provvedimenti legislativi e strategie adattive per tentare di porvi rimedio. La natura alluvionale dei suoli su cui sorgono Ravenna e il territorio limitrofo concorrono quindi da tempo a rendere problematica la conservazione del patrimonio costruito storico.

I cambiamenti climatici che in questi anni hanno segnato il pianeta hanno causato, anche in queste zone, eventi meteorologici estremi sempre più frequenti e intensi, oltre che l'innalzamento del livello del mare, generando profonde trasformazioni a livello territoriale e ambientale secondo il cosiddetto 'effetto domino'. Sebbene la specifica relazione fra subsidenza e mutamento del clima non sia stata ancora chiarita, le condizioni climatiche e microclimatiche in cui si trovano la città e il suo patrimonio storico-architettonico, l'abbondanza di corsi d'acqua sotterranei e alte falde acquifere, la natura del sottosuolo risultano comunque influenzati dall'evoluzione e dalla modifica delle condizioni ambientali.

Il contributo analizza le problematiche della subsidenza, le modalità d'intervento per la tutela del patrimonio monumentale dal XIX sec. ad oggi e sintetizza infine alcune le nuove proposte di cura elaborati nell'ambito di progetti di ricerca *in fieri* e conclusi. Fra questi figurano i progetti SIRIUS *Strategie per la gestione del patrimonio culturale a rischio* e H2020 SHELTER (*Sustainable Historic Environments hoListic reconstruction through Technological Enhancement and community-based Resilience*), quest'ultimo caratterizzato da un approccio olistico alla salvaguardia di uno degli otto siti nella lista Unesco della città, relativo alla basilica di Santa Croce (V sec.), nella *buffer zone* dell'area monumentale di San Vitale.

ANCIENT SUBSIDENCE AND NEW CLIMATE CHANGE: CURRENT CHALLENGES FOR RAVENNA'S MONUMENTAL HERITAGE

ANDREA UGOLINI

An age-old phenomenon present in various areas of the Po Valley and the Adriatic coast, subsidence is manifested with a slow but progressive lowering of the soil. In some historic cities, and in particular Ravenna, it has given rise to substantial transformations of the urban land and its monuments. It is a process that, starting in the middle of the last century, has been gradually worsening with the industrial extraction of liquids from the subsoil, bringing environmental impacts significant enough to warrant legislative measures and adaptive strategies to attempt to remedy them. The alluvial nature of the land on which

ABSTRACT

Ravenna and its neighbouring territory rise has for some time contributed towards making the conservation of the historic building stock problematic.

The climate change affecting the planet during these years has led, in these areas as well, to increasingly frequent and intense weather events, as well as to higher sea levels, with a domino effect generating deep transformations on the territorial and environmental level. Although the specific relationship between subsidence and climate change has yet to be fully understood, the climate and micro-climate conditions of the city and its historical and architectural heritage, the abundance of subterranean rivers and shallow aquifers, and the nature of the subsoil are at any rate influenced by environmental conditions as they change and evolve.

This paper analyzes the problems of subsidence and the modes of intervention for protecting the monumental heritage from the nineteenth century to the present, and, lastly, it outlines some of the new care proposals developed in research projects, both in progress and concluded. These include the SIRIUS *Strategie per la gestione del patrimonio culturale a rischio* (strategies for managing the at-risk heritage) and H2020 SHELTER (*Sustainable Historic Environments hoListic reconstruction through Technological Enhancement and community-based Resilience*) projects; the latter is marked by a holistic approach to the safeguarding of one of the city's eight UNESCO-listed sites, the Basilica of Santa Croce (5th century), in the buffer zone of the San Vitale monumental area.

DANISH BUILDING CULTURE AND CLIMATE: INVESTIGATIONS OF EXISTING KNOWLEDGE ON LIFE CYCLE ASSESSMENTS AND CONSERVATION VALUES IN MODERNIST MULTI-STOREY HOUSING 1930-74

BIRGITTE TANDERUP EYBYE, NINA VENTZEL RIIS, MOGENS A. MORGEN

With the new AR6 Synthesis Report of IPCC, it is clear that climate change is a growing menace to the planet and humanity. Building is a major contributor to climate change, as the built environment accounts for circa 39% of global emissions and, the construction sector generates 25-30% of all waste in the EU. Recent research show that energy-efficiency refurbishment may have lower emissions than new construction. In continuation hereof, it is logical to examine how refurbishment of preservation-worthy buildings can reduce emissions while retaining or even enhancing the preservation values. This was the main objective of the research project called Building Culture and Climate (Danish: *Bygningskultur og Klima*) that was conducted in 2021.

The project 'Building Culture and Climate' was based on a task description written by Realdania and carried out as an interdisciplinary cooperation between researchers from Aarhus School of Architecture and Aarhus University. On an overall level, the project gained particular distinction for its research combining the technical elements of *Life Cycle Assessments* [LCA] with assessments of preservation values (the value assessment method called *SAVE*). In general, preservation-worthy buildings are vulnerable to (energy-efficiency) refurbishments and the Modernist heritage in particular, since it holds distinctive, yet delicate architectural values in the exterior that are easily impaired or even lost in refurbishments.

Consequently, the scope of the research project was to 1) investigate connections between LCA and preservation-worthy buildings (i.e. preservation values or architectural quality); 2) explore the share of preservation-worthy buildings in the total climate impact of existing buildings; 3) examine different energy-saving interventions in the building stock; 4) look into climate impacts of refurbishment versus new building which was carried out as case studies. The aim of this article is to present, discuss and evaluate the above research project. In doing so, the article will initiate an introduction to the overall investigation followed by chapters on the systematic literature review, the examinations into the building stock that delimits the choice of cases, the explorations into energy-saving interventions and, the multiple case study comprising four fictive case studies. Then, the article will discuss and evaluate the findings and overall research project and, lastly conclusions. Empiricism is delimited to Modernist heritage multi-storey housing built between 1930-74, since a large part of Danish housing was constructed in this period, has large heat consumption and, needs major renovations in the coming years. Applied theories and methods relate to architectural heritage such as SAVE, literature studies, case studies and LCA.

CULTURA DEL COSTRUIRE E CLIMA IN DANIMARCA: INDAGINI SULLE ATTUALI CONOSCENZE IN MATERIA DI ANALISI DEL *LIFE CYCLE ASSESSMENTS* E VALORI CONSERVATIVI IN ABITAZIONI MODERNISTE MULTIPIANO 1930-74

BIRGITTE TANDERUP EYBYE, NINA VENTZEL RIIS, MOGENS A. MORGEN

Dal nuovo Rapporto di sintesi AR6 dell'IPCC emerge chiaramente che il cambiamento climatico è una minaccia crescente per il pianeta e l'umanità. L'edilizia è uno dei principali fattori che contribuiscono al cambiamento climatico, in quanto l'ambiente costruito è responsabile di circa il 39% delle emissioni globali e il settore delle costruzioni genera il 25-30% di tutti i rifiuti dell'Ue. Recenti ricerche dimostrano che le ristrutturazioni ad alta efficienza energetica possono produrre emissioni inferiori rispetto a una nuova costruzione. Alla luce di ciò, risulta logico analizzare come la ristrutturazione di edifici meritevoli di conservazione possa ridurre le emissioni mantenendo o addirittura migliorando i valori conservativi. Era questo l'obiettivo principale del progetto di ricerca "Cultura del costruire e clima" (in danese, *Bygningskultur og Klima*), condotto nel 2021.

Il progetto si basava su una descrizione dell'incarico a cura di Realdania ed è stato realizzato con una collaborazione interdisciplinare tra i ricercatori della Scuola di Architettura di Aarhus e dell'Università di Aarhus. Nel suo complesso il progetto si è distinto per la ricerca che combina gli elementi tecnici del *Life Cycle Assessments* [LCA] con la valutazione dei valori di conservazione (il metodo di valutazione del valore SAVE). In generale, gli edifici meritevoli di conservazione sono vulnerabili alle ristrutturazioni (ad alta efficienza energetica), in particolar modo il patrimonio modernista, che presenta esteriormente valori architettonici distintivi e delicati che possono essere facilmente compromessi o addirittura perduti con la ristrutturazione.

Di conseguenza, lo scopo del progetto di ricerca è stato: 1) indagare le connessioni tra le LCA e gli edifici meritevoli di conservazione (cioè valori conservativi o qualità architettonica); 2) esplorare la percentuale degli edifici meritevoli di conservazione nell'impatto climatico totale degli edifici esistenti; 3) esaminare diversi interventi di risparmio energetico

nel patrimonio edilizio; 4) studiare gli impatti climatici della ristrutturazione rispetto alla costruzione di nuovi edifici, che sono stati realizzati come casi di studio.

L'obiettivo di questo articolo è presentare, discutere e valutare tale progetto di ricerca. L'articolo inizia con un'introduzione all'indagine in generale, seguita da capitoli su una rassegna sistematica della letteratura, sull'esame del patrimonio edilizio che delimita la scelta dei casi, sull'esplorazione di interventi di risparmio energetico e sul caso multiplo di quattro casi di studio fittizi. Si passa poi alla discussione e valutazione dei risultati e dell'intero progetto di ricerca e, infine, alle conclusioni.

Per scelta pratica, si sono prese in esame le abitazioni multipiano del patrimonio modernista costruite tra il 1930 e il 1974, poiché gran parte delle abitazioni danesi sono state costruite in quel periodo, hanno un elevato consumo di calore e nei prossimi anni richiederanno importanti interventi di ristrutturazione. Le teorie e i metodi applicati fanno riferimento al patrimonio architettonico, come SAVE, studi in letteratura, casi di studio e LCA.

SOSTENIBILITÀ E CURA DEL PATRIMONIO URBANO: PER UN NUOVO MODELLO DI GESTIONE DELL'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO NEI CENTRI STORICI. UN CASO STUDIO

MARIA VITIELLO

L'attenzione della legislazione italiana ed europea in materia di efficienza energetica si è sempre rivolta in maniera unidirezionale, all'architettura o alla città. Così, dal 1976 fino alle Direttive comunitarie più aggiornate è l'edificio, insieme alle sue componenti tecnologiche, ad essere oggetto della cura, poiché in esso è vista la radice del problema connesso alla produzione di emissioni aventi un effetto negativo sul cambiamento climatico. Così anche l'attenzione delle ricerche condotte in ambito accademico è stata rivolta quasi esclusivamente alla riqualificazione del fabbricato esistente. Ma i centri storici non possono essere interpretati come una mera sommatoria di architetture, specialistiche e 'di base'; questi realizzano un organismo complesso caratterizzato da "elementi e condizioni" (MIARELLI MARIANI 1978). Allora non basta aggiungere allo studio dell'efficientamento dell'architettura esistente la predisposizione dei Piani Energetici Comunali introdotti dalla legge 10/1991, per collocare in maniera corretta il problema della sostenibilità energetica nei centri storici, ma è necessario inquadrare il problema attraverso una prospettiva olistica, che sia capace di contenere e porre in diretta correlazione tutte le componenti che qualificano la struttura urbana. Il modello di gestione che si è cercato di sviluppare si appoggia ai sistemi informativi territoriali e interagisce con la scheda di rilievo urbano definita dall'ICCD. L'esemplificazione parte da un caso studio, il centro storico di Trivento (CB).

SUSTAINABILITY AND CARE FOR URBAN HERITAGE: TOWARDS A NEW MODEL FOR MANAGING ENERGY EFFICIENCY IN HISTORIC CENTRES. A CASE STUDY

MARIA VITIELLO

The attention that Italian and European legislation pays to energy efficiency has always run in a single direction, towards architecture or towards the city. Thus, from 1976 until the most updated EC Directives, it has been the building, along with its technological components,

ABSTRACT

that has been the object of care, because in it is seen the root of the problem connected to the production of emissions with negative effects on climate change. Thus also has the research conducted in academic settings addressed nearly exclusively the requalification of existing buildings. But historic centres cannot be interpreted as a mere sum of specialist and “basic” architectures; they produce a complex organism marked by “elements and conditions” (MIRELLI MARIANI 1978). Hence, in order to correctly place the problem of energy sustainability in historic centres, combining the preparation of the Municipal Energy Plans introduced by Law no. 10/1991 with studying the energy efficiency of existing architecture is not enough; the problem must be framed through a holistic perspective able to contain and directly correlate all the components that qualify the urban structure. The management model to be developed rests upon the territorial information systems and interacts with the urban survey data sheet defined by the Central Institute for Cataloguing and Documentation of Italian cultural heritage (Istituto centrale per il catalogo e la documentazione – ICCD). The examples start from a case study: the historic centre of Trivento (Campobasso).

CAMBIAMENTI CLIMATICI E PATRIMONIO CULTURALE: METODI E STRUMENTI DI PROTEZIONE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO

ALESSANDRA BONAZZA, RAFFAELA GADDI, ALESSANDRO SARDELLA

Il tema degli impatti dei cambiamenti climatici e delle attività antropiche sul patrimonio culturale è stato affrontato negli ultimi venti anni da studi scientifici e progetti di ricerca condotti a livello nazionale e internazionale mirati alla quantificazione dei danni e alla valutazione del rischio. In questo frangente sono stati proposti diversi approcci metodologici per la identificazione degli effetti sul patrimonio costruito delle variazioni graduali dei parametri climatici (come, ad esempio, temperatura e precipitazione) e di inquinamento e degli eventi idrometeorologici estremi legati ai cambiamenti climatici. Il presente contributo mira ad illustrare gli strumenti messi a punto nell’ambito dei progetti Interreg Central Europe ProteCHt2save e STRENGTH con particolare riferimento al *Risk Mapping Tool for Cultural Heritage Protection* dedicato alla salvaguardia dei beni culturali in Europa e nel Bacino del Mediterraneo nei confronti degli impatti da eventi climatici estremi (inondazioni, piogge intense, siccità). Verrà inoltre discusso l’approccio applicato nel sistema informativo territoriale Carta del Rischio, che rappresenta uno strumento in grado di individuare i beni potenzialmente a maggiore rischio in Italia e consente quindi l’eventuale pianificazione delle attività di monitoraggio e manutenzione del patrimonio culturale al fine di prevenire il danno e ridurre gli impatti. I contenuti del presente contributo sono strutturati in modo da evidenziare il ruolo fondamentale della ricerca nel sostenere i gestori dei beni culturali nella definizione di priorità di intervento ed i decisori politici nella definizione di strategie di protezione.

CLIMATE CHANGE AND CULTURAL HERITAGE: METHODS AND TOOLS FOR PROTECTION AND RISK ASSESSMENT

ALESSANDRA BONAZZA, RAFFAELA GADDI, ALESSANDRO SARDELLA

The impacts of climate change and human activities on cultural heritage is an issue that has been addressed over the last twenty years by scientific studies and research projects conducted on a national and international level, aimed at quantifying the damage and assessing

ABSTRACT

the risk. At this juncture, several different methodological approaches have been proposed for identifying the effects that gradual variations of climate parameters (such as temperature and precipitation, for example), pollution, and extreme climate-change-related hydric and weather events have on the building stock. This paper aims to illustrate the tools put in place as part of the Interreg Central Europe ProteCHt2save and STRENCH projects, with particular reference to the *Risk Mapping Tool for Cultural Heritage Protection* dedicated to safeguarding cultural assets in Europe and the Mediterranean basin from the impacts caused by extreme weather events (flooding, intense rain, drought). It will also discuss the approach applied in the Risk Map territorial information system, which is a tool capable of identifying the assets at greatest risk in Italy, and that therefore allows the monitoring and maintenance of the cultural heritage to be planned, where possible, in order to prevent damage and reduce impacts. The contents of this paper are structured so as to emphasize the fundamental role of research in supporting the managers of cultural assets as they set intervention priorities, and political decision makers as they define protection strategies.

Materiali e Strutture. Problemi di conservazione è una rivista dedicata alla ricerca su temi di restauro e conservazione, con particolare, ma non esclusivo, riferimento all'architettura del passato. Specifico interesse viene rivolto agli aspetti materiali e tecnici che caratterizzano la realtà costruita e artistica in generale, affrontati sia dal punto di vista quantitativo-scientifico che nelle possibili implicazioni teoretiche e nelle più adeguate prospettive di natura storico-critica.

L'apporto di competenze diverse, coerentemente con il carattere multidisciplinare del restauro, è particolarmente gradito, soprattutto se posto in relazione con la comprensione intima dell'opera e con la complessità generale delle problematiche conservative ad essa connesse.

Note per gli autori

In prima istanza i contributi vanno inviati via e-mail (donatella.fiorani@uniroma1.it), includendo le illustrazioni. L'invio presuppone che essi siano lavori originali, inediti e che non siano in corso di valutazione per un'eventuale pubblicazione altrove.

Norme redazionali

La prima pagina dovrà contenere: il titolo del contributo, il nome dell'autore, la qualifica e l'ente di appartenenza, un breve abstract.

Immagini

I file digitali delle illustrazioni, salvati in formato TIFF o JPEG, dovranno avere risoluzione minima non inferiore a 300 dpi.

Indicazioni bibliografiche

L'elenco completo delle indicazioni bibliografiche deve essere contenuto in un file specificamente dedicato.

Materials and Structure. Conservation problems is a review dedicated to the research of themes of restoration and conservation with particular, yet not exclusive, reference to the architecture of the past. Specific attention is given to the aspects of material and technology that characterize the realities of building and art in general. These aspects are treated both from a quantitative-scientific point of view as well as exploring any possible theoretical implications and the wider historical-critical perspective.

The contribution of different expertise, coherently with the multidisciplinary nature of restoration, is particularly welcome, especially if there is a correlation between this and a deep lying knowledge of the project and of the general intricacies of its relevant conservation problems.

Notes for Contributors

In the first instance, please submit your paper via e-mail (donatella.fiorani@uniroma1.it), including illustrations. Submission of a paper to the journal is taken to imply that it represents original work, which is not under consideration for publication elsewhere and has not published previously.

Editorial rules

The first page should contain: the title, the author's name, qualifications and affiliation, a short abstract.

Illustrations

Digital files of illustrations need to be at least 300 DPI, and saved as TIFF or JPEG files.

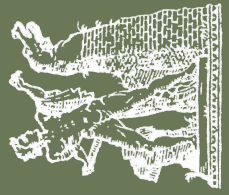
References

References should be cited in full into a specific file.

Finito di stampare nel mese di dicembre 2023
presso IGU – Industria Grafica Umbra s.r.l.
Todi (PG)



Copia Autore



ISSN 1121-2373

€ 25,00