

**ABSTRACT TESI:** Crisi ambientale e crisi energetica fanno da sfondo ai contemporanei orientamenti della ricerca tecnologica. Tramite azioni e sperimentazioni mirate alla riduzione del consumo di suolo si è spostata l'attenzione sul patrimonio storico esistente, considerato in termini di restauro, recupero, riqualificazione, riuso, riciclo, riqualificazione e rigenerazione, al fine di favorire la valorizzazione nonché la fruizione dello stesso. La progettazione tecnologica ambientale si inserisce all'interno di questo contesto cercando di coniugare qualità architettonica e qualità ambientale, attraverso l'efficientamento energetico, il controllo microclimatico e l'attenzione ai bisogni degli utenti. Partendo dal principio di conservazione delle caratteristiche passive proprie di qualsiasi edificio storico pre-industriale, l'obiettivo è quello di coniugarle in modo consapevole con sistemi attivi in grado di migliorarne le caratteristiche prestazionali, ragionando in funzione del raggiungimento di una condizione ottimale di comfort. L'idea è infatti quella di sviluppare delle strategie di intervento che garantiscano un equilibrio tra passato e futuro tenendo ben saldi i principi di adattabilità, compatibilità e reversibilità. Avvalersi del supporto di software di analisi e gestione del progetto permette di ipotizzare eventuali ricadute potenziali legate all'intervento di riqualificazione. Stimare la fattibilità e gli eventuali rischi preventivamente può essere una discriminante quando si operano scelte su un edificio storico custode di identità, memoria e valenze culturali.

**ABSTRACT THESIS:** The interest for the energy upgrading of historic buildings is a consequence of the energy crisis the world has been suffering for some years. Restoration, recover, reuse, recycle and regeneration of historic buildings is important for the need to reduce the soil consumption and only through the energy efficiency we can improve the comfort standard of the ancient constructions.

The idea is join the passive systems of energy storage with the new technologies and the new materials necessary to improve the energy efficiency Through a deep study of the constructional masonry wall techniques and historical materials.

Using a dynamic simulation software is a possibility to estimate the risks in the interventions of energy efficiency of historic buildings. It is very important because each historical period produced a specific architecture that represents a unique experience for the human history, showing a symbol of different cultural evolutions and we must to preserve it.

Efficienza energetica e involucro. Strumenti di analisi, monitoraggio e progettazione per l'edificio storico pre-industriale

**DOTTORANDO**  
Michela Pascucci

**Dottorato di Ricerca**  
Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura

Sapienza Università di Roma | SAPIENZA UNIVERSITY OF ROME | ciclo CYCLE XXIX | nov. 2013 - oct. 2016  
Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile e Architettura | DOCTORAL SCHOOL IN CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE  
Dipartimento di 'Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura' | 'PLANNING, DESIGN, TECHNOLOGY OF ARCHITECTURE' DEPARTMENT



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dottorato di Ricerca PIANIFICAZIONE, DESIGN, TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

PHD PLANNING, DESIGN, TECHNOLOGY OF ARCHITECTURE

Coordinatore | Director

Prof. Fabrizio Tucci

Curriculum PROGETTAZIONE TECNOLOGICA AMBIENTALE

Curriculum ENVIRONMENTAL TECHNOLOGICAL DESIGN

Coordinatore Curriculum | Curriculum Chair

Prof. Luciano Cupelloni

## EFFICIENZA ENERGETICA E INVOLUCRO

Strumenti di analisi, monitoraggio e progettazione per l'edificio storico pre-industriale

Dottorando | PhD Candidate Michela Pascucci

Supervisore | Supervisor Prof. Serena Baiani

Consulente esterno | External advisor Arch. Elena Lucchi

Eurac Research

External advisor Arch. Elena Gigliarelli

CNR Itabc

Ciclo | Cycle XXIX

Novembre 2013 - Ottobre 2016



DOTTORATO DI RICERCA  
Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura

COORDINATORE  
Prof. Fabrizio Tucci

CURRICULUM  
Progettazione Tecnologica Ambientale

COORDINATORE CURRICULUM  
Prof. Luciano Cupelloni



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

## EFFICIENZA ENERGETICA E INVOLUCRO

Strumenti di analisi, monitoraggio e progettazione per l'edificio storico pre-industriale

DOTTORANDO  
Michela Pascucci

SUPERVISORE  
Prof. Serena Baiani

CONSULENTE ESTERNO  
Arch. Elena Lucchi, Eurac Research  
Arch. Elena Gligliarelli, CNR Itabc

CICLO XXIX  
Novembre 2013 - Ottobre 2016

## INDICE

p. 1 Introduzione

### PARTE I Fase Istruttoria. Presupposti teorici, scientifici e definizione del campo di indagine

#### CAPITOLO 1 CLIMA, REGIONALISMO, CULTURA MATERIALE

p. 28 1.1 Conservazione ecosostenibile. Il nuovo paradigma

p. 36 1.2 Conservazione ecoefficiente. Il comportamento passivo dell'esistente

p. 44 1.3 Riqualificazione del patrimonio storico costruito. Il miglioramento dell'efficienza energetica

#### CAPITOLO 2 CARTA D'IDENTITÀ TECNOLOGICA DELL'EDIFICIO PRE – INDUSTRIALE

p. 60 2.1 Caratteri tipomorfologici dell'edificio storico pre – industriale

p. 72 2.2 Caratteri tecnici, costruttivi e materici dell'edificio storico pre – industriale

p. 88 2.3 Comportamenti bioclimatici dell'edificio storico pre – industriale

#### CAPITOLO 3 L'INVOLUCRO COME MEDIUM

p. 108 3.1 Conoscere l'involucro: controllo del comfort indoor

p. 118 3.2 Rilevamenti in situ. Conoscenza diretta di componenti e comportamenti dell'edificio

p. 128 3.3 Modellazione virtuale. Simulazione dello stato di conservazione

### PARTE II Fase Analitico-interpretativa. Analisi e sistematizzazione di best practices tecnologiche e progettuali per il miglioramento energetico dell'edificio storico

#### CAPITOLO 4 SISTEMI E STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI STORICI

p. 142 4.1 Rapporto di forma

p. 150 4.2 L'isolamento dall'interno come ipotesi di intervento. Opzioni, potenzialità e limiti

p. 160 4.3 Compatibilità dei materiali isolanti con la struttura muraria originaria

#### CAPITOLO 5 BEST PRACTICES. ANALISI DI CASI STUDIO VIRTUOSI: PROCESSI E PROGETTI

p. 172 5.1 Progetti alla scala del comparto

p. 180 5.2 Progetti alla scala dell'edificio

p. 186 5.3 Progetti alla scala del sistema tecnico

p. 192 5.4 Nuovi scenari. NZEB: opportunità progettuali e tecnologiche

p. 198 Appendice Capitolo 5. Schedatura dei casi studio virtuosi selezionati

#### CAPITOLO 6 VERIFICA E APPLICAZIONE DEL METODO DI ANALISI E PROGETTAZIONE SU CASI STUDIO

p. 248 6.1 Caso studio, monitoraggio e verifica sui sistemi di isolamento dall'interno (EURAC). Waaghaus, Bolzano

p. 268 6.2 Caso studio, progetto, realizzazione e monitoraggio della riqualificazione energetica di un edificio ottocentesco (EURAC) Villa sul lago di Como

p. 280 6.3 Caso di simulazione progettuale per il miglioramento energetico di un comparto edilizio (CNR) Casa Gioloso, Frigento (Avellino).

PARTE III Fase di sintesi propositiva. Definizione degli strumenti tecnico-operativi di supporto al progetto dell'efficienza energetica dell'edificio pre-industriale

CAPITOLO 7 VERIFICA PREVENTIVA DEL PROGETTO E DEGLI INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DELL'INVOLUCRO STORICO:  
PIATTAFORMA WEB

- p. 304 7.1 Scopi e ambiti di applicazione
- p. 310 7.2 Articolazione dati conoscitivi e di progetto
- p. 320 7.3 Utilizzo delle risorse informatiche per la messa a sistema del processo progettuale

CAPITOLO 8 ARTICOLAZIONE DI CRITERI E INDIRIZZI METODOLOGICI DI SUPPORTO AL MIGLIORAMENTO ENERGETICO PER EDIFICI STORICI

- p. 328 8.1 Schedatura e analisi comparativa delle tecniche costruttive
- p. 338 8.2 Schedatura e analisi comparativa dei materiali per l'intervento
- p. 360 8.3 Scheda di rilevamento e sistematizzazione dati per la conoscenza

CAPITOLO 9 DATI E MODELLI PRESTAZIONALI DELL'INVOLUCRO STORICO.

- p. 368 9.1 Premessa e illustrazione del metodo proposto.
- p. 372 9.2 Muratura in pietra dal nucleo gettato a sacco
- p. 384 9.3 Muratura in pietra dal nucleo "incastrato"
- p. 396 9.4 Muratura in laterizio
- p. 408 9.5 Muratura mista pietra e laterizio
- p. 420 9.6 Ipotesi di isolamento interno. Valutazione e confronto prestazionale

p. 440 CONCLUSIONI

p. 454 GLOSSARIO

p. 460 *References*



## Introduzione

*...nessuna cosa antica può rinascere. Ma nemmeno scomparire del tutto. E ciò che è già stato sorge e risorge in una nuova forma...*

A. Aalto

### Un nuovo paradigma

Crisi ambientale e crisi energetica fanno da sfondo ai contemporanei orientamenti della ricerca tecnologica. Attraverso azioni e sperimentazioni mirate alla riduzione del consumo di suolo si è spostata l'attenzione sul patrimonio storico esistente, considerato in termini di restauro, recupero, riqualificazione, riuso, riciclo, riqualificazione e rigenerazione. Il tutto nell'ottica di favorire la valorizzazione nonché la fruizione dello stesso.

La progettazione tecnologica ambientale si inserisce all'interno di questo contesto cercando di coniugare qualità architettonica e qualità ambientale, attraverso l'efficientamento energetico, il controllo microclimatico e l'attenzione ai bisogni degli utenti.

Il lavoro si inserisce all'interno degli ambiti di ricerca della progettazione tecnologica dell'architettura andando ad approfondire la vasta tematica legata al miglioramento energetico degli edifici storici. I due macrotemi che si sovrappongono, l'edificio storico<sup>1</sup> che pone le regole e i vincoli della trasformazione e l'obiettivo della riduzione dei consumi energetici orientato verso soluzioni di edifici ad energia quasi zero, sono indagati sia singolarmente, sia al livello delle interazioni che instaurano tra di loro.

Approfondendo la storia e la cultura tecnologica della progettazione e della costruzione, attraverso lo studio delle tecnologie edilizie e dei sistemi costruttivi nel loro sviluppo storico e tipologico all'interno del panorama italiano, la ricerca ha voluto verificare come materiali naturali ed artificiali, la progettazione e la sperimentazione di elementi, componenti e sistemi costruttivi innovativi possano trovare una condizione di compatibilità fisico-percettiva nel progetto dell'esistente.

Il focus è stato fatto sulla conservazione ecosostenibile dell'esistente, calata nello specifico sul patrimonio storico pre-industriale, af-

1. "Testimonianza materiale avente valore di civiltà", come definito dalla Commissione Franceschini nel 1967.

2. M. Lauria. (2016) Il progetto dell'esistente 2.0. *Technè*, 12, p. 84.

3. Decreto Legge 22 gennaio 2004, n. 42, Articolo 20 Interventi vietati  
1. I beni culturali non possono essere distrutti, (deteriorati) danneggiati o adibiti ad usi non compatibili con il loro carattere storico o artistico, oppure tali da recare pregiudizio alla loro conservazione.

fronta il tema dell'efficienza energetica non solo come risposta alle richieste delle attuali normative, ma come apertura verso un nuovo modo di concepire e progettare l'architettura che sia essa nuova o parte integrante del patrimonio costruito.

Il recupero del patrimonio edilizio esistente, inteso come quel complesso di interventi nel quale le trasformazioni e la conservazione delle strutture si integrano con il miglioramento delle prestazioni dell'intero edificio, è uno dei temi fondamentali al centro di un ampio dibattito dagli anni '50 ad oggi. I primi atteggiamenti legati ad una scala più urbana del problema, hanno nel tempo lasciato spazio a sperimentazioni alla scala del costruito prima, con un confronto qualitativo tra nuova e vecchia edilizia, e alla scala del sistema tecnologico solo a partire dagli anni '70. Il contributo notevole negli anni '70, a livello europeo, è un approccio del tema nel quale le problematiche fino ad allora di tipo tecnico sono affrontate in un'ottica tecnologica. E' la normativa tecnica, esigenziale-prestazionale, che definisce i primi standards dell'edilizia da recuperare influenzando anche la scala urbanistica.

"Parallelamente (...) con la Legge 457 del 1978, anche il quadro normativo afferma l'esigenza di regolamentare le procedure per l'attività di trasformazione edilizia che riguardano il patrimonio edilizio esistente. Nascono con l'articolo 28 i Piani di recupero e, con l'articolo 31, ne vengono definite le principali tipologie di intervento possibili. (...) Emergono, nel contempo, le prime indicazioni in campo energetico (legge 10/91) e si diffonde un'attenzione crescente verso l'adeguamento normativo dell'esistente."<sup>2</sup>

### Oggetto della ricerca

L'ambito della ricerca è definito in primo luogo dall'edificio storico pre-industriale. Come da D.lgs. 42/2004 e s.m.i., che sia esso puntualmente vincolato o meno, che abbia solo valore documentale o che sia considerato un monumento, fondamentale è che qualsiasi tipo di intervento proposto ricada all'interno delle prescrizioni fornite dall'articolo 20<sup>3</sup>. Per cui sviluppando delle ipotesi progettuali e parlando di analisi e monitoraggi (ante e post operam) per la quasi totalità non distruttivi, non viene esclusa alcun tipo di categoria, in quanto un caso studio stesso ricade all'interno degli edifici che hanno un dichiarato valore monumentale e i cui interventi sono stati seguiti in ogni fase da un responsabile della soprintendenza e realizzati secondo il principio

della totale reversibilità, al fine del totale rispetto delle limitazioni imposte dal vincolo.

Il lavoro ha mosso i suoi passi a partire dallo studio dei caratteri tecnico-costruttivi dell'esistente, approfondendo nello specifico il rapporto che lega la scelta costruttiva con l'area geografica e i materiali a disposizione. Da qui la volontà di approfondire il tema dell'involucro murario come *medium*. L'involucro ha svolto per secoli il ruolo di mediatore tra l'interno ed l'esterno degli edifici avendo il ruolo fondamentale di mediare il clima esterno al fine di garantire delle condizioni confortevoli all'interno, tanto da differenziarsi in relazione alle condizioni climatiche. "L'involucro ha dunque il compito, fra l'altro, di modulare le condizioni ambientali esterne in modo da creare all'interno condizioni più confortevoli. È un compito che ha svolto per secoli, tanto da differenziarsi in relazione alle condizioni climatiche" (Butera 2004).

Considerando l'efficienza energetica del patrimonio costruito come una delle sfide verso cui si dirigono le attività delle società contemporanee, lavorare sull'involucro degli edifici storici può essere uno degli aspetti fondamentali in quanto apre la strada a molteplici sperimentazioni. In questa specifica sede ci si propone di analizzare nello specifico il tema dell'isolamento dall'interno tramite l'utilizzo di nuovi materiali, come soluzione compatibile ed adattiva.

Ogni epoca storica ha sviluppato la propria attività edilizia con caratteristiche ben delineate e differenziate a seconda del luogo di origine e delle maestranze che vi lavoravano, rappresentando nella sua interezza un'esperienza unica e irripetibile per la storia dell'architettura. Ne consegue che ogni edificio in se è un *unicum* che va prima di tutto conosciuto ed analizzato per essere preservato e aggiornato in modo corretto.

L'insieme di questa produzione e il rapporto che ha instaurato con il contesto modificandolo e "costruendolo", costituisce oggi il nostro patrimonio culturale<sup>4</sup> o *cultural heritage*<sup>5</sup>, ovvero l'insieme di tutti quei beni mobili e immobili che hanno lasciato un segno nella storia dell'umanità e che si fanno portatori di significati e valenze irripetibili<sup>6</sup> "Driving force behind all definitions of Cultural Heritage is: it is a human creation intended to inform" (John Feather, 2006<sup>7</sup>). Motivo questo per cui la **conoscenza**<sup>8</sup> rappresenta uno **strumento di lavoro indispensabile quando si opera sul patrimonio storico ed è il punto di partenza per poterne comprendere a fondo le caratteristiche morfologiche**. Un qualsiasi intervento volto alla

4. Decreto Legge 22 gennaio 2004, n. 42, Articolo 2 Patrimonio culturale: 1. Il patrimonio culturale e' costituito dai beni culturali e dai beni paesaggistici. 2. Sono beni culturali le cose immobili e mobili che, ai sensi degli articoli 10 e 11, presentano interesse artistico, storico, archeologico, etnoantropologico, archivistico e bibliografico e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge quali testimonianze aventi valore di civiltà. 3. Sono beni paesaggistici gli immobili e le aree indicati all'articolo 134, costituenti espressione dei valori storici, culturali, naturali, morfologici ed estetici del territorio, e gli altri beni individuati dalla legge o in base alla legge. 4. I beni del patrimonio culturale di appartenenza pubblica sono destinati alla fruizione della collettività, compatibilmente con le esigenze di uso istituzionale e sempre che non vi ostino ragioni di tutela.

5. UNESCO has defined 'cultural heritage' in its Draft Medium Term Plan 1990-1995 (UNESCO, 25 C/4, 1989, p.57), which has been reproduced below. In addition it has seemed useful to reproduce more extensively the account on UNESCO's policies for the current mid term period, considering that much of it seems to be directly relevant also to ICCROM's activities: Programme III, 2: Preservation and Revival of the Cultural Heritage. Background "The cultural heritage may be defined as the entire corpus of material signs – either artistic or symbolic - handed on by the past

to each culture and, therefore, to the whole of humankind. [...] The cultural heritage should be considered both in time and in space [...]. Cultural heritage is an expression of the ways of living, developed by a community and passed on from generation to generation, including customs, practices, places, objects, artistic expressions and values. Cultural heritage is often expressed as either intangible or tangible cultural heritage. [ICOMOS, 2002]

6. Cultural Heritage can be distinguished in: Built Environment (Buildings, Townscapes, Archaeological remains); Natural Environment (Rural landscapes, Coasts and shorelines, Agricultural heritage); Artefacts (Books & Documents, Objects, Pictures).

7. John Feather, *Managing the documentary heritage: issues from the present and future*. In: Gorman, G.E. and Sydney J. Shep [eds.], *Preservation management for libraries, archives and museums*, London: Facet, 2006, pp. 1-18.

8. Decreto Legge 22 gennaio 2004, n. 42, Articolo 3 Tutela del patrimonio culturale: 1. La tutela consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette, sulla base di un'adeguata attività conoscitiva, ad individuare i beni costituenti il patrimonio culturale ed a garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione. 2. L'esercizio delle funzioni di tutela si esplica anche attraverso provvedimenti volti a conformare e regolare diritti e comportamenti inerenti al

conservazione, al recupero, alla riqualificazione o anche al restauro del costruito prende vita solo dopo un'attenta analisi critica, con un *integrated and cross-cutting approach to cultural heritage*<sup>9</sup> (ICOMOS UK, 2015), poiché non si tratta di operare con il solo fine di mantenere integra un'immagine nel tempo, ma di realizzare qualcosa che sia in grado di rispondere a esigenze e problematiche dell'epoca in cui viviamo<sup>10</sup>.

La fase della conoscenza nel processo del progetto<sup>11</sup> è quindi fondamentale in un approccio all'esistente che tenga conto di tutte le condizioni al contorno. La cultura tecnologica del progetto ha approfondito, nel tempo, strumenti e metodi efficaci, di supporto al progetto<sup>12</sup> attraverso la sistematizzazione di dati ricavati dall'osservazione, dall'esperienza diretta e da raffinatissime prove di laboratorio che, a sé stanti, costituiscono fatti oggettivi, numeri, parametri, indicatori. La necessità di comprendere e saper utilizzare dati che provengono da fonti differenziate rende la fase di ordinamento delle conoscenze molto complessa per il progettista e "la questione della conoscenza dell'esistente, quale superamento del concetto di diagnostica intesa come scienza che oggi si alimenta di applicazioni muscolari delle nuove tecnologie del rilievo e di accurate analisi di laboratorio" (Lauria, 2016) assume un ruolo guida nello sviluppo della ricerca.

Si è, pertanto, assunto come obiettivo del lavoro la semplificazione delle informazioni attraverso la predisposizione di una *piattaforma* di condivisione dei saperi che, ampliando lo sguardo oltre i meri aspetti quantitativi, possa permettere di trasformare i dati in conoscenza e acquisire valore aggiunto *se collocati in un contesto, organizzati in categorie, elaborati, resi disponibili*.

Il presente lavoro si propone di analizzare prima di tutto il ruolo dei materiali e delle tecniche costruttive in un'ottica progettuale, che da una parte recepisca i caratteri di permanenza e di evoluzione storica, dall'altra colga il potenziale ancora non sfruttato. "Il restauro di un edificio non può quindi limitarsi alle sole operazioni di consolidamento e protezione, al puro mantenimento dello stato materiale, ma deve andare ben oltre, garantendo la vita del manufatto per mezzo di un *compatibile utilizzo*"<sup>13</sup>, incontrare l'evoluzione tecnologica e garantire condizione di comfort e benessere negli ambienti vissuti.

Sebbene oggi sia ampia la richiesta di intervento sul patrimonio storico, non ugualmente ampia è la scelta dei mezzi con cui poter operare su di esso. Ad una grande varietà di strumenti di indagine

conoscitiva, non corrispondono altrettanti strumenti di progettazione e controllo del progetto che siano adeguati. Che si tratti di un software di simulazione delle prestazioni energetiche o più semplicemente di progettazione, si nota come questi siano stati pensati e sviluppati esclusivamente per rispondere ad esigenze e problematiche di edifici di nuova costruzione. Ugualmente la normativa di riferimento, che si avvale dello strumento della deroga nel caso di edilizia storica, non può essere considerata un supporto sufficiente per il progettista che si confronta con un edificio di tipo pre-industriale con caratteristiche non riconducibili a nessun sistema costruttivo moderno e standardizzato e richiedente un approccio e criteri di intervento differenziati.

### Motivazione della ricerca

*“La sfida proposta per recuperare le città storiche è, in realtà, una sfida urgente per tutti gli attori istituzionali, sociali ed economici che in questa scena si muovono cercando soluzioni per problemi che non dovrebbero evocare un progetto del passato, ma attivare una conservazione del futuro dove le tracce materiali dei molti passati non siano lasciate frettolosamente alle spalle, dimenticate o smaturate, ma contribuiscano a costruire un futuro migliore per le città storiche e per i suoi abitanti”.*

G. Caterina, 2016

La presa di coscienza delle problematiche ambientali e la correlata responsabilità riscontrabile nell'attività edilizia degli ultimi decenni, pongono il concetto di efficienza energetica come presupposto fondante nelle scelte progettuali.

All'interno di questo vasto scenario rivolto alla minimizzazione dei consumi si è fatto strada il concetto fondamentale della riduzione dell'utilizzo dei suoli<sup>14</sup>, che vede spostare quindi l'attenzione della sperimentazione architettonica sul patrimonio esistente, considerato in termini non solo di restauro e conservazione, ma anche di recupero, riqualificazione, riuso, rigenerazione e riciclo. La stessa Commissione Europea ha ritenuto utile indicare le priorità di azione e le modalità per raggiungere tale obiettivo, tanto che nel 2012 ha pubblicato gli *Orientamenti in materia di buone pratiche per limitare, mitigare e compensare l'impermeabilizzazione del suolo*. All'interno del documento di lavoro appare chiaro il ruolo chiave dell'edilizia sostenibile considerata a 360° a partire dalla corretta pianificazione fino ad arrivare alla scelta dei materiali. Gli indirizzi di

patrimonio culturale.

Articolo 6 Valorizzazione del patrimonio culturale: 1.

La valorizzazione consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette a promuovere la conoscenza del patrimonio culturale e ad assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso, anche da parte delle persone diversamente abili, al fine di promuovere lo sviluppo della cultura. Essa comprende anche la promozione ed il sostegno degli interventi di conservazione del patrimonio culturale. In riferimento al paesaggio la valorizzazione comprende altresì la riqualificazione degli immobili e delle aree sottoposti a tutela compromessi o degradati, ovvero la realizzazione di nuovi valori paesaggistici coerenti ed integrati.

2. La valorizzazione è amata in forme compatibili con la tutela e tali da non pregiudicarne le esigenze.

9. New approach to the way we all sustain, promote and benefit from cultural heritage. Cultural heritage must be seen as a cross cutting theme, embedded in all aspects of human activity and sustainable development. It must be acknowledged as a key source of resilience for communities and wider society. The profile of cultural heritage should be enhanced as a major economic activity comparable to those of the natural environment or the arts.

TRADUCILA E INSERISCILA DOVE TI SERVE- FONTE "ICOMOS UK

Cultural Heritage Manifesto", 2015)

10. Decreto Legge 22 gennaio 2004, n. 42, Articolo 3, Tutela del patrimonio culturale 1. La tutela consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette, sulla base di un'adeguata attività conoscitiva, ad individuare i beni costituenti il patrimonio culturale ed a garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione.

11. Il quadro concettuale di ogni intervento sull'esistente è articolato come segue: a) l'indagine storico-filologica; b) il rilievo informatizzato/digitalizzato geometrico e fotografico dell'opera; c) gli accertamenti diagnostici e i saggi preliminari; d) la redazione del progetto (da assoggettare ad una istruttoria comparata anche per gli interventi pubblici); e) l'intervento e il suo monitoraggio; f) la pubblicazione dei risultati e dei criteri seguiti nell'intervento. Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, art. 29, propone una definizione importante in cui "la conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro".

12. Tra la fine degli anni Novanta e i primi dieci del Duemila, la ricerca tecnologica ha focalizzato l'interesse sui temi e gli strumenti della conoscenza e della informazione tecnica per il progetto attraverso diverse esperienze. Cfr. per un quadro interessante sul tema Nesi A. (a cura di), *Progettare*

ricerca della UE con il Programma H2020 aprono ambiti di interesse specifici sul tema dell'intervento sull'esistente attraverso Call mirate, come ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS (EeB)\_Pillar Industrial Leadership<sup>11</sup> che sta orientando i progetti dal 2015 al 2018, complementare alla Call Energy Efficiency of the Energy societal challenge, dimostrando l'interesse per il Patrimonio esistente rispetto ad alcune priorità: "new building technologies, materials and components for energy saving and energy generation, thermal energy storage systems, advanced insulation systems, thermal distribution systems, lighting, windows and glazing, energy generation systems based on renewable sources". I temi afferiscono in modo specifico alla ricerca tecnologico ambientale sull'architettura esistente, con l'obiettivo specifico di definire "reliable simulation and prediction tools, including assessment methods that integrate economic, social and environmental issues, including comfort and safety".

Il vasto patrimonio di cui si compone il paesaggio costruito impone per questo una riflessione che va ben oltre la sola necessità di sviluppare tecnologie costruttive sempre più avanzate e sposta l'attenzione sulla grande problematica dell'edilizia storica, che ad oggi in pochissime eccezioni raggiunge dei livelli di comfort abitativo pari a quelle degli edifici di nuova costruzione e i cui consumi energetici sono tutto fuorché sostenibili.

Da questi presupposti si sviluppa il lavoro di ricerca.

L'architettura ha da sempre svolto un ruolo fondamentale nell'evoluzione dell'uomo; ha segnato il passaggio di epoche ed eventi storici fondamentali che hanno portato alla attuale configurazione delle città e del paesaggio in generale. In tale senso l'architettura si pone come il luogo della memoria, dell'identità e delle valenze culturali, nonché come luogo in cui si sviluppa la quotidianità. Influenza ed è influenzata dalle scelte operate dall'uomo e svolge un ruolo attivo e partecipe nel attività che vi vengono svolte all'interno. Per questo motivo è fondamentale preservare gli edifici e i centri storici in modo tale che sino in grado di continuare a svolgere le loro funzioni. D'altra parte confrontarsi con l'esistente significa essere in grado di fornire delle soluzioni specifiche derivate da un lungo lavoro di ricerca e confronto multidisciplinare, al fine di garantirne la corretta fruizione.

La progettazione tecnologica ambientale si inserisce all'interno di questo contesto andando ad intervenire in modo da unire ad una maggiore qualità architettonica una qualità ambientale, raggiunta attraverso l'efficientamento energetico, il controllo microclimatico

e l'attenzione ai bisogni degli utenti.

Partendo dal principio di conservazione delle caratteristiche passive proprie di qualsiasi edificio storico pre - industriale, l'obiettivo è quello di coniugarle in modo consapevole con sistemi attivi in grado di migliorarne le caratteristiche prestazionali, avvalendosi del supporto di strumenti di analisi e monitoraggio e ragionando in funzione del raggiungimento di una condizione ottimale di comfort sia per l'utente che per l'edificio in se.

Stimare la fattibilità e gli eventuali rischi preventivamente può essere un discriminante essenziale quando si operano scelte su un patrimonio storico portatore di identità, memoria e valenze culturali. L'idea è infatti quella di sviluppare delle strategie di intervento che mirino al miglioramento dell'efficienza energetica sfruttando come tramite l'involucro e garantiscano un equilibrio tra passato e futuro tenendo ben saldi i principi di adattabilità, compatibilità e reversibilità, valorizzando e al tempo stesso rendendo fruibile l'edificio.

In tal senso l'involucro si pone come "active and/or adaptive skin that interacts with the external environment and strongly influences the building energy performance and indoor comfort. Indeed, in view of a large-scale deployment of nearly-zero energy solutions in existing buildings, besides reducing energy demand through highly insulating materials and reduction measures, the possibility to harvest energy in the building envelope is of great importance" ... "Therefore, proposals should take into account an appropriate integration of monitoring and control systems for the developed solutions, combining, where relevant, additional functionalities such as safety and security"<sup>16</sup>.

Il raggiungimento di una condizione ottimale di comfort ambientale, che coincida con benessere visivo, acustico, sociale, psicologico e una migliore qualità dell'aria, fa della sostenibilità ambientale il presupposto su cui fondare il nuovo modello di progettazione per l'edificio storico pre-industriale, alla base del quale rimangono saldi i principi di adattabilità, compatibilità, reversibilità e adeguamento, al fine di sviluppare delle strategie di intervento che garantiscano un equilibrio tra passato e futuro: sostenibilità culturale.

### Obiettivi e destinatari della ricerca

L'analisi approfondita di esiti e prodotti dei progetti europei attivati negli scorsi anni (2002-06 e 2007-13<sup>17</sup>) e degli obiettivi di progetti attualmente in corso (Horizon 2015-18), ha permesso di compren-

con l'informazione. *Percorsi e gestione delle informazioni tecniche per la promozione e il controllo dell'innovazione nei materiali e nel progetto di architettura*, Gangemi, Roma 2008.

13. CAMPANELLA, C. (2001). Scelte, stime e costi a confronto, in G. CARBONARA (diretto da) *Restauro architettonico e impianti*, vol. 7., p. 259. Torino: Utet.

14. L'obiettivo dell'azzeramento del consumo di suolo è stato definito a livello europeo già con la *Strategia tematica per la protezione del suolo del 2006*, che ha sottolineato la necessità di porre in essere buone pratiche per ridurre gli effetti negativi del consumo di suolo e, in particolare, della sua forma più evidente e irreversibile: l'impermeabilizzazione (soil sealing). Entro il 2020 le politiche comunitarie dovranno tenere conto dei loro impatti diretti e indiretti sull'uso del territorio e questo obiettivo generale è stato richiamato nel 2011 con la *Tabella di marcia verso un'Europa efficiente nell'impiego delle risorse*, nella quale si propone il traguardo di un incremento dell'occupazione netta di terreno pari a zero da raggiungere, in Europa, entro il 2050. Obiettivo rafforzato recentemente dal Parlamento Europeo con l'approvazione del Settimo Programma di Azione Ambientale. (Fonte [www.ispraambiente.gov.it](http://www.ispraambiente.gov.it)).

15. I topics specifici in cui è articolata la Call evidenziano maggiormente gli ambiti di pertinenza della ricerca: Topic EEB-05-2017: Development of near

zero energy building renovation; Topic EEB-06-2017: Highly efficient hybrid storage solutions for power and heat in residential buildings and district areas, balancing the supply and demand conditions; Topic EEB-07-2017: Integration of energy harvesting at building and district level; Topic EEB-08-2017: New business models for energy-efficient buildings through adaptable refurbishment solutions. Cfr. [http://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/energy-efficient-buildings\\_en.html](http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/energy-efficient-buildings_en.html).

16. Cfr. quanto sottolineato come ambito di intervento nel Topic: EEB-07-2017: Integration of energy harvesting at building and district level.

17. Sesto e settimo programma quadro. Fin dal loro lancio nel 1984, i programmi quadro hanno avuto un ruolo guida nella ricerca multidisciplinare e nelle attività di cooperazione, in Europa e altrove.

dere meglio e di focalizzare, quindi, gli aspetti prevalenti di interesse internazionale per la ricerca in questo specifico settore. Gli ambiti prevalenti di ricerca sono riconducibili a tre livelli specifici, quali, materiali e componenti per il risparmio energetico (materiali isolanti di nuova generazione, elementi prefabbricati con inerti riciclati da demolizione); metodologie e strumenti per la riduzione dei consumi energetici a livello di edificio/distretto/quartiere; metodologie integrate e strumenti di simulazione innovativi e di valutazione economica (basati su LCA, LCC...) della trasformazione dell'esistente.

In linea con tali orientamenti, la tesi, partendo da un approfondito stato dell'arte, si propone di sviluppare una metodologia di indagine dal processo diagnostico-conoscitivo preliminare alla fase di progettazione degli interventi di riqualificazione energetica. Valutando gli strumenti a disposizione, sia specifici per l'edilizia storica che derivati da altri settori, l'obiettivo è quello di mettere in luce la validità dei sistemi utilizzati alla luce delle indicazioni normative e della prassi diffusa. Molte sono le lacune anche a livello legislativo su come affrontare il progetto di miglioramento energetico dell'esistente e se da un lato questa tendenza è giustificata dall'impossibilità di considerare in modo generalizzato l'edificio storico, dall'altra la vastità di questo patrimonio impone una maggiore regolamentazione a livello procedurale. Il presupposto da cui si parte è sottolineare l'importanza di un iter conoscitivo che si basi sul reperimento di dati reali e conduca alla formulazione di ipotesi di intervento calate sul singolo caso e non derivate semplicemente dalla prassi. Edilizia storica vincolata ed edilizia storica minore vengono poste sullo stesso piano non dal punto di vista della valenza culturale e del valore identitario di cui si fanno portatrici, ma dal punto di vista dell'utente, della sua sicurezza e dei suoi bisogni.

Il dibattito sulla determinazione dei criteri di intervento sulle preesistenze si caratterizza per la presenza di diversi orientamenti metodologici. La ricerca si inserisce all'interno di tale dibattito proponendo una riflessione su un tema centrale per la disciplina, ossia la questione della relazione fra la fase della conoscenza del manufatto e quella dell'azione diretta sulla preesistenza. Questione per nulla scontata nella sua declinazione, in quanto un aspetto che contribuisce a definire la diversità di orientamenti sulla definizione dei criteri di intervento sulla preesistenza risiede proprio nel modo di affrontare tale relazione.

La ricerca, pertanto, si pone l'obiettivo di sviluppare un'analisi ap-

profondita finalizzata al miglioramento del processo decisionale e dei conseguenti prodotti, nel progetto di miglioramento energetico dell'edificio storico, proponendo un tipo di intervento passivo, quale l'inserimento di uno strato di isolamento interno. Verrà pertanto spiegato lo scopo di tale intervento, i pro e i contro a cui si va incontro e quali sono le esperienze ad oggi realizzate da questo punto di vista. Verrà fatta una panoramica sui materiali compatibili e quali sono i rischi di una scorretta progettazione dell'intervento.

L'analisi terrà conto della qualità dell'ambiente interno, del comportamento degli utenti (destinazione d'uso) e del Life Cycle Analysis (LCA), al fine di proporre un concetto innovativo di approccio sistematico al problema, integrando nuove tecnologie con materiali tradizionali. Verranno infine proposti una serie di scenari di riferimento derivati dall'esperienza svolta con i casi studio e analizzati attraverso sistemi di simulazione dinamica virtuale.

Vista la possibilità di indagare l'edilizia storica soltanto attraverso strumenti di calcolo sviluppati per edifici nuovi o di recente costruzione, la tesi di propone di verificarne la validità e i limiti di applicazione sull'edificio storico.

Per questo motivo le proposte analizzate sono sperimentate attraverso dei reali casi dimostrativi in modo da testarne limiti, potenzialità ed eventuale replicabilità in contesti dalle caratteristiche simili o su edifici comparabili.

Attraverso lo studio preliminare di esempi di progetti realizzati, che hanno portato ad un esito positivo sia dal punto di vista energetico che della compatibilità tra nuove tecnologie e supporto materico storico, si è delineata la situazione attuale in questo campo. La successiva sperimentazione ha voluto testare e valutare sul campo i risultati ottenuti in due casi studio, trasporre sul patrimonio storico procedure di simulazione dinamica pensate per il patrimonio esistente e comparare a livello teorico diverse alternative di riqualificazione energetica su di un terzo caso studio operativo.

Destinatari del progetto di ricerca sono gli operatori e i tecnici che non hanno a disposizione mezzi e tempi per poter svolgere ricerche e analisi valutative preliminari e che necessitano quindi di strumenti quali database o raccolte dati, da cui prelevare materiale di riferimento o dal quale farsi indirizzare sulle scelte operative. Metodologie di riferimento, linee guida e strumenti operativi sono necessari per facilitare una selezione tra i possibili scenari di ristrutturazione. L'intento è quello di fornire materiale conoscitivo su diverse scale raccolto all'interno di una piattaforma web, che potrà essere imple-

**18. Progetto TABULA Typology Approach for Building Stock Energy Assessment.** I dati relativi alle tipologie edilizie elaborati nel corso del progetto sono stati pubblicati attraverso uno speciale Webtool delle tipologie edilizie. Per ogni paese partecipante, la tipologia nazionale è presentata in forma di matrice con fotografie degli edifici-tipo, organizzata secondo il periodo di costruzione e le dimensioni dell'edificio. Selezionando un edificio-tipo si ha accesso a schermate contenenti informazioni sui dati dimensionali, costruttivi ed impiantistici. Per ogni edificio-tipo di ogni paese può essere effettuato un calcolo on-line per valutare la prestazione energetica dell'edificio nel suo stato originario e il risparmio energetico ottenibile mediante l'applicazione di uno o più interventi selezionabili dall'utente. È possibile inoltre effettuare confronti tra le prestazioni energetiche di edifici-tipo di paesi diversi. Il Webtool di TABULA è disponibile all'indirizzo: <http://webtool.building-typology.eu/>

mentata e corretta con il progredire delle ricerche scientifiche. Lo strumento non è pensato solo per coloro che svolgono la funzione di progettista, ma anche per quelle amministrazioni che svolgono un ruolo di controllo del processo progettuale.

Come emerso da ricerche Europee come TABULA portata avanti dal Politecnico di Torino o dal Progetto 3Encult, la creazione di una raccolta dati è un output utile sia ai diversi attori che lavorano sulla ricerca per riuscire ad avere una quadro completo del caso studio, ma diventa anche uno strumento di divulgazione di facile accesso e condivisione risultati. Nel caso del progetto TABULA il *Webtool*<sup>18</sup> è stato pensato come un vero e proprio database consultabile da qualsiasi utente che ne abbia bisogno. 3Encult ha invece creato una piattaforma accessibile solo al gruppo di ricerca in cui i progressi e il materiale raccolto fosse a disposizione di tutti i membri, al fine di favorire un approccio olistico e condiviso al problema. Essendo propria del progetto di riqualificazione la multidisciplinarietà derivata dalla natura composita dell'edificio esistente, ne deriva che la costruzione di un portale dedicato allo scambio, al confronto e all'acquisizione di dati derivati da settori affini e complementari è uno strumento fondamentale per la divulgazione, la formazione e la sensibilizzazione nei confronti di tematiche troppo spesso affrontate in modo completamente diverso nel campo della ricerca e in quello puramente operativo.

La piattaforma è quindi pensata come un portale interattivo dove a una sezione di consultazione dati e casistiche realizzate, viene affiancata una sezione interattiva in cui l'utente potrà raccogliere il materiale di cui ha bisogno, lavorare e compilare una scheda di rilevamento dati preliminare. Uno strumento di confronto e crescita professionale a diversi livelli.

### Metodologia e articolazione della tesi

Dal punto di vista operativo la ricerca è stata articolata in tre fasi distinte e complementari, sviluppate attraverso sperimentazioni e verifiche operative presso due centri di ricerca, per supportare l'approccio teorico con attività finalizzate a evidenziarne limiti e aperture. In particolare è possibile individuare una prima fase che pone le basi conoscitive e affronta le sfide della ricerca internazionale contemporanea (involucro storico ed efficienza energetica); una conseguente verifica delle ipotesi attraverso l'analisi di esperienze sul tema per la costruzione di scenari di riferimento (materiali e

sistemi costruttivi compatibili, simulazioni e comportamenti in fase di messa in opera, gestione e dismissione di materiali tradizionali e innovativi in rapporto all'involucro storico, analisi di condizioni di contesto differenziate come input di progetto...), in parte applicati attraverso una sperimentazione progettuale; una prima sistematizzazione degli esiti attraverso la messa a punto di uno strumento di condivisione delle conoscenze tecniche, di supporto decisionale per il progettista, capace di ordinare informazioni su diversi livelli (materiali compatibili con il supporto storico, comportamenti legati alla durata e all'efficacia di materiali e prodotti sul supporto storico...).

1. Quadro delle conoscenze (Fase istruttoria)
2. Analisi delle conoscenze (Fase analitico-interpretativa)
3. Verifica sperimentale e ipotesi progettuale (Fase di sintesi propositiva)

In particolare:

**FASE 1.** Fase istruttoria in cui vengono analizzati e approfonditi i presupposti teorici, scientifici al fine di inquadrare il campo di indagine. L'obiettivo di questa fase consiste nel raccogliere informazioni sull'edificio storico pre-industriale relativamente a tipologie e tecnologie costruttive, materiali, comportamenti bioclimatici, interazioni con l'ambiente esterno, ruolo nel contesto in cui si inserisce. A tal fine si possono individuare i seguenti aspetti di indagine:

- Panorama della ricerca e della normativa di riferimento nazionale ed internazionale
- Diversificazione delle caratteristiche del patrimonio esistente in base a clima e cultura di provenienza
- Raccolta sistematica di informazioni sull'edificio storico sulla base della storiografia e della trattatistica
- Sintesi degli espedienti bioclimatici e degli archetipi costruttivi
- Sistematizzazione dei caratteri tipo-morfologici, costruttivi e materici
- Definizione del ruolo dell'involucro nella mediazione tra interno ed esterno
- Analisi della strumentazione, e della relativa normativa di riferimento, necessaria ad una conoscenza diretta e approfondita dell'edificio storico

Lo scopo è quello di mettere a punto uno strumento di analisi e valutazione del sistema edificio con particolare attenzione alle potenzialità dell'involucro, tenendo conto di tutte le variabili ambientali, climatiche, funzionali, costruttive ed antropiche.

L'intento è quello di individuare le peculiarità distintive e i caratteri ripetitivi che fanno degli edifici storici degli oggetti unici catalogabili in delle macro categorie di riferimento in cui si possono cogliere delle specifiche comuni.

Avendo posto alla base del progetto di ricerca la conoscenza come aspetto fondante di qualsiasi intervento di recupero e riqualificazione, lo studio e la messa a sistema dei caratteri peculiari dell'edilizia storica italiana è stato considerato il primo passo per poter procedere allo studio e alla valutazione dei limiti e delle potenzialità in essa intrinseche.

**FASE 2.** La fase analitico-interpretativa prevede la formulazione di scenari di riferimento nazionali ed internazionali con conseguente valutazione delle ricadute e degli effetti sul lungo termine. Attraverso la sperimentazione su tre diversi casi studio, si cerca di definire una serie di criteri da osservare nella definizione degli interventi progettuali da operare.

L'obiettivo è quello di sistematizzare le best practices e le metodologie fino ad ora utilizzate per il miglioramento energetico dell'edificio storico sottolineandone pro e contro. Questo tipo di analisi prevede:

- La valutazione dei sistemi passivi per il controllo dell'involucro
- L'applicabilità di un sistema di isolamento dall'interno: limiti e potenzialità
- L'analisi della compatibilità chimico-fisica dei nuovi materiali con quelli esistenti
- Panorama dello stato di avanzamento della ricerca a livello internazionale sui materiali isolanti innovativi e derivati dalla tradizione compatibili con le murature storiche
- Individuazione delle tecniche di intervento passivo
- Raccolta e valutazione di 9 esempi che intervengono alla scala del comparto, dell'edificio e del sistema tecnico
- Analisi approfondita e valutazione di 3 casi su cui verrà portata avanti la successiva sperimentazione pratica
- Sperimentazione delle conoscenze su tre casi studio: due a verifica di interventi già effettuati e uno come sperimentazione proget-

tuale a fronte delle conoscenze acquisite

- - Valutazione dei limiti e delle potenzialità delle procedure di indagine attraverso software di simulazione virtuale dinamica attraverso il confronto con dati desunti da rilevamento diretto in situ
- - Sistematizzazione dei risultati ottenuti dai casi sperimentali
- Lo scopo di questa fase è quello di individuare le metodologie di indagine più indicate e più innovative applicabili in un contesto storico e utilizzabili per poter strutturare un quadro delle conoscenze che non sia solo dato da un insieme di dati quantitativi o qualitativi, ma in cui i vari livelli di analisi si completino e si confutino a vicenda. Attraverso la lettura e successiva valutazione di 13 casi studio calati sul tema dell'involucro si analizzano i risultati progettuali derivati da processi conoscitivi basati sull'utilizzo di strumentazioni di rilievo e monitoraggio a diverse scale.
- I documenti redatti sono:
  - - Schede di analisi di 10 esempi virtuosi con seguente analisi comparativa dei risultati al fine di comprendere l'inclinazione del progetto rispetto a dei criteri valutativi che riguardano sia le istanze dell'edificio storico che dell'efficienza energetica e della sostenibilità ambientale
  - Scheda di analisi dei 3 casi studio su cui è stata fatta anche un'ulteriore sperimentazione, che vengono affrontati più nello specifico e valutati singolarmente
  - Scheda di analisi comparativa dei risultati ottenuti dalla sperimentazione dei casi studio

A tale proposito a fronte di un'analisi teorica della letteratura a disposizione, vengono presentate delle analisi effettuate su due edifici in cui è stato realizzato un intervento di coibentazione interna: un primo caso utilizzato per la verifica di alcuni strumenti di analisi e monitoraggio (termoflussimetro e modellazione virtuale); un secondo caso per il controllo della qualità del microclima interno e del comfort percepito dall'utente, in quanto un intervento è veramente sostenibile se lo è anche a livello di vivibilità degli spazi. L'ultimo caso studio utilizzato per una sperimentazione progettuale a livello ipotetico che confronta e valuta varie possibilità di intervento.

Le uscite previste sono:

L'obiettivo è quello di ottenere delle indicazioni applicative sulla possibilità di effettuare o meno un intervento di isolamento dall'interno verificando la possibilità di inserimento di un elemento estra-

19. Febbraio-giugno 2016. Tutor  
Elena Lucchi

20. Ottobre 2015 - gennaio 2016 e  
luglio - dicembre 2016. Tutor Elena  
Gliarelli.

21. Parte dei contributi e dei risultati intermedi raggiunti, nell'ambito della ricerca Metrics, sono stati esposti alla Mostra Convegno sulle Fonti Rinnovabili e l'Efficienza Energetica di Napoli ENERGYMED, 31 marzo - 02 aprile 2016.

22. Nello specifico i contributi pubblicati sono

- Pascucci, M. Lucchi, E. (2016). 2D-Hygrothermal simulation of historical solid walls. Pp.155-162. In CAAdence in Architecture - ISBN: 9789633132258.

- Pascucci, M. Lucchi, E. (2016). Efficienza energetica e patrimonio culturale: analisi e simulazioni termo-igrometriche per la gestione del progetto. In Pagliuca, A. Guida, A. (a cura di). Colloqui.ATE. 2016. Mater(1)a. Matera: Gangemi Editore. ISBN: 978-88-492-3312-4.

- Lucchi, E. Pascucci, M. (2016). Simulazione termoigrometrica dell'isolamento interno di pareti storiche. Pp 54-59. In Legno Legno News, n.58. ISSN: 2279-8765

- Lucchi, E. Pascucci, M. (2016). Nuova pelle per gli edifici. Pp. 34-38. In Casa & Clima, n.63. ISSN 2038-0895.

neo al contesto esistente.

Le fasi 1 e 2 sono state portate avanti parallelamente in tempi differenti con il supporto di due centri di ricerca, l'Eurac Research<sup>19</sup> e l'Istituto per le tecnologie applicate ai Beni Culturali del CNR<sup>20</sup>. Presso l'EURAC sono stati approfonditi e verificati gli aspetti connessi all'applicabilità di un sistema di coibentazione interna per gli edifici storici attraverso analisi e monitoraggi su due edifici storici. Il contributo specifico della ricerca è stata la valutazione del sistema dopo la messa in opera di materiali isolanti, verificandone le ricadute nel tempo in termini di effettivo miglioramento energetico, compatibilità con il substrato, livello di comfort percepito dall'utente.

Presso il CNR, la ricerca si è avvalsa del coinvolgimento in una fase sperimentale del Progetto Europeo Metrics<sup>21</sup>, attraverso studi ambientali e del tessuto costruito, analisi del sistema tecnologico-costruttivo, convivenza di materiali tradizionali con nuovi inserimenti in c.a. su un edificio all'interno del tessuto storico di Frigento. I risultati ottenuti hanno permesso di ipotizzare proposte progettuali per il miglioramento energetico e valutare la loro effettiva fattibilità. Parte dei risultati ottenuti in questa fase sono stati esposti in due convegni e pubblicati su due riviste di divulgazione nazionale, perché il fine è quello di fornire uno strumento di giudizio e valutazione che non sia destinato solo ai ricercatori, ma coinvolga gli operatori del settore, fornendo spunti di riflessione e metodi alternativi per la valutazione delle scelte<sup>22</sup>.

**FASE 3.** L'ultima fase di sintesi propositiva ha come output la redazione di una serie di strumenti di riferimento

Lo scopo è quello di mettere a sistema una serie di indicazioni di supporto alla progettazione al fine di valutare le scelte e le eventuali ricadute potenziali degli interventi ipotizzati nel lungo periodo. Proporre quindi un approccio sistematico che sia in grado di adattarsi alle specificità del caso.

Viene proposto in questa fase un criterio di approccio metodologico al progetto che possa guidare il tecnico nelle scelte operative sulla base di materiale di supporto opportunamente realizzato e lo sviluppo di una piattaforma web, il cui contenuto è pensato flessibile e adattabile a 3 diversi livelli di conoscenza raggiungibili in fase di analisi (livello 0, livello 1, livello 2), a seconda del quale viene proposto un modello di intervento differenziato.

Come seconda uscita sono realizzate delle.

- Ipotesi di una piattaforma web per la raccolta e condivisione dati con il fine di divulgazione e supporto al tecnico, di cui vengono analizzati scopi, applicazioni e utilizzo delle risorse;
- Schede tipo di analisi del paramento murario tramite l'utilizzo di modelli di simulazione virtuale, al fine di offrire un supporto alla progettazione non di tipo puntuale, ma metodologico-operativo;
- Schede valutative dei materiali isolanti applicabili su edifici esistenti a carattere storico, di cui viene valutata compatibilità, sostenibilità, riuso, smaltimento, reversibilità, prestazioni, capacità conservativa nel tempo;
- Una scheda di rilevamento dati per il progetto di riqualificazione energetica, che passi dalla lettura delle componenti storiche, tecnologico-costruttive, fisico-materiche e infine energetiche, che metta sistema i dati raccolti e sia lo specchio dell'edificio, delle sue potenzialità e delle eventuali problematiche da tenere sotto controllo;
- Formulazione di scenari di riferimento, ipotizzando la possibilità di poter intervenire sull'involucro interno, come guida in fase di progettazione basati su quattro tipologie di involucro storico verticale opaco, in quattro zone climatiche differenti.

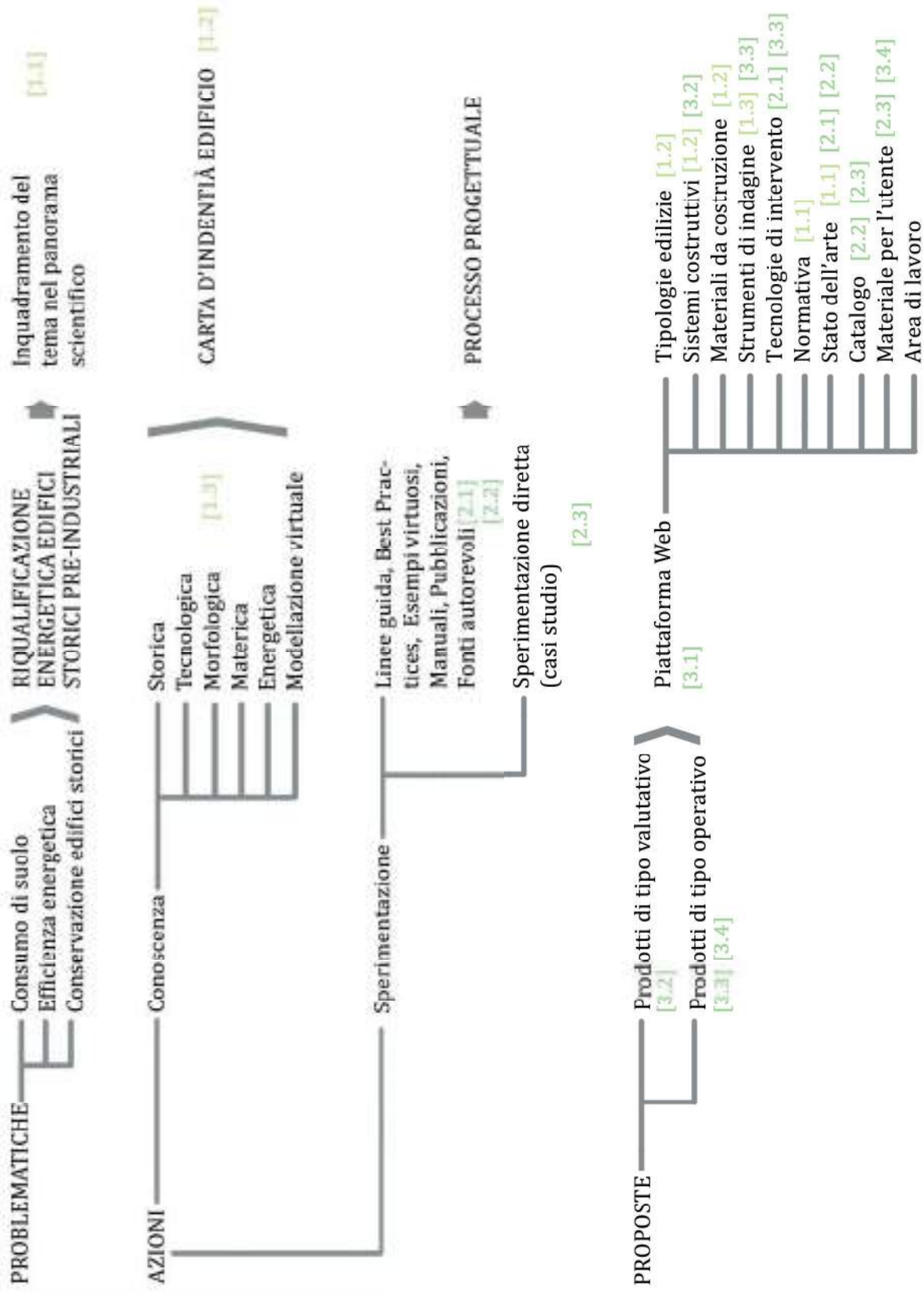
Alcune delle sperimentazioni condotte in fase 2 e 3 si basano sull'applicazione di un software di simulazione termo-igrometrica, come ulteriore strumento di conoscenza e sperimentazione. Il software utilizzato, Delphin 5.8.3 sviluppato dalla Bauklimatik Dresden, che lo ha reso disponibile ai fini della ricerca per verificarne le potenzialità rispetto alle istanze poste dal progetto di efficientamento energetico degli edifici storici: il programma, sviluppato per le simulazioni termo-igrometriche (tra cui passaggio del vapore, formazione di condensa interstiziale e superficiale, cicli di gelo e disgelo, quantità di acqua assorbita dal paramento murario, formazione di muffa e funghi, trasporto di calore all'interno della parete, quantità di umidità relativa degli ambienti interni ed esterni, calcolo delle temperature superficiali) è stato "piegato" all'applicazione in contesti sensibili, a matrice storica. Uno dei grandi limiti a cui non si è potuto far fronte è la scarsità di materiali storici presenti nel database, modificabile solo dagli sviluppatori del software che si avvalgono di dati misurati esclusivamente in laboratorio al fine di rendere il più veritiero possibile il processo di simulazione dinamica. Questo esclude la possibilità di utilizzare valori generici, tabellati o derivati da normativa..

Nella fase di sperimentazione delle nuove potenzialità del sistema di simulazione, il contributo della ricerca è stato orientato ad apportare un diverso approccio dal punto di vista della rappresentazione geometrica della struttura costruttiva per una più accurata verifica dei risultati della simulazione: lo studio della semplificazione della forma della sezione muraria storica, era finalizzato a farne leggere al software le caratteristiche peculiari e non considerarla come un unico elemento

In tale fase si è perfezionato anche il sistema di conoscenza, approntato nella costruzione dello stato dell'arte della ricerca, attraverso la sistematizzazione dei caratteri tipo-morfologici, costruttivi e materici di tipologie storiche significative per le diverse fasce climatiche italiane, adattando le fonti eterogenee ad un sistema che potesse costituire uno dei database della piattaforma di condivisione delle informazioni per il progetto.

La ricerca ha avuto, inoltre, il supporto di due finanziamenti di Ateneo, attraverso il Progetto di Avvio alla Ricerca. In particolare per lo sviluppo delle fasi 1, 2 e in parte 3 il progetto "*NZEB (Near Zero Energy Building): tecnologie ed interventi per l'efficienza energetica negli edifici storici*", è stato finanziato per il periodo 2014-2016; per la fase 3 e 4 il finanziamento è stato sul tema "*Conoscere e progettare l'involucro storico: indagini e simulazioni per la sistematizzazione di problematiche e potenzialità legate al progetto di miglioramento energetico*", per il periodo 2016-2018.

ARTICOLAZIONE DELLA TESI



Parte 1

Parte 2

Parte 3



PARTE I

## Fase Istruttoria

Presupposti teorici, scientifici e definizione del campo di indagine



## CAPITOLO 1 CLIMA, REGIONALISMO, CULTURA MATERIALE

### ABSTRACT

Il miglioramento dell'efficienza energetica è posta al centro del dibattito internazionale a partire dalla conferenza di Rio de Janeiro del 1992, quando le Nazioni Unite stipularono la Convenzione sui cambiamenti climatici. Solo nel 2005 la Commissione Europea pubblica "Il Libro Verde dell'efficienza energetica-fare più con meno", stesso anno dell'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto del 1998, ora esteso fino al 2020, in linea con gli obiettivi dell'Ottavo Programma Quadro dell'UE.

Analizzando la letteratura scientifica recente (dal 2000 ad oggi) sul tema specifico dell'intervento sul patrimonio storico culturale appare evidente come la riqualificazione morfologica e tecno-tipologica, ma anche energetica, del patrimonio esistente svolga un ruolo fondamentale all'interno di questo quadro.

Di fatto le ridotte indicazioni specifiche e le carenze normative sulle modalità con cui affrontare il problema del recupero per il riuso di un edificio storico, hanno portato l'operatore a riferirsi principalmente all'esistente stratificato in termini di conservazione e restauro, non affrontando con struttura metodologica adeguata la compatibilità dell'integrazione della componente tecnica innovativa (inserita, accostata, sovrapposta o posta in aderenza) con il supporto fisico stratificato.

Un quadro di sintesi, infine, delinea l'evoluzione del contesto normativo europeo a cui il progetto di riqualificazione energetica degli edifici si può riferire, evidenziandone i limiti riferiti all'edilizia storica. La sistematizzazione della legislazione comunitaria, nazionale e regionale in materia di efficienza energetica e sostenibilità ambientale degli edifici storici, interrelata con i programmi europei focalizzati sull'integrazione negli edifici storici delle raccomandazioni delle Efficiency Performance Building Directives, permette di evincere in modo chiaro definizioni, parametri di riferimento e criteri progettuali, utili alla costruzione di uno stato dell'arte ampio e internazionale.



## 1.1 Conservazione ecosostenibile. Il nuovo paradigma

Nonostante l'attenzione ai prodotti derivati dalla cultura delle singole civiltà del passato sia stata sempre rilevante nella tradizione giuridica italiana, il termine "Bene Culturale" risulta essere relativamente recente.

A livello internazionale il termine "patrimonio culturale" compare per la prima volta nel 1954 durante la *Convenzione per la protezione dei Beni Culturali in caso di conflitto armato* (L'Aja)<sup>1</sup>, che, affiancato a quello di "beni culturali", abbraccia: - "i beni, mobili o immobili, di grande importanza per il patrimonio culturale dei popoli, come i monumenti architettonici, di arte o di storia, religiosi o laici; i siti archeologici, i complessi di costruzioni che, nel loro insieme, offrono un interesse storico o artistico; le opere d'arte; i manoscritti, libri e altri oggetti d'interesse artistico, storico o archeologico; nonché le collezioni scientifiche e le collezioni importanti di libri o di archivi o di riproduzioni dei beni sopra definiti; - gli edifici la cui destinazione principale ed effettiva è di conservare o di esporre i beni culturali mobili definiti al comma precedente, quali i musei, le grandi biblioteche, i depositi di archivi, come pure i rifugi destinati a ricoverare, in caso di conflitto armato, i beni culturali mobili definiti al comma precedente; - i centri comprendenti un numero considerevole di beni culturali, definiti ai commi precedenti, detti centri monumentali"<sup>2</sup>. Tuttavia nel linguaggio giuridico italiano l'espressione "bene culturale" appare solo nel 1966 introdotta dalla "Commissione d'indagine per la tutela e la valorizzazione del patrimonio storico, artistico, archeologico e del paesaggio"<sup>3</sup>.

Già precedentemente però, con le leggi n° 1089 e n°1497 del 1939, la tutela dei beni culturali aveva subito una svolta determinante sia dal punto di vista culturale che ambientale: se infatti con la legge 1089 si assegnava un'importanza primaria all'arte, quale strumento indispensabile di educazione della collettività, e affrontava per la prima volta i temi legati alla gestione, alla fruizione e relative organizzazioni amministrative; con la legge 1497 il concetto di paesaggio assume un ruolo fondamentale e viene a tutti gli effetti considerato come patrimonio nazionale in cui coesistono beni artistici e

1. "Le Alte Parti Contraenti, Constatando che i beni culturali hanno subito gravi danni nel corso degli ultimi conflitti e che, in conseguenza dello Sviluppo della tecnica della guerra, essi sono viepiù minacciati di distruzione, Convinte che i danni arrecati ai beni culturali, a qualsiasi popolo essi appartengano, costituiscono danno al patrimonio culturale dell'umanità intera, poiché ogni popolo contribuisce alla cultura mondiale, Considerando che la conservazione del patrimonio culturale ha grande importanza per tutti i popoli del mondo e che interessa assicurarne la protezione internazionale, Guidate dai principi su cui si fonda la protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato, stabiliti nelle Convenzioni dell'Aja del 1899 e del 1907 e nel Patto di Washington del 15 aprile 1935, Considerando che, per essere efficace, la protezione di detti beni deve essere organizzata fin dal tempo di pace con misure sia nazionali che internazionali"

2. Convenzione: "*Protezione dei beni culturali in caso di conflitto armato*", Capitolo I, Disposizioni generali concernenti la protezione, art. 1.

3. Commissione Franceschini, istituita con la legge n. 310 del 26 aprile 1964, e attiva fino al 1966.

Il documento conclusivo della Commissione recita: "Appartengono al patrimonio culturale della Nazione tutti i beni aventi come riferimento la storia della civiltà. Sono assoggettati alla legge i Beni di interesse archeologico, storico, artistico, ambientale e paesistico, archivistico e librario ed ogni altro bene che costituisca testimonianza materiale avente valore di civiltà"<sup>4</sup>. D.L. n. 490 del 29 ottobre 1999: Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, art. 1. 24. Art. 10 del Codice «le cose immobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico».  
5. G. Devoto, G. Oli. (1995). *Dizionario della lingua italiana*. Le Monnier, Bologna.  
6. Trombetta, C. (2002). *L'attualità del pensiero di Hassan Fathy nella cultura tecnologica contemporanea. Il luogo, l'ambiente e la qualità dell'architettura*. Rubettino

beni paesaggistici, che determinano l'identità della nazione.

Tali indicazioni risultano recepite, nove anni più tardi, dall'art. 9 della Costituzione Italiana, che recita "La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione" in un'ottica ancora più ampia di pubblico godimento del patrimonio.

Tuttavia rimane ancora complessa e tortuosa la strada da fare prima di arrivare alla pubblicazione del "Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali" (D.lgs. n. 490 del 29.10.1999), che cercherà di mettere ordine in un a 60 anni di indicazioni normative intricate e troppo spesso contraddittorie.

Il D.lgs 490/99 comprendeva 166 articoli il cui scopo era quello di regolare tutta la giurisprudenza nazionale e internazionale di riferimento, affermando che i beni culturali costituiscono "il patrimonio storico artistico nazionale"<sup>5</sup>.

Le direttive inserite nella L. 1089/39 rimangono comunque il nucleo centrale del Testo Unico che, oltre alla tutela, prevede anche finalità di valorizzazione del patrimonio, secondo le mutate esigenze dei tempi.

Lavorare con un edificio storico vuol dire quindi confrontarsi con una serie di informazioni che derivano non solo dal progetto originario, con tutte le eventuali modifiche che subito nel tempo, ma anche con tutte le relazioni che il fabbricato ha instaurato nel tempo con il contesto all'interno del quale si inserisce. Il luogo, che secondo quanto riportato nel Dizionario della lingua italiana, è definito come un ambito spaziale idealmente o materialmente determinato, assume dal punto di vista architettonico un significato ben più complesso. Ecco dunque che l'edificio in non rappresenta un luogo solo perché provvisto di pareti che delimitano uno spazio, ma perché prende parte a contemporaneamente a "fenomeni strettamente naturali", "fenomeni umani", e "fenomeni di antropizzazione, ovvero la rete di attività dell'uomo nella natura cosmica"<sup>6</sup>.

Dunque è fondamentale nel progetto dell'esistente relazionarsi in modo attivo e partecipe con tutte le forze che intervengono sul sistema edificio. Avere un quadro completo delle interazioni contest-edificio ed edificio-contesto, ci permette di controllare il progetto e allo stesso tempo ipotizzare le ricadute potenziali che potrebbero esserci nel tempo.

Dierna ci ricorda come "Il controllo qualitativo delle trasformazioni dello spazio-ambiente si attua, nel rispetto di una cultura del limite, secondo modalità e strumenti capaci di trovare adeguate forme di

equilibrio nella stratificata interrelazione tra componenti naturali e antropiche. Quest' ambito problematico, del resto ben radicato, nella cultura tecnologica della progettazione, ci induce ad esplorare confini tra innovazione e modificazione, tra le ragioni della norma e quelle del progetto, questioni che investono direttamente le tecnologie come strumenti di conoscenza, di attuazione e di modifica delle trasformazioni ambientali. Se la dato tecnologico deve essere riconosciuta la capacità di una al progetto ambientale deve essere riconosciuta una nuova identità, multiforme ed articolata; espressione avanzata della ricerca disciplinare secondo nuovi modelli di riferimento, complessi e diversificati, attraverso cui ottimizzare il rapporto tra innovazione tecnologica e qualità dello spazio urbano"<sup>7</sup>

Ma sebbene sia ormai chiaro come l'attività di conservazione debba essere il risultato di azioni congiunte natura-uomo, ancora si è lontani dal realizzare interventi che siano completamente di natura eco-sistemica.

È il 1972 quando Edgar Morin in un saggio intitolato *L'anno I dell'era ecologica* denuncia apertamente l'urgenza ecologica inserendola in un più ampio sistema, che vede l'uomo come un "sistema aperto" che "vive soltanto in virtù del fatto che è alimentato dall'esterno, vale a dire, (...) dall'ecosistema". "Qui", dice Morin, "occorre comprendere una cosa: il problema più grande non è tanto che l'uomo utilizzi e dilapidi l'energia naturale: di energia ne troverà da vendere nell'irradiazione solare e nell'atomo. Non lo è neanche il fatto che egli scarichi nell'ambiente i suoi rifiuti: ogni essere vivente è escrementizio e 'inquina' l'ambiente in cui vive. Ma gli escrementi entrano in un ciclo naturale: biodegradabili, essi sono anche bionutritivi. Il rischio è nel veleno che degrada senza poter essere a sua volta degradato, riversato in quantità tali da degradare l'organizzazione complessa degli ecosistemi. Ora, degradare l'ecosistema significa degradare l'uomo, come ogni animale, si nutre non soltanto di energia, ma anche (...) di ordine e complessità".

Lo stesso termine ecosostenibile (dal greco "oikia" che significa casa e dal latino "sustinere" che significa mantenere) vuol dire "mantenere le regole di casa" intendendo ogni realtà eco sistemica a livello sia micro sia macroscopico. Quindi ne deriva che al termine ecosostenibile dobbiamo associare la seguente definizione: qualsiasi materiale, prodotto, attività o processo che nel suo divenire continuo mantenga inalterate le regole a fondamento della realtà eco-sistemica in cui si trova ad essere.

7. S. Dierna. (1995). Tecnologie del progetto ambientale, in *Atti del TIA, Florence International Conference for Teachers of Architecture*. Firenze.

8. Cradle to Cradle (talvolta abbreviato in C2C, in italiano dalla culla alla culla) è un approccio alla progettazione di sistemi che consiste nell'adattare alla natura i modelli dell'industria, ovvero convertire i processi produttivi assimilando i materiali usati a elementi naturali, che devono quindi rigenerarsi.

9. L'introduzione del concetto di ciclo di vita è del 1997

10. M. V. Pallione. (2002). *De Architectura*, libro I, cap. 6. (F. Bossalino, trad.) Roma: Edizioni Kappa.

Quello proposto da Morin è un approccio basato sulla teoria "dalla culla alla culla"<sup>8</sup> dove ogni elemento alla fine del suo ciclo di vita<sup>9</sup> è in grado di ritornare alla natura che lo ha creato o può essere scomposto in ogni sua singola parte e rigenerato.

A questo ciclo di completa rigenerazione del tutto fa riferimento anche il concetto di sostenibilità. Secondo il Rapporto Brundtland "Our Common Future", 1987 ONU, Conferenza Mondiale sull'ambiente e lo Sviluppo (WCED) "lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni". Vengono quindi considerati allo stesso tempo l'impatto economico e quello ambientale totale (a partire dalle materie prime fino ad arrivare alla produzione finale), così come esplicitato nella Nozione presentata dal BCSD (Business Council for Sustainable Development) alla conferenza mondiale di Rio sull'ambiente e lo sviluppo nel 1992. Essa consiste nell'offerta di beni e servizi ad un prezzo competitivo, che soddisfino i bisogni umani e assicurino la qualità della vita, riducendo nello stesso tempo gli impatti ecologici e l'intensità di risorse lungo tutto il ciclo di vita ad un livello almeno in linea con la capacità di carico/assorbimento stimata della terra.

Ma nonostante l'impegno sia sul piano teorico che pratico degli ultimi decenni la nostra società continua a vivere in un ciclo "dalla culla alla tomba" dove ogni prodotto delle azioni umane risulta essere ancora un peso per la resilienza del grande ecosistema Terra.

Nei secoli passati l'uomo, nel costruire le sue abitazioni, ha maturato una notevole cultura ambientale che oggi sembra, in parte, essere stata dimenticata. Le differenze formali riscontrabili nei diversi modelli edilizi rappresentano la cultura dell'abitare derivata dalla capacità dell'uomo di adattamento e ottimizzazione alle particolarità del clima, del territorio, al suo impiego economico e sociale, ai materiali e procedure costruttive.

Scrivendo Vitruvio "si farà il tracciato delle vie e dei vicoli, orientato secondo gli angoli, fra due regioni di vento contigue. Con questo sistema d'orientamento si riuscirà ad eliminare da case e strade il molesto impeto dei venti"<sup>10</sup>. Un approccio alla progettazione per quei tempi obbligato e consapevole del proprio territorio e clima, lo stesso approccio che oggi definiremo bioclimatico.

Per architettura bioclimatica si intende lo studio delle soluzioni tipologiche e delle prestazioni dei sistemi tecnologici che rispondono maggiormente alle caratteristiche ambientali e climatiche del sito, e che consentono di raggiungere condizioni di benessere all'inter-

no degli edifici. Tali obiettivi vengono perseguiti attraverso una attività progettualmente consapevole nell'uso delle risorse disponibili. Con un simile approccio si possono massimizzare i benefici ottenibili mediante l'impiego di energie rinnovabili. Si definiscono "bioclimatici" gli edifici e le opere architettoniche in genere caratterizzati dall'utilizzazione di componenti e sistemi edilizi che, oltre ad esplicare la loro funzione specifica, sono anche in grado di assolvere funzioni energetiche<sup>11</sup>.

D'altra parte con l'avvento dell'industrializzazione e lo sfruttamento del petrolio e di un'economia industriale, l'equilibrio e la sostenibilità dei vecchi modelli di vita è andata via via modificandosi contribuendo, attraverso gli attuali modelli di sfruttamento intensivo dell'ambiente naturale, ad un depauperamento delle risorse, all'inquinamento e al degrado ambientale della terra, aria e acqua. L'effetto omologante dell'era del petrolio ha prodotto dunque anche una perdita di identità architettoniche annullando l'applicazione delle capacità e le conoscenze climatiche e ambientali, causando così un analogo inquinamento e degrado culturale nel settore edilizio.

Era il 1984 quando Kenneth Frampton introdusse l'innovativo concetto di *Regionalismo Critico*<sup>12</sup> per riferirsi all'architettura post-moderna come qualcosa non definita. Il termine fu ripreso qualche tempo da due teorici, Alessandro Tzonis e Liane Lefaivre, che gli diedero un'accezione leggermente diversa, leggendolo come quell'approccio che cerca di opporsi all'idea di mancanza di identità e/o di appartenenza di alcune architetture moderne avvalendosi del contesto geografico dell'edificio. Il recupero dei linguaggi legati al luogo viene contrapposto all'imperativo tecnologico, che ha appiattito le scelte della società contemporanea. L'obiettivo è quello di restituire all'uomo quelle sensazioni, non solo visive, che costituiscono una garanzia contro il processo di dissolvimento dell'identità culturale delle città.

L'Italia, per ragioni intrinsecamente legate alla storia e alla tradizione architettonica del paese ben si presta alla ricerca di un possibile Regionalismo Critico<sup>13</sup>. L'interpretazione della storia dei luoghi, l'attenzione alla morfologia del contesto, la registrazione delle istanze interne al progetto, ma anche di quelle provenienti dall'esterno, continuano a essere fattori determinanti per i nuovi inserimenti architettonici. Scriveva Frampton: "il caldo, il freddo, l'aroma dei materiali, il senso di umidità, la presenza quasi palpabile dei mattoni, dove il corpo sente di appartenere, la velocità del nostro passo e la relativa inerzia del corpo mentre attraversa un piano, l'eco e la riso-

11. M. Sala, E. D'Audino (1997). *Lessico di tecnologia bioclimatica*. Firenze. Alinea

12. K. Frampton (Marzo 1984), *Anti tabula rasa: verso un Regionalismo critico*, in *Casabella* n. 500. pp.22.

13. Alcuni architetti italiani tra i quali Gino Valle e Giancarlo De Carlo, nei loro rispettivi inserimenti residenziali realizzati nella laguna veneta alla Giudecca e a Mazzorbo della seconda metà degli anni '80, non si sono sottratti al compito di operare una revisione di forte portata semantica dei principi organizzativi appartenenti a precedenti linguaggi ormai collaudati da tempo e usati solo qualche anno prima in altri luoghi, e ciò al fine di sperimentare interventi da includersi tra quelli critico-regionalisti. Mario Botta nelle sue opere realizzate nel Canton Ticino si oppone con una sua ben riconoscibile resistenza e misura a un internazionalismo architettonico indiscriminato, trascrivendo nel progetto una sequenza di successive soglie fortemente icastiche e anti-retoriche, tutte desunte dai caratteri del contesto.

14. K. Frampton. (Giugno 1986).  
Luogo, Forma, Identità Culturale, in  
*DOMUS*, n°. 673, pag 25

*nanza dei nostri passi*.<sup>44</sup>, a sottolineare l'importanza non solo della scelta formale, ma anche materica nello sviluppo dell'identità e del senso di appartenenza.

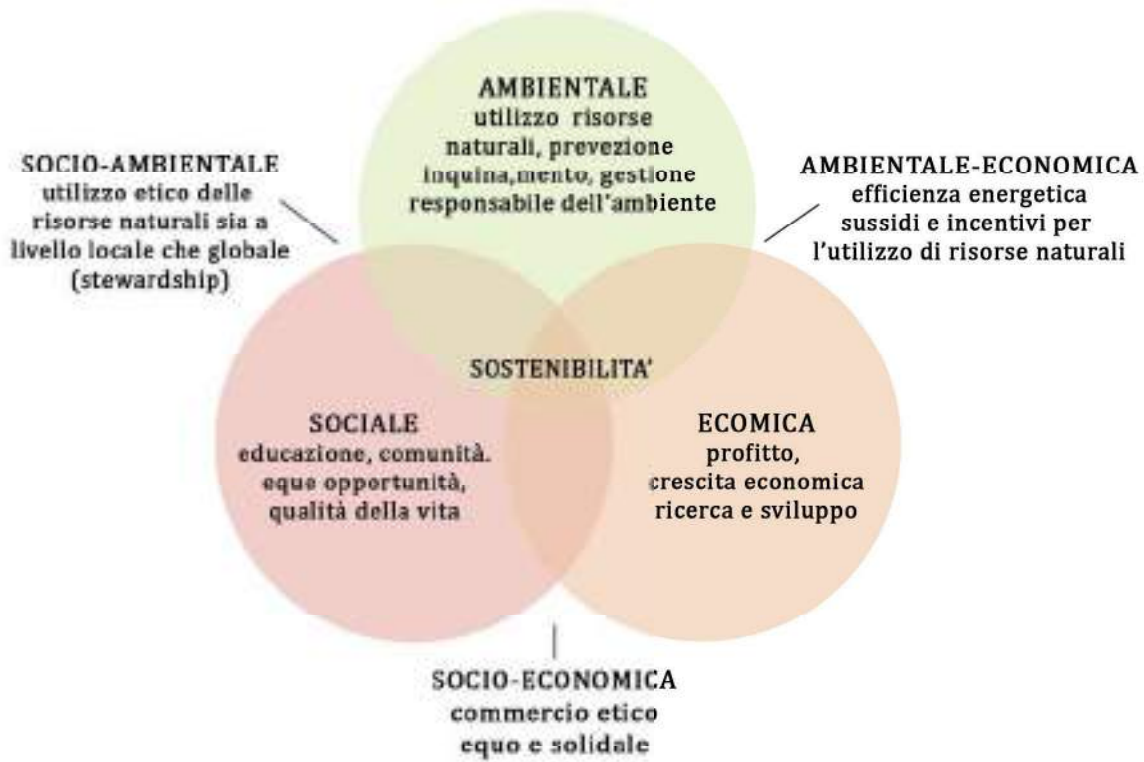
Le attuali necessità di limitare lo sfruttamento delle fonti di energia non rinnovabile, le richieste di benessere e qualità igienica degli edifici rappresentano un'opportunità per riconfigurare la concezione formale e tecnologica degli edifici. Attraverso la riappropriazione della tradizione è possibile una lettura analitica e critica delle potenzialità dell'edilizia storica nel risolvere le problematiche microclimatiche, al fine di reinterpretare in termini contemporanei ed innovativi i valori identitari del sito.

"Si tratta di rileggere l'ambiente destinato o da destinare alla trasformazione, con procedimento problematico di metodo critico analitico, basato sul dialogo, non certo degli interlocutori quanto delle diverse categorie tecnologiche di scomposizione di oggetti e realtà, ricomponendo per abachi successivi le letture sistematicamente orientate per indicatori topologici, tipologici, morfologici costruttivi e materici"[...] "Un luogo non è nuovo perché nasce, ma perché si costituisce nella nostra consapevolezza. Un luogo non ha un inizio o una fine, ma è in continua trasformazione." (Trombetta 2002).

Didascalie alle immagini.

1. Il concetto di sostenibilità, che inizialmente era riferito alla sola sostenibilità ecologica è stato esteso a tutto il territorio identificando tre "sfere" di applicazione della sostenibilità, le cui intersezioni e interrelazioni danno vita al territorio

## LE TRE SFERE DELLA SOSTENIBILITA'





## 1.2 Conservazione ecoefficiente. Il comportamento passivo dell'esistente

La città è il luogo della memoria, dell'identità e della conoscenza. Gli edifici che la compongono hanno visto il susseguirsi di generazioni, di epoche irripetibili, di tragedie e conquiste che hanno segnato la storia dell'umanità. Si fanno ogni giorno portatori di una storia in continua evoluzione e si reinventano a seconda del costume del tempo. Definiscono le caratteristiche peculiari di un luogo, gli danno un volto e accolgono la quotidianità degli individui.

La totale perdita dell'edificato storico equivarrebbe quindi a lasciare un grande vuoto nella storia dell'umanità.

L'architettura è da sempre stata il mezzo attraverso cui si esprimeva il sentire di un popolo, i suoi costumi, le sue aspirazioni e la sua volontà di lasciare un segno del proprio passaggio sulla terra. Ma l'architettura in se non è un oggetto puramente monumentale, come non può essere considerata un mero contenitore; è sinonimo di progresso, di evoluzione, di risposta ad un bisogno da soddisfare, di alterazione e trasformazione di un equilibrio preposto. La città quindi si fa luogo e come ci ricorda Trombetta "un luogo non è nuovo perché nasce, ma perché si costituisce nella nostra consapevolezza. Un luogo non ha un inizio o una fine, ma è in continua trasformazione". I valori cumulativi di cui gli edifici e i centri storici si fanno portatori sono irripetibili e i danni subiti per mano spesso dell'uomo talvolta insanabili.

La potenza della memoria e del ricordo di cui si fanno portatori era chiaro già in epoche passate, sebbene l'attenzione per le forme di edilizia minore fossero scarse se non assenti. Già gli antichi romani coglievano l'importanza del messaggio contenuto in un monumento, per quanto guardassero più all'aspetto comunicativo che a quello materico, avendo una concezione di conservazione e restauro lontana da quella attuale. Il restauro condotto nel mondo classico risponde alla volontà di ripristinare l'aspetto originario dell'opera d'arte e se i procedimenti manutentivi non erano sufficienti per cancellare danni o mancanze, si procedeva con la realizzazione di una copia affinché l'opera potesse manifestare pienamente ciò che rappresentava. Concezione lontana da quella dell'Ottocentesco John Ruskin

1.5. Riegl individua nel valore d'attualità due ulteriori valori: quello d'uso, legato al soddisfacimento dei bisogni dell'uomo; e quello d'arte, legato al soddisfacimento dei bisogni spirituali.

per il quale la conservazione delle testimonianze del passato è vista come un dovere a garanzia del futuro: "noi dobbiamo guardare all'architettura nel modo più serio come all'elemento centrale e garante di questa influenza d'ordine superiore della natura sulle opere dell'uomo. Senza di esse si può vivere, si può anche pregare, ma non si può ricordare. Com'è fredda tutta la storia, com'è spenta tutta la fantasia immaginifica dell'uomo a paragone di quella che, scritta da un popolo vivo e partorita dal marmo, non si lascia degradare! Quante pagine d'incerta ricostruzione del passato non potremmo spesso risparmiare in cambio di pochi massi di pietra rimasti in piedi l'uno sull'altro".

La concezione che aveva Ruskin dell'architettura come parte essenziale del paesaggio e quindi dell'intervenire su di essa solo in seguito ad una profonda conoscenza della natura è assimilabile alle attuali inclinazioni in materia. Non a caso le associazioni in difesa del patrimonio collettivo, nascono proprio dal pensiero critico del romanticismo sociale del tardo ottocento: la "Commons, Open Spaces and Footpaths Preservation Society" è creata nel 1865, e ha tra i suoi fondatori John Stuart Mill, William Morris e Octavia Hill; mentre la "Society for Protection of Ancient Buildings" (SPAB) è fondata da William Morris e Philip Webb nel 1877, e in Italia ha come referente Giacomo Boni.

Conoscenza quindi come primo passo verso una conservazione mantenga inalterato il valore storico dell'edificio e gli garantisca un "valore d'attualità"<sup>17</sup>.

Motivo per cui nel 1519 Raffaello Sanzio, considerabile il precursore degli attuali Soprintendenti per il ruolo che gli era stato assegnato, oltre ad occuparsi di denunciare l'operato indegno dei papi precedenti a Leone X, decise di organizzare una mappatura della città in modo da monitorarla e salvaguardare le antichità che avevano contribuito a rendere celebre Roma.

In questo processo, che va avanti da secoli, di analisi e presa di coscienza dell'importanza legata al tramandare alle generazioni future il grande patrimonio storico di cui disponiamo, si è ormai inserita anche la questione ambientale, ad un livello non più trascurabile.

La questione ambientale, introducendo nuove variabili, tende a modificare le competenze richieste e le variabili-obiettivo da raggiungere che possono essere sintetizzate nella definizione di un nuovo obiettivo generale: la ricerca della massima ecoefficienza in tutte le fasi del ciclo di vita, in relazione ai nuovi comportamenti, definendo obiettivi specifici.

Il tema energetico quindi come apertura verso la riduzione nell'uso di energia e non più solo come "correttivo" dei comportamenti attuali<sup>16</sup>.

L'eco-efficienza, concetto trasposto in architettura di derivazione economica, indica l'offerta di beni e servizi ad un prezzo competitivo, che soddisfino i bisogni umani e assicurino la qualità della vita, riducendo nello stesso tempo gli impatti ecologici e l'intensità di risorse lungo tutto il ciclo della vita ad un livello almeno in linea con la capacità di carico/assorbimento stimata della stessa<sup>17</sup>.

L'eco-efficienza si pone, quindi, come obiettivo, definendo la relazione tra il prodotto e le corrispondenti risorse energetiche ed ambientali impiegate. È possibile definire sette dimensioni dell'eco-efficienza da considerare nello sviluppo di nuovi materiali, componenti, sistemi, nell'introduzione di cambiamenti nei processi produttivi o nella definizione delle strategie progettuali finalizzate a ridurre l'impatto sull'ambiente: riduzione nell'uso di materia ed energia (verso la dematerializzazione e la sostituzione); controllo delle emissioni (in atmosfera, in ambiente idrico, nel terreno) e dei livelli di inquinanti per la salute umana e salvaguardia ambientale; aumento del recupero e riciclo di materiali e del riuso/sostituzione delle componenti; massimizzazione dell'uso delle risorse rinnovabili per l'abbattimento dei consumi e dei costi; allungamento della vita utile delle componenti (verso la durabilità); mantenimento di cicli di vita chiusi (verso il riciclo); minimizzazione degli spostamenti e dei trasporti (per favorire la regionalizzazione dei materiali e tecnologie e la riduzione delle emissioni)<sup>18</sup>.

Analizzando gli insediamenti storici si evince come la concezione di edificio come ecosistema fosse presente nelle attività quotidiane. Gli aspetti legati alla sostenibilità erano presenti nel processo di costruzione e derivavano dalla necessità di dialogare in modo costruttivo con il contesto per poter far fronte a bisogni ed esigenze.

Le tecnologie tradizionali, tramandate di generazione in generazione, si arricchivano e miglioravano grazie all'esperienza, che andava ad arricchire il bagaglio di conoscenze pratiche e teoriche.

A seconda del contesto ambientale, climatico e materico, davano vita a un linguaggio specifico legato alla località in cui si sviluppavano, rivelando un profondo legame tra edificio e natura.

La casa rappresentava prima di tutto un riparo: l'involucro doveva essere capace di assolvere, quindi, non solo funzioni statiche, ma regolare gli scambi come l'ambiente esterno e permettere il raggiungimento di un livello di comfort in grado di consentire il normale

16. "Il problema energetico ambientale nel progetto dell'esistente determina la ridefinizione di criteri e modalità di intervento a livello europeo, sulla base di documenti internazionali, quali la UE-carta delle città europee per uno sviluppo durevole e sostenibile, Aalborg, 1994, che promuove il riuso dell'esistente come strategia operativa e la realizzazione di edifici efficienti dal punto di vista energetico e modalità di trasporto urbano non nocive per l'ambiente; CIB Agenda 21 del costruire sostenibile, 1998, in cui si definiscono Recupero e Manutenzione come azioni per la salvaguardia delle risorse fisiche e naturali degli insediamenti ed il miglioramento dell'efficienza ambientale e delle condizioni di vita; UE-5 PQ Ricerca e Sviluppo, The City of Tomorrow, 1998-2002, le cui azioni prioritarie muovono verso la Sperimentazione di fonti energetiche rinnovabili e la Certificazione energetico-ambientale degli interventi.

In Italia, criteri e modalità di intervento sono definiti dall'ENEA-Codice Concordato di raccomandazioni per la qualità energetico ambientale di edifici e spazi aperti, 1998, in cui si fissano principi e raccomandazioni finalizzati al conseguimento di una elevata qualità energetico-ambientale negli interventi di trasformazione del territorio (raggiungimento della qualità della vita ambientale nell'architettura, conservazione e valorizzazione delle risorse locali, utilizzo di fonti di energia rinnovabili); i

Nuovi Regolamenti Edilizi in cui si definiscono linee guida di intervento e requisiti volontari ed i Nuovi PRG che introducono le "regole della bioclimatologia", S. Baiani (2010). In *Cultura tecnologica e progetto sostenibile: idee e proposte ecocompatibili per i territori del sistema aquilano: atti del workshop progettuale SFTdA* (M. C. Forlani cur.), Firenze: Alinea.

17. BCSD (Business Council Sustainable Development), Conferenza mondiale di Rio sull'ambiente e lo sviluppo, 1992.

18. "La trasformazione ecoefficiente di una parte di territorio, di un sistema urbano, di un organismo architettonico, di un prodotto edilizio, si concretizza quando le alterazioni morfologiche, strutturali e funzionali, dirette e indotte, del sistema ambientale, nelle fasi di approvvigionamento, produzione, consumo e smaltimento, vengono riequilibrare, naturalmente o artificialmente, in termini quantitativi e qualitativi; quando siamo perseguiti un'ottimizzazione ed un risparmio delle risorse ambientali, una drastica e generalizzata riduzione dei carichi ambientali, ed infine quando sia, al contempo, garantita la salute psicofisica degli operatori e degli utenti in tutte le fasi e gli aspetti precedentemente elencati". S. Dierna (2008). Introduzione in *Ecogestione dell'ambiente costruito* (E. Cangelli cur.). Firenze: Alinea.

19. P. De Berardinis, M. Rotilio. (2007). Introduzione di principi di sostenibilità negli interventi di recupero dell'involucro storico.

svolgimento delle attività quotidiane.

A partire dall'Ottocento, con l'avvento della civiltà industriale, è noto il progressivo distacco da questo modello costruttivo di tipo "passivo", che ha portato ad un modello "dissipativo", rispondente alla sola logica del progresso tecnologico inteso come possibilità di trascurare il contesto a favore di metodi di climatizzazione non naturali.

*Tale fenomeno vide la sua principale causa nel fatto che le tecnologie di climatizzazione permettevano il soddisfacimento di tutti i bisogni dell'utenza a differenza delle tradizionali tecnologie edilizie, in un'epoca in cui l'industria assumeva il ruolo di regolazione e gestione dell'intera società.*

*La fiducia estrema nei mezzi tecnologici e la convinzione della superiorità della "machine à habiter" portò alla smaterializzazione dell'involucro e all'atteggiamento secondo il quale le condizioni di comfort possano essere conseguite esclusivamente in modo artificiale. L'autonomia dell'architettura dal contesto ambientale nel quale veniva a collocarsi e l'uniformità alla quale essa tendeva, comportò anche dei "costi sociali". Infatti l'involucro edilizio tendeva a divenire sempre più estraneo ai comportamenti dell'utenza e per questo motivo non si rivelò più come veicolo di cultura, come testimonianza dell'"intrinseco rapporto tra costruzione e sito che aveva caratterizzato tutta la storia delle costruzioni fino a quel momento".*

Per questo motivo "gli antichi esperirono il loro ambiente come costituito di caratteri definiti. In particolare riconobbero essere di importanza vitale il venire a patti con il genius della località in cui doveva avere luogo la loro esistenza. Nei tempi passati la sopravvivenza dipendeva da un "buon" rapporto con il luogo, in senso fisico e psichico".

La conservazione degli edifici storici e con essi il permanere dei loro significati ha tratto spesso giovamento dalle pratiche manutentive finalizzate ad evitare la necessità di estesi interventi di restauro, recupero o riqualificazione. Un'attenta pratica manutentiva costante e condotta ciclicamente era anche il giusto espediente per tramandare le conoscenze delle tecnologie costruttive e del funzionamento energetico degli organismi architettonici. Con il passare del tempo e il cambiare delle abitudini legate all'abitare e allo svolgersi della vita stessa, il lavoro di manutentore si è modificato scomparendo nella sua accezione originaria. La perdita di questa figura "tuttologo" che abitava l'edificio e della cui cura e custodia si faceva carico

a 360°C ha portato molto spesso anche alla perdita di informazioni che venivano talvolta tramandate solo per voce, ma soprattutto ha avuto come conseguenza un distacco dell'utente dall'oggetto edificio e la perdita di questa consuetudine. Il risultato è stato un progressivo abbandono e degrado di molti edifici storici a cui si vanno ad aggiungere quegli interventi frutto di atteggiamenti culturalmente riduttivi in fase di analisi che hanno causato spesso più danni che benefici.

La progettazione della città futura parte dallo studio dei centri storici perché proprio il centro storico custodisce dimensioni e misure "sostenibili" e il concetto di vincolo, quando riferito al patrimonio diffuso minore deve essere considerato come un qualcosa che mira a tutelare delle caratteristiche del costruito che sfuggono ad una regola precisa, ma che nel loro insieme presentano caratteri di ripetitività nel contesto ed unicità rispetto alla cultura dei luoghi.

La società contemporanea sta riscoprendo il legame tra l'edificio e ciò che lo circonda, considerati come due entità non separate, ma che si completano e si influenzano a vicenda. Il processo progettuale, nelle nuove costruzioni, ma soprattutto negli interventi di recupero, ha la tendenza a rimettere in luce tutti gli aspetti legati alla sostenibilità presenti negli insediamenti. In realtà infatti, la cultura della sostenibilità e la cultura del recupero hanno radici comuni<sup>21</sup> in quanto alla loro origine c'è la convinzione che utilizzare con parsimonia le risorse, sfruttare quelle rinnovabili, possa permettere di conseguire il cosiddetto "sviluppo sostenibile", secondo la sua prima vera definizione contenuta nel Rapporto Brundtland (1987).

Tuttavia i contesti in cui le teorie legate alla sostenibilità hanno trovato maggiore applicazione sono quelli in cui i valori architettonici e ambientali sono tali da tollerare operazioni abbastanza invasive.

Si trova ancora molta difficoltà ad avvicinare le nuove tecnologie a manufatti architettonici dal valore storico-artistico, al punto che pochi sono gli esempi effettivamente realizzati a cui possiamo fare riferimento.

L'intervento sull'esistente, specialmente in presenza di vincoli e limiti tecnico-strutturali, necessita di una lunga investigazione riguardo le modalità attraverso le quali si può operare sul manufatto alla luce della definizione e comprensione dei suoi elementi, a partire dall'involucro che ne costituisce l'essenza e l'identità matetica ed estetica.

Provando ad andare oltre le particolari soluzioni "di tendenza" si dovrebbe tentare di recuperare il valore ed il significato stesso del

In *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*. Ancona: Artec.

20. C. Norberg-Schulz. (1996). *Genius loci. Paesaggio Ambiente Architettura*. Electa, Milano. p. 18.

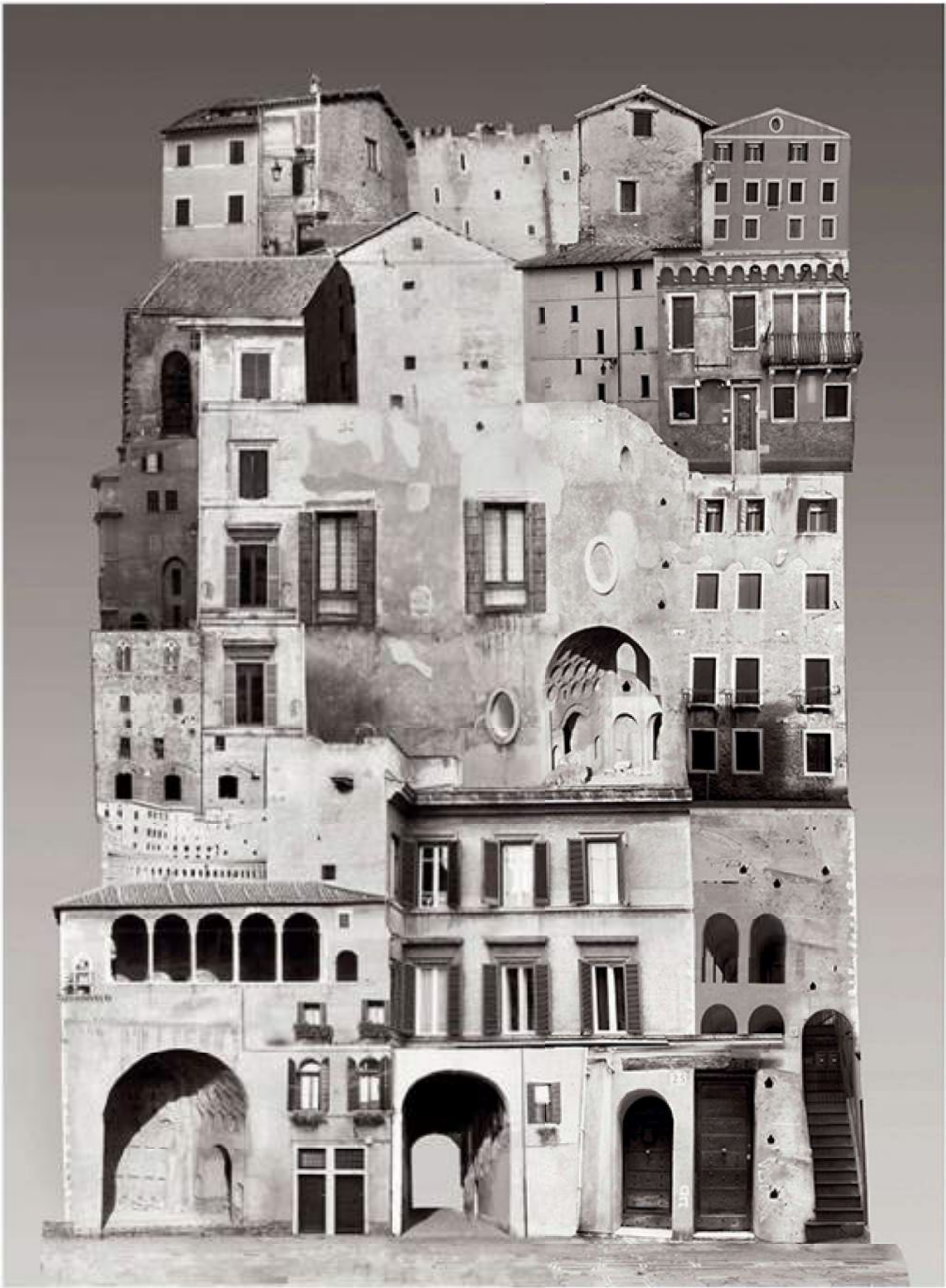
21. Fontana, C. (2004). Recupero e sostenibilità. *Il progetto sostenibile*. n 2, 4-11. Monfalcone: Edilcom Edizioni

22. P. De Berardinis, M. Rotilio. (2007). Introduzione di principi di sostenibilità negli interventi di recupero dell'involucro storico. In *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*. Ancona: Artec.

concetto di intervento progettuale, cercando di non perdere di vista come il reale sia un organismo unico, complesso, di certo scomponibile attraverso le molteplicità di analisi che l'uomo è in grado di realizzare, ma che non si identifica nella parte quanto nella molteplicità del tutto. L'azione progettuale deve essere in grado di interpretare le singole porzioni e di legarle insieme prevedendo interventi "compatibili", non invasivi, legati alla "cultura materiale" ed alla profonda conoscenza dell'involucro su cui si interviene<sup>22</sup>.

Didascalie alle immagini.

2. Interpretazione del Genius Loci  
Italiano di Anastasia Sovinova





### 1.3 Riqualificazione del patrimonio storico costruito. Il miglioramento dell'efficienza energetica

Il 1992, con la Convenzione Quadro sui cambiamenti climatici<sup>23</sup> stipulata dalla Nazioni Unite durante la Conferenza tenutasi a Rio de Janeiro, è l'anno in cui ufficialmente inizia la presa di coscienza rispetto al rischio ambientale causato dal progresso. Anche se dal punto di vista legale tale accordo non risultava vincolante, i Paesi firmatari si ponevano l'obiettivo di riportare entro il 2000 le emissioni di gas serra ai livelli del 1990. Il trattato entra in vigore solo il 24 marzo 1994, quantificando il grado di responsabilità di ogni paese in base al livello di sviluppo di ognuno.

Il 1997 è l'anno della Terza Conferenza delle Parti, che darà vita al Protocollo di Kyoto, aperto alla firma a partire dal 16 marzo 1998<sup>24</sup>, ma entrato in vigore solo nel febbraio 2005, anno in cui la Commissione Europea con "Il Libro Verde dell'efficienza energetica - fare più con meno" promuove l'utilizzo di tecnologie sostenibili per il miglioramento dell'efficienza energetica nei diversi campi di applicazione. Sarà però solo la seconda edizione del 2006, "Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura", a porre le basi per la stesura del "Pacchetto Clima-Energia 20-20-20", approvato nel 2008.

Gli obiettivi dichiarati nel documento, da raggiungere entro il 2020, prevedevano la riduzione del 20% delle emissioni di gas a effetto serra, il raggiungimento del 20% di risparmio energetico e un incremento del 20% nel consumo di fonti rinnovabili; nel 2011, però, vista la possibilità di conseguire un risparmio energetico massimo pari alla metà di quello inizialmente prefissato emana il nuovo Piano di Efficienza Energetica, prevedendo una serie di provvedimenti nei confronti dei paesi inadempienti.

Purtroppo il fallimento delle strategie messe in atto fa portato non solo all'estensione del Protocollo di Kyoto al 2020, ma alla pianificazione di una serie di accordi che vincoleranno i Paesi legalmente alla riduzione dei consumi, da attuare appunto entro il 2020.

All'interno di questo quadro in cui si inseriscono altre tematiche parallele, come quella della riduzione del consumo di suolo e del recupero del patrimonio costruito, alla riqualificazione energetica

23. United Nations Framework Convention on Climate

24. «Le Parti (...) assicureranno, individualmente o congiuntamente, che le loro emissioni antropiche aggregate, espresse in equivalente-biossido di carbonio, dei gas ad effetto serra (...), non superino le quantità che sono loro attribuite, calcolate in funzione degli impegni assunti sulle limitazioni quantificate e riduzioni specificate nell'Allegato B e in conformità alle disposizioni del presente articolo, al fine di ridurre il totale delle emissioni di tali gas almeno del 5% rispetto ai livelli del 1990, nel periodo di adempimento 2008-2012» Art. 3, Protocollo di Kyoto della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici - Dichiarazione.

dell'esistente viene assegnato un ruolo chiave.

Il progetto di riqualificazione nasce dalla necessità non solo di conservare, ma di inserire nell'edificio esistente quelle componenti mancanti che ne rendono difficile se non impossibile l'utilizzo. Si configura come un progetto che contiene in se differenti istanze, da quella storica, a quella estetica a quella tecnologica, per il connubio delle quali è fondamentale passare attraverso un processo di approfondita anamnesi tecnica dell'edificio. Il progetto si presenterà dunque come una sintesi critica delle varie azioni conoscitive.

Il riuso del patrimonio edilizio esistente, le problematiche energetiche, la settorializzazione della produzione edilizia, il complesso e articolato corpus normativo di riferimento, nella pratica ordinaria, inducono a rivedere criticamente una serie di approcci progettuali focalizzati sul binomio idea/forma, per spostare l'attenzione su approcci di tipo più processuale. Inoltre in un immobile storico, il monitoraggio integrato energetico e ambientale costituisce passaggio importante per la comprensione del rapporto tra edificio, microclima e consumo energetico, secondo un'ottica di compatibilità ambientale e di "minimo intervento". In questo modo si attiva un processo di raccolta dati sistematico e documentato, finalizzato a individuare i possibili interventi di miglioramento tecnologico e gestionale e ad analizzare le correlazioni tra fabbisogno energetico e qualità dell'ambiente interno.

Di fatto però non esistono delle indicazioni precise e normative su come vada approcciato il problema della riqualificazione o più in generale del recupero di un edificio storico. Si è sempre fatto riferimento all'esistente tutelato in termini di conservazione e restauro, senza porsi troppo il problema ben più importante dell'inserimento della componente tecnologica all'interno dell'organismo strutturale. Nell'ottica di una conservazione che non miri alla totale musealizzazione degli edifici, ma che contempi una prosecuzione dell'utilizzo del manufatto o addirittura una riconversione funzionale, sarebbe importante mettere a sistema una serie di indicazioni normative, che non siano solo delle generiche linee guida.

Analizzando i documenti a nostra disposizione vediamo come secondo Brandi<sup>25</sup> "il ristabilimento della funzionalità, seppure rientra nell'intervento di restauro, non ne rappresenta in definitiva che un lato o secondario o concomitante, mai quello primario e fondamentale che ha riguardo all'opera d'arte in quanto opera d'arte"<sup>26</sup>.

Ancora, nella Carta del Restauro del 1972 viene approfondita la distinzione fra risanamento di un'emergenza monumentale e risana-

25. Autore di "Teoria del restauro" è ad oggi il massimo esponente e guida negli interventi sui Beni Culturali

26. C. Brandi. (1977). *Teoria del restauro*. Torino: Einaudi p. 4.

mento dell'edilizia storica minore: mentre nel primo caso l'esigenza principale è quella di conservare qualsiasi testimonianza storica caratterizzante l'edificio (conservazione integrale), in presenza di "generiche preesistenze"<sup>27</sup> si dovrà cercare di agevolare le esigenze abitative contemporanee, pur limitando le sostituzioni, anche solo parziali, degli elementi ormai obsoleti e non più utilizzabili. Ma la riqualificazione energetica passa spesso attraverso il rifacimento degli impianti, un'esigenza da perseguire nel rispetto delle caratteristiche storico-culturali dell'edificio.

In linea di principio Carbonara suddivide i possibili interventi di riadeguamento impiantistico in due categorie in base alla loro invasività, fornendo per ognuna di esse delle indicazioni operative:

- Se l'adeguamento funzionale non richiede sacrifici particolare a danno delle preesistenze, piccoli adattamenti consentiranno la trasformazione indolore sul piano dei caratteri della fabbrica, quasi un "completamento" incanalato nell'alveo del processo formativo dell'architettura;
- Se l'adeguamento funzionale e impiantistico comporta grandi incisioni e mutilazioni nel corpo stesso della costruzione, bisognerà valutare ed, eventualmente, ridimensionare le prestazioni richieste, in ogni caso sarà necessario riferirsi alle tecniche e modalità proprie del restauro monumentale, non trascurando il dovere di promuovere la qualità architettonica delle aggiunte indispensabili.

Il criterio che deve essere assunto è di recuperare l'efficienza degli impianti elevandoli da problema tecnico a componenti formali, trasferendoli dal livello sintattico al livello semantico dell'architettura, scegliendo di volta in volta se occultare, esporre o inalveolare i singoli elementi tecnologici<sup>28</sup>.

Al fine quindi di preservare i caratteri identitari che costituiscono l'edificio storico e porre l'intervento di riqualificazione in posizione di dialogo nei confronti delle preesistenze i criteri da osservare sono quelli propri della teoria del restauro della sua accezione più generale: *riconoscibilità*, *reversibilità*, *compatibilità* e *minimo intervento*.

*Riconoscibilità*: la teoria del restauro parte dal presupposto che qualsiasi tipo di intervento vada a modificare lo stato originario debba essere distinguibile. Si parte dal presupposto che la lettura delle partizioni architettoniche di partenza possa rimanere inalterata mettendo il fruitore nella condizione di riconoscere le varie

27. Carta del Restauro, 1972, Allegato d: "Istruzioni per la tutela dei centri storici".

28. G. Palmerio. (2001). Premesse teoriche e di metodo, in G. Carbonara (cur) *Trattato di restauro architettonico*. Torino: UTET. p. 66.

stratificazioni.

*Compatibilità:* affinché si garantisca la preservazione del substrato di partenza, qualsiasi intervento, che sia di tipo puramente conservativo o che vada in parte a modificare la situazione iniziale, deve essere eseguito con materiali che non rechino danno fisico né estetico ai materiali originari. Importante è quindi che abbiano le stesse proprietà fisiche e meccaniche al fine di non danneggiare la struttura di partenza e ottenere il risultato contrario a quello prefissato.

*Reversibilità:* qualsiasi tipo di intervento dovrebbe essere pensato e realizzato con la consapevolezza di poter essere rimosso per motivi che possono riguardare la sua alterazione, il superamento di determinate tecnologie di intervento o motivi puramente estetici. L'obiettivo quindi è quello di non recare danno all'originale. Questo fa della reversibilità una diretta conseguenza della compatibilità materiale dei materiali scelti.

*Minimo intervento:* il concetto di minimo intervento muove i suoi passi dal concetto che preservare equivale a mantenere il più inalterate possibile le caratteristiche dell'edificio storico in quanto detentore di memoria e identità. Questo è sicuramente il principio più importante e quello più discusso perché diverse sono le scuole di pensiero riguardo cosa si possa o meno sacrificare di una presenza portatrice di valori unici e irripetibili. Se da una parte troviamo figure come Marconi, che considerava l'intonaco una superficie di sacrificio, diversamente la Scuola Romana pone particolare attenzione ad intonaci non più ricreabili ai nostri giorni e quindi importante testimonianza di tecniche superate e appartenenti ad altre epoche, talvolta realizzate con materiali non più reperibili. Il discorso ovviamente varia ulteriormente nel momento in cui ci si confronta con un edificio monumentale piuttosto che con uno appartenente all'edilizia storica minore. In ogni caso lo scopo è quello di provocare meno stress possibile all'opera su cui si interviene.

A fronte di questa classificazione sarebbe forse utile aggiungerne un'altra che spesso viene data per scontata, ma che negli interventi di riqualificazione è fondamentale, in quanto si vanno a toccare molteplici aspetti che esulano dal solo restauro: *l'interdisciplinarietà*. Interagire con diverse discipline/professionisti non è solo un importante scambio di conoscenze e competenze, ma vuol dire una progettazione più consapevole su ogni fronte al fine di ottenere un lavoro il più completo e rispettoso possibile.

Gli interventi di riqualificazione edilizia devono mirare a restituire qualità e funzionalità alle risorse costruite sviluppandosi in uno

spazio progettuale circoscritto dal compromesso tra la conservazione dei valori di identità del bene stesso e le istanze di adeguamento a nuove esigenze.

Tuttavia la normativa a disposizione non ci fornisce alcun indicazione precisa in materia di integrazione di sistemi tecnologici innovativi in strutture tutelate.

Partendo dal presupposto che "La tutela consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette, sulla base di un'adeguata attività conoscitiva, ad individuare i beni costituenti il patrimonio culturale ed a garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione" (all'articolo 3, comma 1, del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio) l'attuale urgenza di riqualificare il patrimonio edilizio apre nuovi interrogativi in relazione all'effettiva applicabilità al costruito storico delle norme per il contenimento dei consumi energetici.

Oltre l'obbligo della conservazione degli edifici storici, il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio 42/2004 ci impone quello della fruizione<sup>29</sup> strettamente connesso alla valorizzazione stessa del bene. Le esigenze di riuso degli edifici rendono necessario conformarsi alle normative vigenti, dall'abbattimento delle barriere architettoniche al risparmio energetico. D'altra parte però se è vero che per quanto riguarda gli edifici storici lo strumento della deroga in materia di efficienza energetica non impone il raggiungimento dei valori minimi fissati da normativa, è altrettanto vero che l'Italia vede un panorama disseminato di edifici e centri storici che rischiano di perdere un'opportunità per il raggiungimento di livelli di comfort vicini a quelli di edifici di nuova costruzione.

Le prime indicazioni relative al costruito e alla tutela dei centri storici iniziarono a farsi avanti nel 1931 con la Carta d'Atene. Il documento, oltre a promuovere l'utilizzo degli edifici monumentali in modo da assicurarne la "continuità vitale"<sup>30</sup> mediante un'idonea destinazione d'uso, "raccomanda di rispettare, nelle costruzioni degli edifici, il carattere e la fisionomia della città, specialmente in prossimità dei monumenti antichi, per i quali l'ambiente deve essere oggetto di particolari cure"<sup>31</sup>. L'anno successivo verrà emanata la Carta Italiana del Restauro, che oltre a ribadire l'importanza del rispetto nei confronti dell'ambiente circostante un'emergenza monumentale, inizia a trattare il tema delle integrazioni. L'articolo 7 afferma che "nelle aggiunte che si dimostrassero necessarie (...) per la pratica utilizzazione del monumento, il criterio essenziale da eseguirsi debba essere, oltre quello di limitare tali elementi nuovi al

29. D.Lgs. 42 del 22 gennaio 2004 e s.m.i., PARTE RPIMA Disposizioni generali

Art. 6. Valorizzazione del patrimonio culturale

1. La valorizzazione consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette a promuovere la conoscenza del patrimonio culturale e ad assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso, anche da parte delle persone diversamente abili, al fine di promuovere lo sviluppo della cultura. Essa comprende anche la promozione ed il sostegno degli interventi di conservazione del patrimonio culturale. In riferimento al paesaggio, la valorizzazione comprende altresì la riqualificazione degli immobili e delle aree sottoposti a tutela compromessi o degradati, ovvero la realizzazione di nuovi valori paesaggistici coerenti ed integrati. (comma così modificato dall'art. 1 del d.lgs. n. 156 del 2006, dall'art. 2 del d.lgs. n. 157 del 2006, dall'art. 1 del d.lgs. n. 62 del 2008 e dall'art. 1 del d.lgs. n. 63 del 2008).

2. La valorizzazione è attuata in forme compatibili con la tutela e tali da non pregiudicarne le esigenze.

30. "La Conferenza raccomanda di mantenere, quando sia possibile, la occupazione dei monumenti che ne assicura la continuità vitale, purché tuttavia la moderna destinazione sia tale da rispettare in carattere storico ed artistico". Conferenza Internazionale di Atene, Carta di Atene, 1931, art. II.

31. Ivi, art. VII.

32. Consiglio Superiore per le Antichità e Belle Arti, Carta Italiana del Restauro, 1932, art. 7

33. "Art. 1: Tutte le opere d'arte di ogni epoca, nella accezione più vasta, che va dai monumenti architettonici a quelli di pittura e scultura (...) sono oggetto delle presenti istruzioni (...). Art. 2: Oltre alle opere indicate nell'articolo precedente, vengono a queste assimilati, per assicurarne la salvaguardia e il restauro, i complessi di edifici di interesse monumentale, storico o ambientale, particolarmente i centri storici", Ministero della Pubblica Istruzione, Carta Italiana del Restauro, 1972.

34. Consiglio d'Europa, Carta europea del patrimonio architettonico, Amsterdam 1975, art. 7.

minimo possibile, anche quello di dare ad essi un carattere di nuda semplicità»<sup>32</sup>. L'articolo pur non riferendosi ad azioni ben precise è attribuibile sostanzialmente ad azioni di consolidamento o completamento, dal momento che si era ancora lontani in quegli anni dal porsi il problema energetico e quindi di adeguamento impiantistico e tecnologico.

Il 1964 vede la pubblicazione della Carta di Venezia. Redatta a seguito delle nuove riflessioni rese necessarie dalla ricostruzione post-bellica, la carta risulta però fondamentale per la nuova definizione del concetto di "monumento", non più considerato come elemento isolato bensì correlato strettamente all'ambiente circostante, rappresentante, anch'esso, testimonianza storica e culturale. Ma sarà solo con la Carta Italiana del Restauro del 1972 che i complessi di edifici d'interesse culturale e, in particolare, i centri storici assumono la dignità di opera d'arte<sup>33</sup>, al cui tema specifico viene dedicato l'Allegato d Istruzioni per la tutela dei "Centri Storici". In esso si afferma: "Il carattere storico va riferito all'interesse che detti insediamenti presentano quali testimonianze di civiltà del passato e quali documenti di cultura urbana, anche indipendentemente dall'intrinseco pregio artistico o formale o dal loro particolare aspetto ambientale, che ne possono arricchire o esaltare ulteriormente il valore, in quanto non solo l'architettura, ma anche la struttura urbanistica possiede, di per se stessa, significato e valore". Quello che continua a mancare sono comunque le indicazioni di tipo pratico per gli interventi di tutela e conservazione degli edifici minori, che risultano invece da sempre i più soggetti ad interventi di modifica e adeguamento vista la funzione residenziale che svolgono.

Gli anni settanta vedono non un allargarsi della questione a livello internazionale, ma anche una prima presa di coscienza delle problematiche energetiche da parte dell'adesso Unione Europea. Nel 1975 viene firmata la Carta Europea del patrimonio architettonico in cui per la prima volta si parla di "conservazione integrata", ovvero "il risultato dell'uso congiunto della tecnica del restauro e della ricerca di funzioni appropriate"<sup>34</sup>. La conservazione integrata vede nel linguaggio architettonico moderno una possibilità delle potenzialità e non dei limiti per l'edificato storico. Sarà però solo con la Carta di Machu Picchu, voluta da Bruno Zevi e redatta nel 1978, che verranno affrontate in modo più dettagliato le problematiche legate al progresso tecnologico, all'inquinamento e alle condizioni di vita. Pur rappresentando un fondamentale passo avanti per quanto concerne il riadeguamento tecnologico degli edifici, la carta si limita ad

introdurre il problema senza fornire indicazioni pratiche, se non quella del generico ricorso alla progettazione bioclimatica.

Il 1987 viene stilata a Washington la *Carta internazionale per la salvaguardia delle città storiche* dall' *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS), la quale riporta che "tutte le città del mondo, risultanti sia da uno sviluppo più o meno spontaneo sia da un determinato progetto, sono le espressioni materiali della diversità della società attraverso la storia e sono, per questo tutte storiche. La presente Carta concerne più precisamente le città, grandi o piccole, ed i centri o quartieri storici, con il loro ambiente naturale o costruito, che esprimono, oltre alla loro qualità di documento storico, i valori peculiari di civiltà urbane tradizionali. Ora, questi sono minacciati dal degrado, dalla destrutturazione o meglio, distruzione, sotto l'effetto di un modo di urbanizzazione nato nell'era industriale e che concerne oggi, universalmente, tutte le società". Da sottolineare l'importanza che viene data non solo all'edificio in se, ma a tutto il contesto all'interno del quale è inserito come parte integrante dell'edificio stesso e alla partecipazione e coinvolgimento della popolazione. \*1) La salvaguardia delle città e quartieri storici deve, per essere efficace, far parte integrante di una politica coerente di sviluppo economico e sociale ed essere presa in considerazione nei piani di assetto del territorio e di urbanistica a tutti i livelli. 2) I valori da preservare sono il carattere storico della città e l'insieme degli elementi materiali e spirituali che ne esprime l'immagine; in particolare: a) la forma urbana definita dalla trama viaria e dalla suddivisione delle aree urbane; b) le relazioni tra i diversi spazi urbani: spazi costruiti, spazi liberi, spazi verdi; c) la forma e l'aspetto degli edifici (interno e esterno), così come sono definiti dalla loro struttura, volume, stile, scala, materiale, colore e decorazione; d) le relazioni della città con il suo ambiente naturale o creato dall'uomo; e) le vocazioni diverse della città acquisite nel corso della sua storia. Ogni attentato a tali valori comprometterebbe l'autenticità della città storica."

Nello stesso anno viene redatta la Carta C.N.R. (Conservazione e Restauro degli Oggetti d'Arte e di Cultura), con l'intento di "rinnovare, integrare e sostanzialmente sostituire la Carta Italiana del restauro del 1972". *L'Allegato A Istruzioni per la tutela dei centri storici* fornisce una serie di indicazioni pratiche, continua a non affrontare il tema del recupero tecnologico e delle integrazioni impiantistiche parlando di generico "rinnovamento funzionale".

Ugualmente accade per le più recenti Carta di Cracovia (2000) e

35. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia, art.2 c.2.

Carta di Betlemme (2008), che non prendono in considerazione il problema dei consumi energetici e di conseguenza dell'adeguamento impiantistico.

Come abbiamo visto, a partire dal protocollo di Kyoto, l'Unione Europea ha promosso una serie di politiche mirate a contrastare il problema dei cambiamenti climatici e promuovere l'innovazione tecnologica sostenibile e a basso consumo energetico.

Il primo strumento normativo, risale al 2002, con la direttiva 91/CE "Energy Performance of Buildings Directive" (EPBD), che è stata recepita da ogni singolo Stato membro a seconda delle esigenze e delle peculiarità climatiche locali. La EPBD rimarcava «l'esigenza di uno strumento giuridico complementare che sancisca interventi più concreti al fine di realizzare il grande potenziale di risparmio energetico tuttora inattuato e di ridurre l'ampio divario tra le risultanze dei diversi Stati membri in questo settore», ma il compito di istituire i requisiti minimi di rendimento energetico viene affidato ai singoli Paesi, che dovevano fissare dei parametri da rivedere con scadenze regolari, con intervalli non superiori ai 5 anni. Parallelamente diviene necessario certificare il livello di prestazione energetica (Energy Performance, EP), definito dalla direttiva come la "quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, tra gli altri, la climatizzazione invernale, il riscaldamento dell'acqua, il raffreddamento, la ventilazione, l'illuminazione"<sup>35</sup>.

L'EP viene quindi calcolato tenendo conto della coibentazione, delle caratteristiche tecniche dell'edificio e di quelle climatiche del sito scelto per l'edificazione (esposizione al sole, influenza delle eventuali strutture adiacenti, orientamento).

L'EPBD2 del maggio 2010 (Direttiva 2010/31/CE), abroga la precedente e sottolinea la necessità di attuare nuove strategie di risparmio energetico, in modo da raggiungere gli obiettivi fissati dal pacchetto "Clima-Energia": le costruzioni realizzate a partire dal 31 dicembre 2020 dovranno essere in grado di autoprodurre la quantità di energia necessaria alla loro fruizione, tramite approvvigionamento da fonti rinnovabili, così come gli edifici pubblici che, entro il 31 dicembre 2018, dovranno adeguarsi allo standard degli "edifici a energia quasi zero". Lasciando inalterata la possibilità, per i Paesi membri dell'Unione, di stabilire i requisiti di efficienza relativi al proprio territorio

Per quanto riguarda gli edifici esistenti viene chiarito meglio il con-

retto di "ristrutturazione" e viene dato l'obbligo di rispettare i requisiti stabiliti dalla normativa anche per gli edifici minori.

Eppure, come la precedente direttiva, anche la 2010/31/CE prevede la possibilità di andare in deroga all'adeguamento ai minimi requisiti energetici per edifici di valore storico e architettonico, nel caso in cui gli interventi di riadeguamento arrechino danno al loro carattere o aspetto.

Il 2012 viene emanata l'ultima direttiva, 2012/27/UE, la quale si pone molti obiettivi in ambito energetico, ma continua a non affrontare il problema legato all'esistente, che rimane competenza esclusiva dei singoli stati membri, con la conseguenza che ognuno ha optato per soluzioni diverse, sicuramente calate sul proprio contesto, ma prive di ogni regolamentazione che obblighi ad intervenire.

A livello di recepimento della Direttiva, "solo l'Italia ha optato per una legislazione concorrente stato-regioni, emanando cioè leggi a livello nazionale ma delegandone l'attuazione agli organi subordinati (...)"<sup>36</sup>.

In Italia, la normativa inizia a dare indicazioni in materia di efficienza energetica già dal 1975, quando il Piano Energetico Nazionale (PEN), stabiliva che "al fine di contenere il consumo energetico per usi termici negli edifici », nel 1976 venne infatti varata la legge n. 373 per la regolamentazione delle prestazioni, l'installazione e l'esercizio dei diversi componenti impiantistici per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, da attuare grazie a nuove importanti indicazioni progettuali relative al sistema impiantistico e all'isolamento termico delle nuove costruzioni"<sup>37</sup>.

Anche se la vera innovazione è data dalla legge 10 del 9 gennaio 1991, "Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia", a cui tutt'ora si fa riferimento. L'innovazione riguardava il modo di concepire l'edificio, non visto più come una serie di parti tenute insieme da un involucro il cui compito era quello di evitare le dispersioni, ma come un sistema edificio-impianto, in cui la riduzione dei consumi energetici era possibile solo avendo una visione integrata dell'intero immobile, dell'utilizzo che ne veniva fatto e attraverso l'integrazione di fonti rinnovabili.

In riferimento alla riqualificazione del patrimonio preesistente, la norma prevedeva vari gradi di intervento, rimandando all'autorizzazione dell'adesso Ministero per i Beni e le Attività Culturali, la decisione in merito ad edifici sottoposti a vincolo in quanto "di inte-

36. Lucchi, E. Pracchi, V. (a cura di) (2013), *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*. Milano: Maggioli Editore. p. 16.

37. Legge n. 373 del 30 aprile 1976: "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici", art. 1.

38. Il 192/2005, stabilendo «i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorirne lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico»<sup>38</sup>, fu considerato il principale riferimento normativo in materia di certificazione energetica, in quanto fu la prima legge a riconoscere il ruolo e le responsabilità del certificatore. Oltre a fornire importanti indicazioni per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, mediante il pacchetto di specifiche tecniche UNI/TS 1130070, il decreto fissò i requisiti per il fabbisogno di energia primaria e per la trasmittanza termica dei diversi componenti, da rispettare nel caso di nuove realizzazioni o interventi sul patrimonio già presente.

39. Decreto legislativo 311/2006 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

resse artistico e storico" o immobili di notevole interesse pubblico". Diversi anni dopo, dovendo i Paesi dell'UE recepire le direttive a livello nazionale, sono stati pubblicati i due decreti attuati D.lgs. 192/2005<sup>38</sup> e il D.lgs. 311/2006<sup>39</sup>, finalizzati alla definizione dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e delle metodologie di calcolo per la valutazione e la certificazione delle prestazioni. Anche in questo caso vengono i beni vincolati e tutelati dal D. Lgs. N. 42/200472, andavano in deroga nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni avessero implicato un'alterazione tale da alterare aspetto e carattere degli edifici.

La Direttiva 2010/31/UE viene recepita con il Decreto legge 4 Giugno 2013, n. 63 (poi trasformato in legge 90), "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale".

Il decreto completa e approfondisce quanto emanato nelle norme precedenti, ma non risolve in alcun modo i dubbi e le problematiche legate agli edifici storici, così come farà anche l'ultimo decreto legislativo del 4 luglio 2014, n°102, che continua a mantenere lo strumento della deroga senza dare ulteriori linee di indirizzo.

Ora se consideriamo l'elevata percentuale di edifici storici tutelati presenti in Italia e l'urgenza di ridurre i consumi energetici legati all'edilizia, è evidente che la legislazione di riferimento non ci dà alcun aiuto di tipo pratico, ma genera a volte conflitti e confusioni su modalità di azione e organi preposti al controllo.

La deroga è indubbiamente uno strumento utile laddove diviene necessario realizzare un progetto ad hoc tagliato sul bene architettonico di particolare pregio, ma diviene al tempo stesso un modo per evitare di affrontare il tema energetico perché diverrebbe estremamente complesso da gestire, sia a livello di progettazione che di costi e realizzazione.

«La norma come vincolo, come costrizione, ha indubbiamente una ricaduta negativa che non può che peggiorare la fase delicata della progettazione di un intervento di recupero o di adeguamento. Si dice, e non a torto, che affidare la garanzia di qualità del progetto alla norma sia un'arma pericolosa e a doppio taglio. (...) L'importante è raggiungere il fine attraverso soluzioni che devono dimostrare capacità, sensibilità e rispetto per l'esistente nel nostro specifico caso. In questo senso ciò che si richiede al progettista è un compito

doppiamente difficile, non più quello di accettare passivamente un vincolo, e di applicarlo, quanto di fare di esso una risorsa che sproni alla ricerca di una soluzione alternativa altrettanto valida. E' un invito alla creatività piuttosto che una limitazione»<sup>40</sup>.

Tuttavia, come sottolinea Davoli, «se non vi è la convinta volontà da parte degli attori del processo programmatico e progettuale (siano essi la committenza, il progettista o la Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici) almeno di tentare la ricerca e l'elaborazione di soluzioni idonee, un "appiglio" ineccepibile per derogare all'adeguamento prestazionale su questa tipologia di costruzioni è facilmente individuabile, dal momento che il concetto di alterazione è piuttosto estensibile e fortemente legato a giudizi alquanto soggettivi, derivanti da inclinazioni e correnti culturali. Viene quindi lasciato quasi sempre all'etica o alla coscienza (o alla voglia/ necessità di veicolazione pubblica e mediatica di un atteggiamento "sostenibile") delle diverse figure coinvolte nel processo edilizio il procedere o meno con azioni di riqualificazione, sia sul sistema passivo dell'involucro, sia con l'introduzione di sistemi impiantistici di ultima generazione e sinergici con esso»<sup>41</sup>.

L'analisi della normativa per il risparmio energetico mette in luce una profonda carenza per quanto riguarda il tema della riqualificazione dell'esistente, soprattutto se appartenente ad edifici storici vincolati.

Le definizioni sono oggettivamente pensate per edifici di nuova costruzione e difficilmente applicabili al patrimonio storico, che però nel patrimonio architettonico italiano rappresenta una porzione notevole, se non la maggiore, del totale.

Inoltre le continue modifiche e integrazioni hanno portato ad un panorama legislativo frammentario e poco chiaro anche per i tecnici che sono obbligati ad utilizzarli, rendendo il compito tutt'altro che facile.

40. V. Pracchi. (2001). Cultura della sicurezza e specificità dell'intervento sull'esistente: intuizionisti versus empiristi. In *Tema* n°1, pp. 9-10.

41. P. Davoli (2010). Il restauro energetico ambientale degli edifici storici. Un percorso progettuale tra antichi saperi, costruzioni tutelate e tecnologie innovative. In *Recupero e conservazione* n° 90, p. 56.

Didascalie alle immagini.

3. Schema del Decreto 162/2015 sui requisiti minimi richiesti.

Fonte <http://www.centroedileimperiese.com/component/content/article/8-news/11-nzeb-nuove-linee-guida-2016.html?Itemid=101>

4. Schema dei riferimenti normativi che si sono susseguiti a livello nazionale e internazionale con particolare riferimento alle indicazioni date di volta in volta per gli edifici storici.

## DECRETO REQUISITI MINIMI (Nzeb)

Decreto Requisiti Minimi (Decreto 162/2015) in vigore dal 1° Ottobre 2016. Il Decreto 162/2015 impone l'efficienza energetica in edilizia in attuazione della legge 456/2001 ed in attuazione del Regolamento (UE) 2010/2012. Il decreto 162/2015 impone l'efficienza energetica per gli edifici storici in attuazione della direttiva europea edifici a energia quasi zero (NZEB) secondo i requisiti di efficienza energetica per gli edifici storici definiti dalla direttiva.



### ISOLAMENTO TERMICO DEI DIVISORI ORIZZONTALI INTI PIANO

Viene riconosciuta l'importanza dell'isolamento termico intepiano, con il contributo di istituzioni e emanati italiani.

U > 0,6  
W > 0,5

**SI APPLICA PER:**

- nuove costruzioni con adossamenti (trattamenti di isolamento) e pareti di
- ristrutturazioni importanti di 1° livello
- ristrutturazioni importanti di 2° livello
- edifici sottoposti a demolizione e ricostruzione
- ampliamenti e sopraelevazione di edifici esistenti



### DEROGA DELLE ALTEZZE MINIME DEI LOCALI

• Per installazione di impianti di riscaldamento a pavimento.  
• Per interventi di isolamento termico dell'interno (es. sottofondi isolanti).

FINO A  
10 CM

**SI APPLICA PER:**

- ristrutturazioni importanti di 1° livello
- ristrutturazioni importanti di 2° livello
- riqualificazioni energetiche



### ISOLAMENTO TERMICO DI COPERTURE, PAVIMENTI CONTRO TERRA, PARETI ESTERNE

Nuovi standard di riferimento per un maggiore isolamento termico dell'involucro edilizio, con transmittenze termiche più basse sia per edifici di nuova costruzione che per edifici in ristrutturazione.

NUOVE COSTRUZIONI	TRASMITTANZA TERMICA* (U) (W/m²K) nel 2016	
	Copertura verso l'esterno	Pareti (escluso contro terra)
U < 0,25	U < 0,18	U < 0,14
U < 0,30	U < 0,22	U < 0,18
U < 0,35	U < 0,26	U < 0,22
U < 0,40	U < 0,30	U < 0,26

0,8

RISTRUTTURAZIONE	TRASMITTANZA TERMICA* (U) (W/m²K) nel 2016	
	Copertura verso l'esterno	Pareti (escluso contro terra)
U < 0,30	U < 0,22	U < 0,18
U < 0,35	U < 0,26	U < 0,22
U < 0,40	U < 0,30	U < 0,26
U < 0,45	U < 0,34	U < 0,30

Specifiche di dettaglio (Sd) superiori che abilita il valore richiesto. V'è importante all'indietro, di lavoro ad andare a sinistra temperatura e qualità di vita del proprietario di ristrutturazione.



**NUOVE COSTRUZIONI**  
Nuova edilizia (inclusa abigeo) in attuazione del D.Lgs. 192/2005



**EDIFICI SOTTOPOSTI A DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE**



**AMPLIAMENTO DI EDIFICI ESISTENTI**  
- sia in aderenza che in sopraelevazione  
- chiusura di spazi aperti (logge, portici).  
Requisiti da rispettare solo sulle nuove porzioni di edificio.



**RISTRUTTURAZIONI IMPORTANTI DI 1° LIVELLO**  
Interessano l'involucro edilizio con Sd. Requisiti da applicarsi all'intero edificio.



**RISTRUTTURAZIONI IMPORTANTI DI 2° LIVELLO**  
Interessano l'involucro edilizio con Sd. Requisiti da applicarsi all'oggetto di intervento con estensione all'intera parte edilizia.



**RIQUALIFICAZIONI ENERGETICHE**  
Interessano l'involucro edilizio con Sd. Requisiti da applicarsi solo all'oggetto di intervento.



### DIRETTIVE INERENTI L'EFFICIENZA ENERGETICA

**2002/91 CE**

Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia

**ABROGATA**

**2006/32 CE**

Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 6 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/78/CEE del Consiglio

**2009/28 CE**

Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili

**2010/31 UE**

Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia

**2012/27 UE**

Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012, sull'efficienza energetica

**DEROGA AGLI STATI MEMBRI PER IL RAGGIUNGIMENTO DEI REQUISITI MINIMI IN CASO DI EDILIZIA STORICA VINCOLATA**



### RECEPIMENTI DELLE DIRETTIVE EUROPEE E NORMATIVA NAZIONALE IN MATERIA DI EFFICIENZA ENERGETICA

**Legge 9 gennaio 1991, n. 10**

Atto di attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia

**D. Lgs 19 agosto 2005, n. 192**

Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia

**D. Lgs 31/12/2016**

Disposizione correttiva ed integrativa al decreto legislativo 15 agosto 2005, n. 192, attinente all'attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia

**D. Lgs 30 maggio 2008, n. 115**

Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/78/CEE

**D. M. 26/05/2009**

Ministero dello Sviluppo Economico  
Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici (G.U. 10/06/2009 n. 156 - in vigore dal 20/7/2009)

**D. Lgs 3 marzo 2011, n. 28**

Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili

**Legge 3 agosto del 2013, n. 90**

Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale

**D. Lgs 4 luglio 2014, n. 102**

Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE

**D. M. 26/06/2015**

Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici



### EDILIZIA STORICA NON VINCOLATA E VINCOLATA

Non viene richiesto il raggiungimento di un valore minimo fissato, ma vengono dato solo indicazioni generali.

Sono esclusi gli interventi vincolati dalla Legge del 1 giugno 1939, n. 1089.

Art. 3 e 4

L'adempimento dei requisiti non è previsto in caso di presenza di vincoli di tutela del patrimonio culturale e di interesse storico-artistico.

Art. 3

Sono esclusi gli interventi concernenti il restauro, la manutenzione ordinaria e straordinaria della parte tecnica dell'edificio.

Art. 11

In caso di riqualificazione energetica di edifici esistenti senza la demolizione integrale degli edifici e del resto stradale.

Art. 4

Metodologie per la determinazione della prestazione energetica degli edifici. Per gli edifici esistenti sono previste semplificazioni nel calcolo tramite l'uso di abachi e tabelle.

Art. 11 e 13

Obbligo di A.p.e. e integrazione di fonti rinnovabili in caso di ristrutturazione.

Art. 11 e 13

Esclusi gli edifici di cui alla Parte seconda e all'art. 136, c. 1, lett. d) Lgs. 42/2004.

Art. 3 e 4

Adozione dei requisiti minimi per ristrutturazioni importanti e riqualificazioni energetiche tenendo conto di ciclo di vita dell'edificio, fasce climatiche e parametri energetici.

Art. 3 c. 3-bis

Prevista A.p.e. e manutenzione impianti salvo esclusioni autorizzate ai sensi dell'art. 136, c. 1, lett. b) e c), del D.Lgs. 42/2004.

Art. 6

Ammissa deroga dei requisiti minimi per salvaguardare l'immobile in quanto ufficialmente protetto in virtù dell'appartenenza a determinate aree ovvero del suo particolare valore architettonico o storico.

Art. 4

Metodologie per la determinazione della prestazione energetica degli edifici. Per gli edifici esistenti sono previste semplificazioni nel calcolo tramite l'uso di abachi e tabelle.



## CARTA D'IDENTITÀ TECNOLOGICA DELL'EDIFICIO PRE – INDUSTRIALE

### ABSTRACT

Gli orientamenti contemporanei per limitare lo sfruttamento delle fonti non rinnovabili e, soprattutto, ridurre la richiesta energetica generale, si esprimono sempre più attraverso la riappropriazione delle modalità operative della "tradizione": ciò avviene attraverso la lettura analitica e la valutazione critica delle tecniche adottate nell'edilizia storica per assicurare un microclima indoor confortevole, in modo da interpretare, in termini contemporanei e innovativi, le potenzialità originarie per il benessere dell'abitare.

Partendo da una lettura dell'organismo architettonico dal punto di vista tecnico-costruttivo, in riferimento alla tipologia, si costruisce il quadro conoscitivo di base per l'identificazione dell'edificio pre-industriale, oggetto dell'intervento, finalizzato alla comprensione dell'essenza formativa, dei principi che lo governano e del rapporto che si instaura tra le diverse componenti e con l'ambiente esterno. L'obiettivo è, quindi, la sistematizzazione, dei sistemi e componenti dell'edilizia pre-industriale, attraverso lo studio dei materiali e delle tecniche costruttive, individuate nel contesto italiano come "tipiche e ricorrenti", al fine di costruire una "Carta d'identità tecnologica dell'edificio", che individui i dati conoscitivi fondamentali per il progetto di efficientamento energetico (caratteri tipomorfologici; aspetti tecnico costruttivi e materici; comportamenti bioclimatici).

La schedatura dei sistemi costruttivi ha permesso di avere una mappatura di riferimento finalizzata alla sistematizzazione di dati in risposta alle criticità e potenzialità poste alla base del progetto.

La lettura degli archetipi bioclimatici ha, infine, lo scopo di documentare come una progettazione consapevole passi anche attraverso o sfruttamento delle potenzialità del sito e l'attualizzazione di dispositivi, apparentemente obsoleti (come operato da Jean Nouvel rivisitando in chiave contemporanea il sistema di schermatura solare tradizionale Mashrabiya arabo), pur mantenendone inalterate le caratteristiche tecniche e la funzione originaria.



## 2.1 Caratteri tipomorfologici dell'edificio storico pre – industriale

Il riconoscimento del valore testimoniale di un edificio storico è parte integrante di un processo di progettazione sostenibile finalizzato alla salvaguardia e alla valorizzazione del patrimonio culturale attraverso l'identificazione di caratteri specifici che definiscano

- edificio storico
- morfologie e tipologie
- sistemi costruttivi e materiali

Il principio dell'identificazione attraverso lo strumento della "Carta di identità" deriva dalla riflessione sugli attuali strumenti di identificazione del patrimonio storico-culturale diffusi a livello internazionale, che hanno avuto una genesi di matrice italiana ed uno sviluppo internazionale. Sulla base del sistema di schedatura di livello descrittivo (ICCD, ripreso anche dall'UNESCO), attraverso la successiva articolazione dei sistemi di rilevamento operativi per la definizione delle azioni di salvaguardia e protezione del patrimonio, è possibile comprendere il livello descrittivo-operativo del sistema di identificazione utilizzato dal Green Building Council che per il Protocollo Historic Building ha messo a punto un sistema integrato di lettura per la definizione degli interventi sugli edifici storici.

D'altro canto il confronto fra il tipo edilizio astratto e il singolo edificio contribuisce a far emergere differenze e modificazioni in direzioni secondarie rispetto alle principali (Scalora e Monti 2010). Invero, se l'osservazione diretta del costruito si richiude esclusivamente sul singolo oggetto edilizio astratto, seppure statisticamente rappresentativo di una popolazione di edifici, essa non potrà cogliere pienamente la strutturazione storico-processuale di un tessuto, le "deformazioni" rispetto ad una forma elementare o originaria, la gamma di significati che ciascun edificio stabilisce con gli altri, ovvero, in definitiva, la specificità di un paesaggio storico urbano.

La lettura degli edifici è finalizzata a definire l'organismo architettonico dal punto di vista tecnico-costruttivo in riferimento ad un Tipo specifico. Conoscere l'essenza formativa di un edificio, i principi che lo governano e il rapporto che si instaura tra i vari componenti è fondamentale per comprendere il comportamento del sistema.

42. Cfr. ICCD\_Sistema Informativo Generale del Catalogo\_SIGECweb, Scheda A-Architettura, aggiornamenti 2014-15, <http://www.catalogo.beniculturali.it/>.

La scheda analizza la definizione tipologica del bene, le relazioni con altri beni culturali e paesaggistici, il tessuto ed il contesto di riferimento (anche attraverso la georeferenziazione), gli interventi stratificati sulle diverse componenti tecnico costruttive che costituiscono il sistema edificio. La scheda elaborata è stata acquisita e trasferita come sistema di identificazione nei Piani di Gestione dei siti UNESCO, <http://www.catalogo.beniculturali.it/>.

43. Si fa riferimento ai "Modelli di rilevamento dei danni al patrimonio culturale", a seguito di eventi calamitosi, approvati con DPCM 23.2.2006 e alla "Scheda sinottica dell'intervento" elaborata sulla base della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9 febbraio 2011 recante la "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008".

44. GBC, Historic Building, 2016, protocollo di certificazione

volontaria del livello di sostenibilità degli interventi di conservazione, riqualificazione, recupero e integrazione di edifici storici con diverse destinazioni d'uso. <http://www.gbciitalia.org/>

La compilazione della Carta d'Identità dell'Edificio Storico è necessaria a dimostrare il valore storico dell'edificio (realizzazione antecedente al 1945 o successiva solo se con l'applicazione di un processo edilizio pre-industriale; sussistenza di valori storici, testimoniali o culturali riconosciuti e dimostrati) per una porzione pari ad almeno il 50% degli elementi tecnici esistenti. È, quindi, necessario dare evidenza degli elementi tecnico-costruttivi da un punto di vista qualitativo-quantitativo di tutte le parti storiche dell'edificio candidato alla certificazione e il superamento della suddetta soglia minima.

45. "Il riconoscimento dei tipi edilizi" in Guida al riconoscimento dei tipi edilizi del Comune di Lucoli. Attività di supporto ai Responsabili Unici del Procedimento per la Redazione dei Piani di Ricostruzione. Ex art. 14, com. 5, Legge 72/2009.

46. "Le parole tipo e tipologia ricorrono di frequente, in maniera quasi inevitabile, in ogni discorso sull'architettura (...). Infatti la questione tipologia nasce ogni qualvolta (oggi come ieri) ci si ponga di fronte ad un problema di architettura, e (oggi come ieri) per una nuova generazione di progettisti dare contenuti moderni al concetto di tipo equivale a definire una parte importante degli

Progettare nelle città di oggi ci porta continuamente a confrontare i valori attuali con quelli desunti dalla storia. La capacità di leggere e interpretare un luogo, i suoi caratteri tipologici e morfologici è fondamentale per prendere coscienza del patrimonio costruito con cui dobbiamo costantemente relazionarci.

Come ci dimostra la storia dell'architettura, gli edifici sono destinati a sopravvivere a più generazioni e quindi ad attraversare epoche diverse, a cui fanno riferimento culture diverse e società con bisogni in continua evoluzione. Da qui la necessità di una progettazione che consideri gli edifici storici non solo come un monumento da tramandare al futuro, ma che ne conservi le capacità funzionali e sia in grado di riadattarle alle necessità contemporanee senza alterarne l'essenza che li rende tali.

Progettare con l'esistente vuol dire quindi immaginare "nuove vite" per gli edifici, il che è possibile solo dopo un'accurata indagine indirizzata al riconoscimento dell'identità e dei caratteri tipologici, al fine di ipotizzare modificazioni future sulla base delle reali condizioni di utilizzo. Senza dimenticare che l'architettura è spesso vista come il fine ultimo del processo di antropizzazione e quindi una corretta analisi e conoscenza passa anche attraverso la conoscenza della cultura e delle tradizioni edilizie del luogo di origine.

L'approccio di matrice morfo-tipologica alla base dell'analisi degli edifici storici individua il processo di definizione del tipo edilizio all'interno delle relazioni costruttive tra i manufatti territoriali. La dimensione materiale e costruttiva rappresenta l'elemento più immediatamente recepibile e ci porta a riconoscere i legami tra le varie architetture.

Potremmo quindi dire che "l'operazione di riduzione della molteplicità degli esempi storici alla schema morfologico comune è il processo attraverso il quale si definiscono i tipi: questi sono la risposta ad esigenze ideologiche, pratiche e costruttive ricorrenti in una determinata società in un preciso momento storico e culturale, risolte sotto l'aspetto di requisiti essenziali, compendiate in uno schema formale; (...). La tipologia è dunque un metodo di classificazione dei fatti architettonici per analogie formali ed i tipi sono desumibili solo attraverso il rapporto con le opere del passato e la storia dell'architettura; per questo non possono essere progettati ex novo." (Gazzola, 1990).

Molteplici sono gli esempi che potrebbero essere citati di organismi edilizi la cui derivazione è dovuta ad uno sviluppo di tipi di epoche precedenti. Esemplificativo è il progetto della Rotonda degli Angeli

di Brunelleschi (1434), chiara interpretazione in chiave innovativa del tipo centrico. La stessa gerarchia degli spazi è infatti riscontrabile in opere realizzate in epoche e contesti culturali differenti; si pensi alla sala ottagonale della Domus Aurea (seconda metà del I sec.), o il Palazzo del Parlamento di Dacca di Luis Kahn (1962-75).

Il riconoscimento dei tipi edilizi costituisce un passaggio significativo nell'analisi degli edifici storici, soprattutto se ci dobbiamo confrontare con un intero aggregato; ci guida nella comprensione del comportamento di insieme del tessuto urbano e delle principali relazioni costitutive.

Rintracciare le principali modalità evolutive del costruito, a partire dall'individuazione dei tipi di base, è fondamentale per comprendere le variazioni tipologiche più frequenti, i livelli di permanenza e quelli di cambiamento. Per svolgere questa operazione è utile conoscere i criteri alla base dei processi formativi delle comunità che nei secoli si sono alternate nel luogo oggetto di studi, in quanto ognuna si sarà fatta portatrice della propria cultura abitativa e delle proprie tradizioni costruttive. D'altro canto il confronto fra il tipo edilizio astratto e il singolo edificio contribuisce a far emergere differenze e modificazioni in direzioni secondarie rispetto alle principali (Scalora e Monti, 2010).

Ma non è solo una questione di connessioni tra le singole celle murarie o l'individuazione della cronologia delle unità edilizie a fornirci informazioni per il riconoscimento del tipo<sup>47</sup> edilizio di riferimento. Ogni epoca ha fatto proprie e modificato impianti architettonici significativi, che avevano dimostrato la loro efficacia. Da ciò ne deriva che la casa a schiera di stampo Rinascimentale avrà delle connotazioni differenti rispetto a quella Neoclassica ed è possibile collocarle temporalmente sulla base dell'utilizzo di espedienti comuni, come per esempio il posizionamento in pianta delle scale. Allo stesso modo la caratterizzazione dei fronti, la scelta di determinate finiture o la forma dei serramenti, l'epoca e i riferimenti colti da cui l'architetto si è lasciato ispirare.

L'aspetto fondamentale che non va trascurato è ovviamente la contaminazione derivata dallo stratificarsi di interventi afferenti ad epoche differenti, che rendono a volte difficile una lettura chiara ed univoca. In questo caso, se la letteratura non è un sufficiente supporto, si può spostare l'analisi al livello del comparto urbano, studiarne l'evoluzione e capire se o in che percentuale abbia influito sullo sviluppo dell'organismo oggetto di studi

o,

obiettivi culturali e pratici a cui tendere." L. Gazzola. (1990).

*Architettura e tipologia*. Roma: Offina Edizioni.

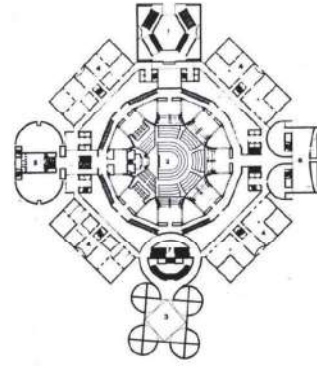
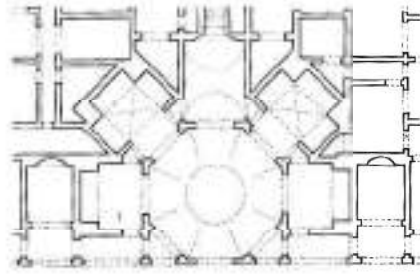
47. "TIPO (Type) – viene dal greco *typos* che esprime, in generale e quindi applicabile a molte gradazioni o varietà della medesima idea, modello, matrice, impronta, forma, figura in rilievo o a basso-rilievo"; Quatremère De Quincy, A.C., voce *Type*, *Encyclopédie Méthodique-Architecture*, Paris 1788, 3vol. (trad. it. A. Mainardi, Mantova 1844). La parola *tipo* non presenta tanto un'immagine da copiarsi o da imitarsi perfettamente, quanto l'idea di un elemento che deve egli stesso servire di regola al modello. Nulla viene dal nulla ed è stato così anche per l'architettura.

Didascalie alle immagini.

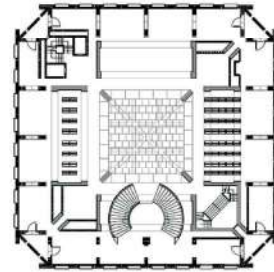
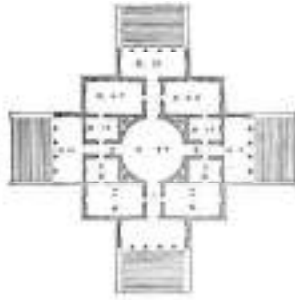
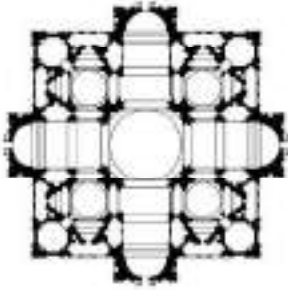
5. Rotonda degli Angeli, 1434; Domus Aurea, I sec.; Palazzo del Parlamento, 1962-75

5. Confronto di quattro progetti. L'impianto spazio-strutturale rimane costante nelle varie epoche, ma assume configurazioni differenti. A partire da sinistra: progetto per la Basilica di San Pietro, Bramante, 1506; Villa La Rotonda, Palladio, 1566-91; House Norrköping, Sverre Fehn 1963 – 64; Biblioteca Exeter, L.I. Kahn, 1965 – 72.

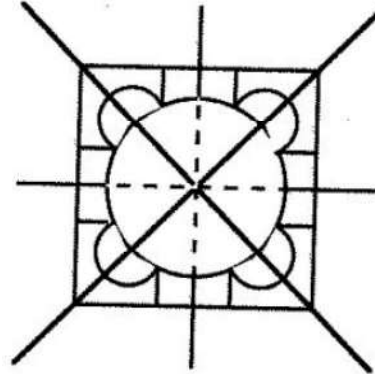
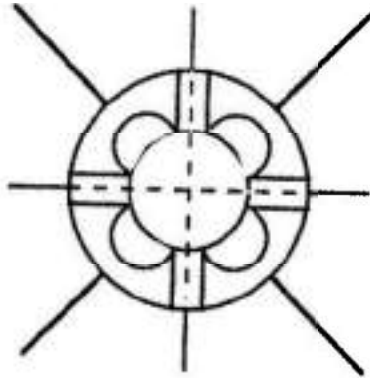
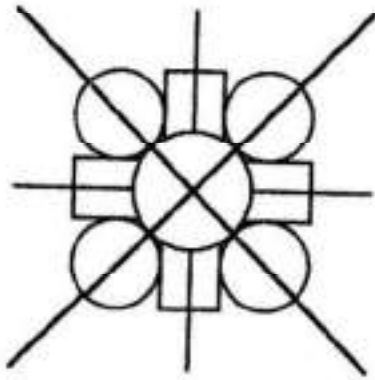
5. Derivazione dell'impianto geometrico di Villa Capra. Antecedenti romani a impianto polare di organismi termali, mausolei, edicole (Giuseppe Strappa)



5.



6.



7.

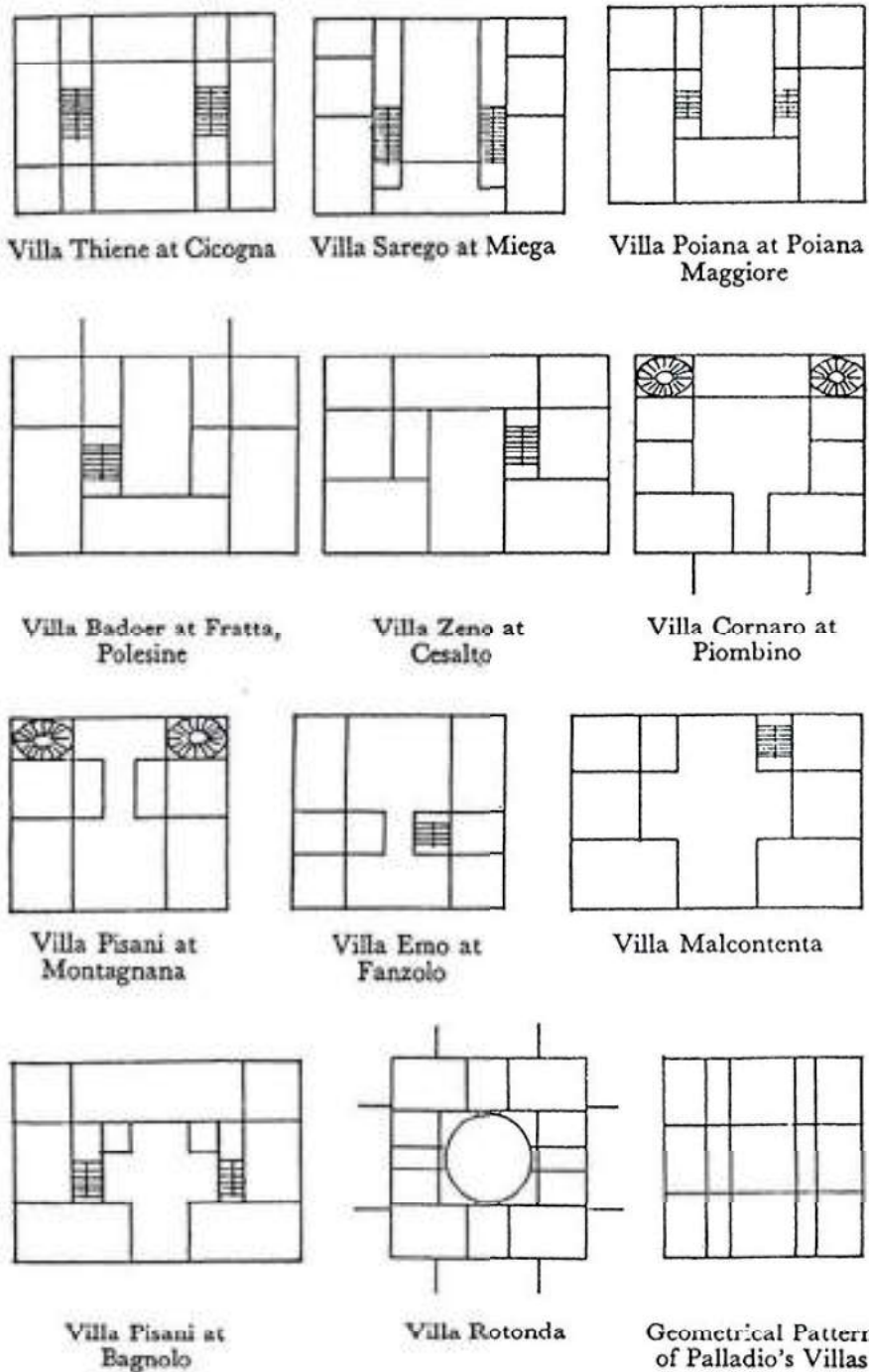


FIGURE 7. Rudolph Wittkower, Palladian Villa Types, in *Architectural Principles in the Age of Humanism* (London, 1952).

Diagrams of Diagrams: Architectural Abstraction and Modern Representation

48. G. Devoto, G. Oli. (1995). *Dizionario della lingua italiana*. Le Monnier, Bologna.
49. Trombetta, C. (2002). *L'attualità del pensiero di Hassan Fathy nella cultura tecnologica contemporanea. Il luogo, l'ambiente e la qualità dell'architettura*. Rubettino

Il rapporto fra morfologia urbana e tipologia può diventare una chiave di lettura del contesto, sia in contesto urbano consolidato o di espansione ovvero in ambito archeologico. Tale riflessione connessa alla ricerca sulla tecnica costruttiva e sui materiali tradizionali può far emergere aspetti interessanti nel progetto di valorizzazione e riqualificazione degli edifici storici.

"Durante il processo di ideazione il rapporto con il passato non si esaurisce per l'architetto nell'assunzione di un tipo: questo è solo un primo momento progettuale in cui si confrontano valori attuali e desunti dalla storia, testimoniati da uno schema formale ottenuto da una selezione critica operata sulle opere precedenti che trasmettono anche valenze culturali e simboliche. Queste possono assumere una tale importanza da divenire componenti principali dell'intero progetto (...)" (Gazzola 1990)

#### TIPOLOGIE EDILIZIE

L'analisi delle tipologie edilizie di un aggregato urbano è il risultato di un attento studio di quelle che sono le peculiarità e i caratteri che si ripetono definendo gli edifici all'interno di categorie ben precise. Quindi a fronte della grande varietà di immobili che possiamo riscontrare nel panorama italiano, quando ci si appresta ad intervenire all'interno di un centro storico, anche su un singolo edificio, è opportuno mettere a sistema gli elementi in comune tra i vari edifici per capire anche lo sviluppo e l'evoluzione del sistema edificato.

A partire dalle teorizzazioni di Caniggia e Maffei, pertinenti per lo studio delle tipologie base, il sistema edificato può essere considerato sulla base di matrici elementari serializzate, a configurazione per accrescimento, tipizzate per una specifica funzione, riconoscibili per il carattere di ripetitività nella forma, nel sistema costruttivo, nei materiali, nelle funzioni<sup>48</sup>. La composizione per sistemi edificati (tipi) è, quindi, scomponibile per sottosistemi aggregati di elementi (sulla base della lettura tecnologica del sistema edilizio) che permetta, infine, la definizione dell'abaco dei sistemi costruttivi, strettamente interrelato alle morfologie e alle tipologie funzionali<sup>49</sup>.

#### Fasi dell'analisi tipologica.

Individuazione delle tipologie edilizie prevalenti nel tessuto

Identificazione delle classi tipologiche analisi dei seguenti caratteri

- modalità di edificazione del lotto;
- rapporti tra edificato, aree scoperte e percorsi;

Didascalie alle immagini.

8. Rudolph Wittkower, Schemi delle Ville Palladiane. In *Architectural Principles in the Age of Humanism*, London 1952.

9. Esempi di tessuti edilizi. Fonte PRG della città di Roma, Allegato G2, Guida alla qualità degli interventi

Tessuti medievali e successive modificazioni condizionati da preesistenti tessuti seriali di epoca romana



Tessuti rinascimentali e moderni pre-unitari ad espansione



Tessuti rinascimentali e moderni pre-unitari ad espansione



Tessuti otto-novecenteschi ad isolato di espansione



- modalità di aggregazione e distribuzione degli spazi interni, dedotte attraverso la lettura dei prospetti architettonici;
  - modalità di aggregazione in tessuti edilizi del sistema edificio-area di pertinenza con quelli adiacenti.
- lettura sincronica e diacronica del sistema
- per epoca di costruzione (ante 1940, post 1940)
  - per funzione dei vani o dell'aggregato

Vengono di seguito descritte alcune delle tipologie edilizie riscontrabili più di frequente.

La *casa terranea* si definisce tale se costituita da un unico ambiente e da un unico piano fuori terra in cui si svolge per intero la vita familiare. Essa è quello che Caniggia definisce il "tipo base", perché rappresenta il modulo elementare del tessuto edilizio. Il fronte presenta una porta d'ingresso di limitate dimensioni ed una piccola finestra laterale, che costituiscono l'unica fonte aero-illuminante (Scalora - Monti 2010). La casa terranea è caratterizzata inoltre da un'impaginazione unitaria della facciata, da un'omogeneità dell'apparato decorativo e della lavorazione superficiale del materiale lapideo di cantonali, mostre e portali. All'interno di questo tipo si può operare un'ulteriore classificazione in funzione della larghezza del fronte.

La *casa a schiera* si presenta come un'evoluzione della casa terranea, ed è caratterizzata da due elevazioni fuori terra, in cui il piano superiore costituisce l'abitazione propriamente detta. La scala è generalmente contenuta all'interno di una casa "a magazzino" con tramezzo di separazione, e più raramente all'interno di una casa terranea. Caratteri invarianti sono la comunanza dei muri laterali con le adiacenti case a schiera, la presenza di aree di pertinenza o di corti dal lato opposto al fronte, il doppio affaccio contrapposto su strada e corte e l'appartenenza del fronte al margine del percorso, l'elevazione su due livelli. La porta di casa può essere archivoltata, e il piano superiore è segnato da una finestra e da un balcone in asse alla porta sottostante. In taluni casi vi è anche un'altra apertura più piccola in corrispondenza del vano scala. Al primo piano il balcone può non essere in asse con la porta centrale sottostante, perché tende a porsi al centro del vano utile. La collocazione delle aperture, in genere, può essere determinata da ragioni distributive e di carattere formale, quando sono in asse alle aperture degli altri piani, o ancora da ragioni dovute alla specifica collocazione della casa nel tessuto urbano per la ricerca di migliore soleggiamento o più favorevoli vi-

suali. In profondità presenta due cellule. Al primo piano queste si distinguono in "zona giorno" (frontale) e "zona notte" (retrostante)<sup>50</sup>. Ogni campata ha dimensioni che variano dai 4 ai 6 metri (Caniggia e Maffei 1979). All'interno di questo tipo si può operare un'ulteriore classificazione in funzione della larghezza del fronte e della distribuzione delle aperture.

La *pseudoschiera* si distingue dalla schiera unicamente per la presenza di un solo affaccio stretto. Infatti in caso di accrescimento del borgo l'area di pertinenza veniva occupata con una nuova edificazione, solitamente un'altra pseudoschiera affacciata sulla strada retrostante. Per la pseudoschiera è possibile operare tutte le subclassificazioni della schiera e della schiera matura.

Talvolta queste tipologie edilizie possono presentare una scala esterna parallela al fronte principale (profferlo nella zona dell'aquilano o afio nell'avellinese). È caratterizzata da una scala a una sola rampa che corre lungo la facciata dell'edificio e che permette l'accesso al piano primo dell'unità edilizia. In cima alla scala in genere vi è una piccola loggia che precede la porta d'ingresso dell'abitazione. Anche all'interno di questo tipo si può operare un'ulteriore classificazione in funzione della larghezza del fronte.

La casa a schiera con sviluppo ortogonale al pendio presenta un sistema di sfalsamento delle quote di accesso ai vani dell'abitazione dovuto alla particolare conformazione altimetrica dell'unità edilizia, posta ortogonalmente ad un pendio o un declivio. La casa si articola su due o più piani, e presenta due ingressi posti rispettivamente a due quote differenti uno a valle e uno a monte, condizione questa, imposta da ragioni orografiche. Non è da trascurare, nei fattori che hanno determinato la morfologia dell'abitazione, la crescente necessità di specializzare le diverse parti in relazione alle nuove esigenze, così da creare degli organismi più complessi tramite un raddoppio o triplicazione orizzontale e/o verticale delle cellule di partenza. Non si hanno case a pseudoschiera ortogonali al pendio proprio perché la pseudoschiera ha solo un fronte che si affaccia su strada.

La casa a schiera matura si presenta come un'evoluzione della casa a schiera. Essa è caratterizzata principalmente da tre, talvolta quattro, elevazioni fuori terra, con eventuale piano cantinato, e da due cellule con muri di spina in comune con i fabbricati adiacenti. L'area di pertinenza si estende all'interno dell'isolato, mantenendo comunque le caratteristiche del tipo di abitazione da cui deriva.

La *casa in linea*, distribuita generalmente su più piani, è il risulta-

50. "Il riconoscimento dei tipi edilizi" in Guida al riconoscimento dei tipi edilizi del Comune di Lucoli. Attività di supporto ai Responsabili Unici del Procedimento per la Redazione dei Piani di Ricostruzione. Ex art. 14, com. 5, Legge 72/2009. Dipartimento di Architettura e Progetto della Sapienza, Università di Roma. Responsabile scientifico Lucina Caravaggi.



Aggregati in linea a blocco chiuso. Allegato G del PRG della città di Roma. Tavola 9a. Abaco storico formativo dei tipi edilizi pre-unitari

- Didascalie alle immagini.
10. Jean-Nicolas-Louis Durand. Recueil et parallèle des édifices de tous genres, anciens et modernes. 1799. Esempi di edifici.
  11. Evoluzione della casa a schiera. Allegato G del PRG della città di Roma. Tavola 9a. Abaco storico formativo dei tipi edilizi pre-unitari.

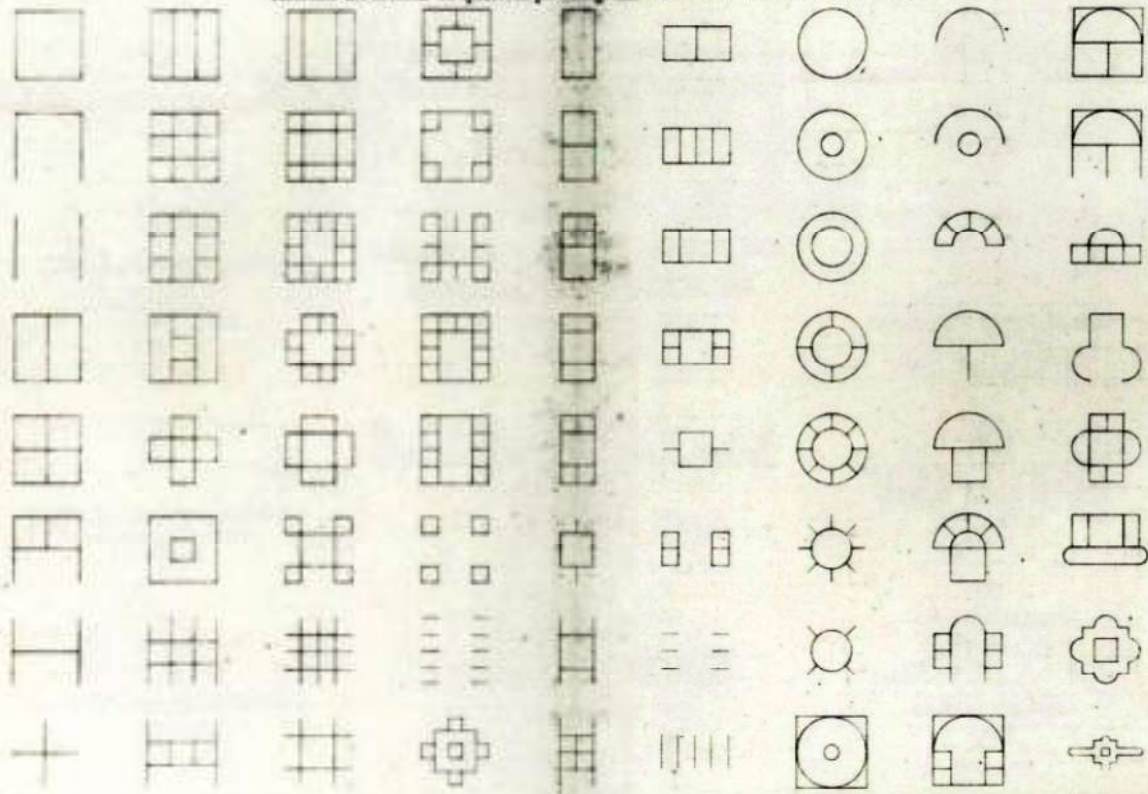
to dell'accorpamento di più unità elementari. Presenta di solito un unico ingresso ed un solo corpo scala che serve le diverse unità immobiliari distribuite ai vari piani. Il corpo di fabbrica ha usualmente dimensioni costanti lungo l'asse trasversale e può crescere lungo l'asse longitudinale. I prospetti, nella maggior parte dei casi, sono modulati ritmicamente. All'interno di questo tipo si può operare un'ulteriore classificazione in funzione della posizione dell'accesso. Il *palazzo* assume un ruolo urbano assolvendo una funzione rappresentativa al pari di chiese o altri edifici pubblici. Il corpo di fabbrica, generalmente organizzato su quattro lati ( da verificare con i casi reali), con uno o più cortili interni, ha un'articolazione lineare della sequenza portone - androne - scala principale-cortile porticato. Presenta una veste architettonica fortemente ed unitariamente caratterizzata e facilmente riconoscibile, prodotto generalmente dall'accorpamento di più lotti (Scalora e Monti 2010)

Il *palazzetto* è un riproduzione in scala minore del modello tipologico del palazzo, occupa generalmente un solo lotto o frazioni di esso, presenta unità indipendenti al piano terra ed alloggi ai piani superiori. Il basamento e l'apertura del piano terra sono uniformate con il portale d'ingresso, posto sia in asse alla facciata o su un fianco. La *villa* (urbana ed extraurbana) è un edificio caratterizzato da un unico elemento di comunicazione verticale che distribuisce uno o più alloggi. Questi tipi edilizi presentano generalmente uno spazio verde di pertinenza che può variare da caso a caso, a seconda dell'importanza della famiglia e dell'evoluzione del lotto nel tempo. Molte ville extraurbane si trovano oggi ad essere ville urbane in città come Roma a causa della forte espansione che la città ha avuto nei secoli che ha portato a trasformare parti di campagna in città. In questi casi lo studio del rapporto con il contesto è fondamentale perché l'edificio nasce in un luogo completamente diverso da quello in cui si trova e alcune delle sue caratteristiche costruttive legate al comportamento passivo potrebbero risultare non più sfruttabili.

EXERCICES D'ESSAIS.

Planche

résultats des dessins du carré, du parallélogramme, et de leurs combinaisons avec le cercle



Dessiné par G. Moreau

10.



11.

Cornac di Roma - Il Nuovo Piano Regolare - Edizione G2 - Guida per la qualità degli interventi - Allegato A2, a



## 2.2 Caratteri tecnici, costruttivi e materici dell'edificio storico pre – industriale

"In effetti ci occupiamo, in questi capitoli, di architettura storica e la lettura degli antichi trattati ha un inconfondibile sapore storico, connesso alla comprensione delle costruzioni a cui essi fanno riferimento. Tuttavia noi vogliamo metterci in condizione di acquisire una conoscenza operativa, ci si permetta di giudicare le possibilità di riabilitazione delle architetture che ancora caratterizzano le nostre città, e ci guidi negli interventi di cui esse abbisognano per mantenere o riprendere la loro funzione. Ai trattatisti di un tempo quindi chiediamo notizie utili al nostro lavoro di oggi, notizie che naturalmente filtreremo attraverso la nostra cultura. In particolare si vuole qui mettere l'accento sull'importanza di documentazione sperimentale che essi rivestono, per avere formulato le loro teorie sulla base di osservazione attente ed estese."

Così si esprimeva Antonino Giuffrè sottolineando come il primo dovere di chi opera nella conservazione è quello di conoscere al meglio i caratteri tecnici e materici dell'edificio storico in modo tale da sapere come operare di fronte alla "fragilità" del passato. Il patrimonio con cui dobbiamo confrontarci non infatti solo un'eredità di chi ci ha preceduto ma anche un prestito a chi verrà dopo di noi.

Nel corso dei secoli l'uomo ha sempre cercato di sistematizzare le proprie conoscenze relative alle tecniche del costruire.

La conoscenza delle caratteristiche materiali e delle consuetudini costruttive proprie dell'edilizia storica si può derivare dalla lettura delle indicazioni della trattatistica premoderna. A partire dal 1400 fino ad arrivare agli inizi del XX secolo, ampio è il repertorio bibliografico dei trattati di costruzioni redatti da noti architetti o storici del settore. In realtà le primissime indicazioni sulle buone pratiche architettoniche ci arrivano da epoche più remote, ma sarà solo con l'Umanesimo che si assisterà ad una progressiva riscoperta dei testi classici latini e greci, non solo come strumenti in grado di dare indicazioni di supporto al progettista, ma come utili mezzi di divulgazione e messa a sistema di un vero e proprio codice edilizio. Considerata la varietà di informazioni che contenevano al loro interno, che spaziavano contemporaneamente su più fronti discipli-

51. La prima traduzione italiana illustrata del *De Architectura* la dobbiamo a Giovanni Antonio Rusconi.

52. Breymann, G. A. (1926). *Trattato generale di costruzioni civili: con cenni speciali intorno alle costruzioni grandiose. Vol. I., Costruzioni in pietra e strutture murali / del prof. Otto Warth; tradotta sulla quinta originale con note dell'ing. Gustavo Giovanni Milano: F. Vallardi, (Stab. Riuniti D'arti Graf.)*

nari, potrebbero essere considerati come i precursori tanto dei moderni manuali quanto delle continuamente aggiornate linee guida, in quanto alle indicazioni di carattere compositivo facevano spesso seguito delle vere e proprie prescrizioni tecniche.

A partire dalla trascrizione illustrata dell'opera vitruviana<sup>51</sup>, più volte trascritta e attualizzata nei secoli, la cui "riscoperta" si deve agli umanisti, fino ad arrivare all'edizione italiana di Gustavo Adolfo Breymann<sup>52</sup>, vasta è la produzione della trattatistica italiana ed europea.

Secondo Vitruvio l'architettura si compone di sei parti:

- *Ordnatio*: giusta proporzione e misura dei singoli membri architettonici rispetto a un modulo o unità di misura;
- *Dispositio*: corretta messa in opera di ciascun elemento;
- *Eurythmia*: cura la bellezza della figura e le dimensioni e proporzioni dei singoli elementi;
- *Symmetria*: "collegamento armonico dei singoli membri dell'edificio"; corrispondenza proporzionale fra una parte e il tutto di un'opera, misurata a moduli o frazioni di modulo;
- *Decor*: "bell'aspetto" di un'opera, composta da elementi e forme le cui misure e proporzioni sono determinate con gusto, sapienza, consonanza e uniformità
- *Distributio*: uso sapiente di materiali e superfici: "oculata parsimonia di spesa nel costruire".

Ogni costruzione deve avere tre requisiti: *Firmitas* (solidità), *Utilitas* (funzionalità) e *Venustas* (bellezza).

Per tutti i principali sistemi di costruzione di murature impiegate al suo tempo, Vitruvio fa riferimento al **materiale componente**; ovvero a blocchi di pietra quadrata. In particolare, con il termine *saxa quadrata*, Vitruvio intende ogni pietra che può essere tagliata e con cui si potevano ottenere murature a corsi regolari di grossi blocchi squadrate. Tale tecnica prende il nome di *opus quadratum*, intendendo sia una muratura interamente in pietra squadrate, sia una muratura in cui la pietra squadrate è solo il rivestimento esterno di un nucleo cementizio

L'altro **metodo costruttivo** prevede l'impiego di *caementum*, ossia un materiale ottenuto mescolando frammenti di pietra, di varia grandezza, insieme alla malta di calce e sabbia, in modo da ottenere un materiale artificiale compatto e solido. Vitruvio indica due principali tipi di rivestimento: l'*opus incertum* e l'*opus reticulatum*.

In alternativa a questo sistema di costruzione romano, Vitruvio cita il metodo di costruire murature usato dai Greci<sup>53</sup> in pietra da taglio, con elementi lapidei passanti disposti ad intervalli regolari, i cosiddetti diatoni, i quali svolgono la funzione di legare e consolidare l'opera muraria.

All'esterno, tale muratura può presentarsi in due modi:

- *isodoma* (opus isodomum), cioè a corsi regolari tutti della stessa altezza
- *pseudo-isodoma* (opus pseudo-isodomum), cioè a corsi regolari, ma di altezze diverse tra loro

Nel Quattrocento la classificazione vitruviana viene ripresa, ed in parte semplificata, da Leon Battista Alberti. Il *De Re Aedificatoria* (1485) rappresenta un compendio di architettura destinato a lasciare un forte segno nel panorama della trattatistica italiana. Pur riprendendo da Vitruvio la divisione in dieci libri e la maggior parte dei temi trattati, Alberti non fornisce dei precetti assoluti, ma indaga più che altro i fenomeni che hanno generato l'architettura antica, di cui riconosce l'autorità, ma al tempo stesso considera superabile. Alberti individua solamente tre tipi fondamentali di murature in uso presso gli antichi.

- *Muratura ordinaria*, di pietre quadrate
- *Struttura reticolata*, in pietre quadrate di dimensioni medio-piccole, disposte sopra uno spigolo, e con la fronte piana e verticale
- *Struttura incerta*

L'utilizzo di una delle tre tecniche è legato, secondo Alberti, alla funzione della muratura stessa, quindi a seconda che si operi nella parte bassa (zoccolo), nella parte mediana che circonda l'intera parete (legamento), oppure nella parte alta, che cinge la zona superiore del muro (cornice). Tra le parti che meritano più attenzione nella realizzazione di un apparecchio murario, vi sono gli ammorsamenti degli angoli, i pilastri, le colonne e tutti gli elementi che, sorreggendo travature e archi della copertura, fungono da ossatura.

L'innovazione importante che porta Alberti nel suo trattato è l'importanza che viene data al processo progettuale e ai modelli in scala come fase di sperimentazione a priori per evitare errori in corso d'opera e per comprendere più a fondo la natura del progetto. Un approccio del tutto differente da quello dei suoi predecessori che vedevano nella sperimentazione sul campo il momento di speri-

53. Sia la tecnica romana del caementum, sia quella greca, garantendo la buona connessione delle varie componenti del muro, permettono di avere strutture solide e durature. Una tecnica più povera e meno efficace è quella in uso nelle campagne italiane, con murature curate solo nella parte esterna, mentre per il resto si usa materiale grezzo, tenuto insieme dalla malta (definito dal termine "emplecton"). Le murature in laterizio, invece, possono essere composte da mattoni semplicemente seccati al sole (later crudus), oppure cotti in fornace (later coctus); esse sono considerate più resistenti all'usura ed al tempo rispetto a quelle in opus incertum o reticulatum, tanto da essere impiegate al posto della pietra anche per edifici di pregio.

54. *Traité theorique et pratique de l'Art de Bâtir* (trattato teorico e pratico dell'arte di edificare). Il trattato cerca di fondare una scienza del costruire, quale garanzia della solidità, durabilità ed economia dell'architettura; tratta le componenti dell'edificio e l'edificio nel suo complesso da un punto di vista esclusivamente strutturale e costruttivo, senza affrontare il tema della composizione architettonica e dell'ornamentazione. La scomposizione della costruzione in elementi e moduli strutturali rende il trattato di Rondelet sostanzialmente complementare agli insegnamenti di Jean-Nicolas-Louis Durand riportati nel *Précis des leçons d'architecture données à l'École Polytechnique* (1802-1805).

mentazione.

Nel Cinquecento, la classificazione proposta da Palladio ne *I quattro libri dell'architettura* risulta estremamente lineare, grazie anche alla presenza di illustrazioni realizzate dall'autore per chiarire il proprio pensiero. Vincenzo Scamozzi, invece, nel suo trattato *L'idea dell'architettura universale* propone una classificazione più complessa rispetto a quelle di Vitruvio e di Palladio, distinguendo le murature costruite dai Greci e quelle costruite dai Romani, rispetto a quelle moderne di tradizione italica (variabili secondo la disponibilità di pietre o di argilla per laterizi), e quelle della tradizione oltre le Alpi.

Ma è soprattutto nell'Ottocento che si assiste ad una svolta nella trattazione delle murature.

In alcuni casi, come per il trattato di Valadier *Raccolta delle più insigni fabbriche di Roma*, Roma 1810, ci troviamo di fronte ad una completa documentazione dello stato dell'arte muraria alla fine del XVII secolo in ambito romano, che raccoglie le esperienze maturate fino a quel momento dal cantiere tradizionale relativamente alle opere di importanti architetti contemporanei o grandi fabbriche all'epoca osservabili. Giuseppe Valadier pubblicò a Roma, tra il 1828 ed il 1833, un ulteriore trattato con il titolo *L'architettura pratica dettata nella scuola e cattedra dell'insigne Accademia di San Luca*, la cui maggiore novità era costituita dall'introduzione, per la prima volta in Italia, della descrizione di tecniche costruttive di murature "economiche", usate sia nell'antichità, sia in età moderna, nelle quali si ricorre ai materiali presenti nel luogo.

Tali murature sono riassumibili in:

- muri di ciottoli, con angoli e corsi in pietra o mattoni, in modo da realizzare delle legature e morse resistenti; questo muro è giudicato un buon muro, se la calce è di ottima qualità
- muri di pietrame irregolari e sbozzati
- muri misti di pietrame irregolare e corsi di mattoni

Questa innovazione nella trattazione farà sì che molti testi successivi introducano una nuova classificazione delle murature, in parte diversa da quella vitruviana, destinata a mantenersi fino ai trattati del secolo successivo.

Notevole è anche il trattato di Rondelet<sup>54</sup>, completo da ogni punto di vista e dotato di illustrazioni grafiche esplicative per ogni descrizione, documentano in modo quasi scientifico la problematica relativa

alla stabilità degli edifici.

La produzione trattatistica del XIX e del XX secolo è costituita da opere contenenti indicazioni che cercando di spaziare su tutto il repertorio dell'arte muraria, dagli elementi costruttivi, ai materiali, alle tecniche di messa in opera. È in questo periodo che iniziano ad essere inseriti nei trattati anche i criteri per l'analisi dei prezzi e delle lavorazioni, testimonianza di come sia cambiato nel tempo l'approccio all'architettura e di come questi scritti inizino ad essere indirizzati sempre più al tecnico, che ad un pubblico semplicemente colto, come accadeva nel Rinascimento, ma soprattutto di come sia cresciuto l'interesse anche per l'edilizia minore e rurale, che fino ad ora aveva trovato molto poco spazio nella trattatistica.

L'opera di Vincenzo Lamberti, "La statica degli edifici", Roma 1788, quella di Bernardo Belidor, "La scienza degli ingegneri nella direzione delle opere di fortificazione ed architettura civile", Milano 1832-35, e quella di Giovanni Curioni, "La resistenza dei materiali e la stabilità delle costruzioni", Torino 1864 consentono una conoscenza sufficientemente approfondita dei temi relativi all'evoluzione delle cognizioni scientifiche e tecniche (Zevi 2007).

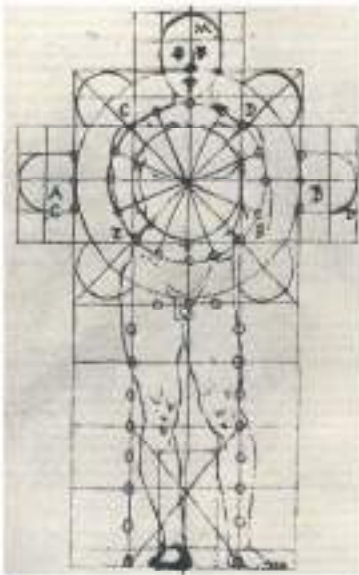
Il trattato di Milani<sup>55</sup>, inizio ventesimo secolo, può essere considerato un esempio molto interessante in quanto alla composizione architettonica, unisce descrizioni delle tecniche costruttive tradizionali ed innovative insieme. Ai soli aspetti formali e tipologici viene quindi aggiunta una visione organica delle architetture storiche e contemporanee.

Tra i vari titoli possiamo ricordare il volume di Antonino Giuffrè, "La meccanica delle murature storiche"<sup>56</sup>, Roma 1988, e quello di Salvatore Di Pasquale, "L'arte del costruire tra conoscenza e scienza", Marsilio, Venezia 1996

Il XX secolo ha visto inoltre la produzione di una serie di Manuali del Recupero e Codici di pratica, la cui struttura e successiva evoluzione è evidentemente legata alla storia della trattatistica delle epoche precedenti. Nascono pubblicazioni che cercano di mettere a sistema una storia della progettazione e delle tecniche del costruire dell'architettura, complici anche gli avvenimenti sismici che più volte pongono il problema del recupero e della ricostruzione. Si sente quindi la necessità di dare una struttura organica a nozioni fino ad ora non ora non completamente messe a sistema e di arricchire le conoscenze in merito alle strutture storiche che necessitano sempre più di interventi mirati e ben calibrati per assicurarne la conservazione e la valorizzazione nel tempo.

55. G.B. Milani, *L'Ossatura Murale. Studio statico-costruttivo ed estetico proporzionale degli organismi architettonici, con speciale riferimento alle strutture elastiche nelle loro varie e moderne applicazioni pratiche*, (tre volumi: I. La Stabilità; II. L'Estetica; III: La Costruzione), Ed. Artistiche C.Crudo&c., Torino 1920.

56. "Gli antichi trattati vanno letti con spirito critico, come criticamente osserviamo i risultati delle esperienze di laboratorio, ma non utilizzare il materiale prezioso che essi contengono sarebbe peggio che accettarlo pedissequamente: abbiamo comunque la garanzia che i loro autori hanno usato critico discernimento nel tradurre in insegnamenti le osservazioni che facevano", A. Giuffrè. (1991). *La meccanica delle murature storiche*. Roma, pag. 40.



Uomo iscritto nella pianta di una chiesa. Francesco di Giorgio Martini. Fine 1400.

Occuparsi di architettura storica passa obbligatoriamente attraverso la lettura degli antichi trattati in quanto solo così possiamo metterci nella condizione di acquisire le conoscenze necessarie per giudicare i caratteri dell'architettura con cui ci dobbiamo confrontare e renderle operative. "Ai trattatisti d'un tempo chiediamo quindi notizie utili al nostro lavoro di oggi, notizie che naturalmente filtreremo attraverso la nostra cultura. In particolare si vuole mettere l'accento sull'importanza di documentazione sperimentale che essi rivestono, per aver formulato le loro teorie sulla base di osservazioni attente ed estese" (Giuffrè 1991).

Il rapporto con il documento quindi, o con il monumento, non guarda solo al passato identificandolo come luogo della memoria, ma deve essere spostato verso il presente in modo da assumersi le responsabilità verso il futuro.

Nel momento in cui progettiamo dobbiamo aver chiaro da cosa partiamo e cosa la nostra architettura diventerà, come si trasformerà e quale sarà il possibile riutilizzo delle sue parti e dei suoi componenti, solo in questo modo potremmo definirci allo stesso tempo critici e costruttivi nei confronti del nostro patrimonio.

Fin dall'antichità l'uomo ha sempre costruito in modo da instaurare un rapporto di reciproco scambio con l'ambiente che lo circondava. La scelta dei materiali derivava spesso, soprattutto nelle architetture minori, non da un vezzo artistico bensì da quello che il luogo metteva a disposizione. E sebbene di secolo in secolo le tecniche costruttive si siano affinate, migliorate e diffuse sul tutto il territorio italiano, questo non era sempre vero quando si usciva dai nuclei urbani principali. Ieri più di oggi, fuori dalle "grandi città" il progresso arrivava in tempi diversi, quando arrivava, e non sempre si aveva i mezzi per potersi permettere di stare al passo con i tempi o la volontà di modificare tecniche costruttive ormai consolidate. Ne viene con sé che se analizziamo un territorio non dobbiamo aspettarci di trovare sempre lo stesso *modus operandi*, né dare per scontato che se un edificio sia stato costruito in un determinato modo allora quello adiacente della stessa epoca avrà le stesse caratteristiche.

Se a tutto ciò aggiungiamo il non avere a disposizione una produzione di materiali da costruzione di tipo industriale, ci rendiamo ancora di più conto di quanto sia impossibile fare dei ragionamenti univoci e semplificativi quando si va ad intervenire su un edificio storico.

La conseguenza è che ci troviamo a dover operare su un patrimo-

nio non solo vasto dal punto di vista numerico, ma anche dal punto di vista delle caratteristiche tecniche, costruttive e materiche assai variegato.

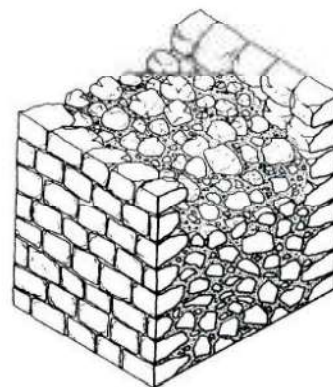
Ciononostante ci sono dei caratteri ricorrenti o che accomunano le costruzioni di una stessa area geografica e, a volte, anche più aree adiacenti che si sono influenzate tra loro, il che ci permette di fare una classificazione, seppur molto generica, di quelli che sono i paramenti murari e le sezioni che possiamo ritrovare nelle strutture antiche. Classificazione che non va intesa come una costruzione in generiche categorie del vasto patrimonio che abbiamo a disposizione, ma come un punto di partenza per sviluppare ulteriori riflessioni.

Per poter classificare una muratura sarebbe bene poterne osservare il paramento esterno per registrare i parametri legati alla regolarità dei corsi orizzontali, la grandezza e la squadratura dei conci, la qualità degli elementi lapidei e della malta, il tipo di ammorsamento trasversale e la verticalità della muratura. Questi elementi da soli già ci forniscono molte informazioni riguardo la muratura e la sezione interna che possiamo aspettarci. Non sempre però è possibile svolgere questa operazione ad occhio nudo, ma strumenti come la macchina termografica ci aiutano a superare questo ostacolo. Nel caso infatti di una muratura intonacata o di pregio non si può pensare di eseguire delle indagini diagnostiche più invasive come i carotaggi, per cui dobbiamo affidarci a mezzi alternativi come la letteratura o il confronto con edifici simili risalenti alla stessa epoca o alle stesse maestranze.

I tipi murari descritti più frequentemente dalla trattatistica pre-moderna sono i muri in laterizi, spesso definiti in pietra artificiale, i muri in pietra naturale, i muri misti e a concrezione, muri formati da una conveniente associazione, all'interno di una unica struttura, dei tipi murari precedenti, e i muri in terra cruda (pisé).

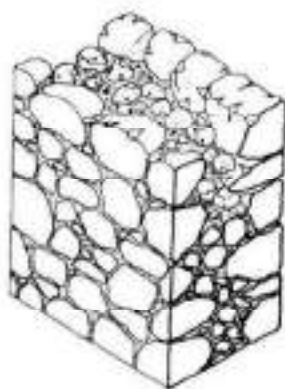
La composizione e l'organizzazione della struttura muraria (presenza o meno di elementi di collegamento trasversali quali i diatoni; la geometria, ovvero la forma, tipologia e dimensione degli elementi; la tessitura; l'orizzontalità delle giaciture; il regolare sfalsamento dei giunti; la qualità, quantità e consistenza della malta; la presenza di zeppe o scaglie; le caratteristiche dell'eventuale nucleo interno; l'omogeneità dei materiali), insieme al corretto dimensionamento delle strutture, sono requisiti fondamentali perché una muratura si possa ritenere realizzata a "regola d'arte".

I criteri generali sottesi alla buona esecuzione delle strutture mura-

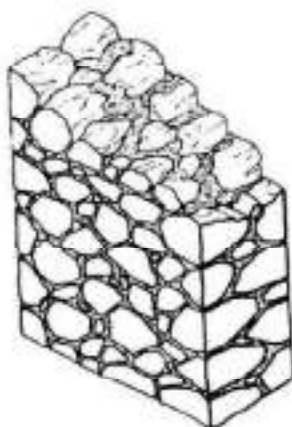


Sezione tipo a sacco.

De Meo, M. (2007) *Tecniche costruttive. Murarie medievali*. La Sabina



Sezione a semisacco con elementi di punta.  
De Meo, M. (2007) Tecniche costruttive. Murarie medievali. La Sabina.



Sezione piena.  
De Meo, M. (2007) Tecniche costruttive. Murarie medievali. La Sabina.

rie si basano principalmente sull'uso di materiali idonei e sulla loro razionale associazione. In sostanza: una struttura muraria deve la sua efficacia al fatto che gli elementi siano sollecitati quasi esclusivamente a pressione. Ciò impone che detti elementi siano predisposti per realizzare il miglior combaciamento con le altre componenti limitrofe ed essere assemblati all'interno di una razionale tessitura che garantisca il collegamento reciproco delle parti. Nel caso di elementi lapidei di grandi dimensioni e dalla geometria perfettamente controllabile, basta preordinare efficaci superfici orizzontali di posa e imporre l'alternanza dei giunti di combaciamento verticale; si può tendere così alla riduzione della presenza di malta con funzione legante e godere comunque di un buon livello di stabilità determinato dal gravare di ciascun elemento su quelli sottostanti. La funzione della malta, in questo caso, è nel realizzare un piano orizzontale regolare ed omogeneo cui affidare il contatto reciproco tra le pietre.

Tutte le murature, ad eccezione di quella a secco e in pietra da taglio a grossi blocchi, sono costituite dall'unione di due materiali: inerte e legante. La funzione dell'inerte è svolta dalla pietra o dal mattone o da entrambe in percentuale variabile a seconda del tipo di paramento murario, dell'epoca di costruzione e della collocazione geografica. La malta invece era usata per riempire i vuoti e collegare tra loro gli elementi, al fine di realizzare un unico sistema che lavorasse insieme e fosse più resistente.

Le costruzioni murarie rappresentano un sistema complesso stratificato, a volte frutto di sovrapposizioni avvenute nel tempo a causa di crolli, rifacimenti, ampliamenti o semplicemente opere di tipo manutentivo. Questo tipo di connotazione fa della muratura storica un apparato di cui è necessario ricostruire le fasi costruttive e i cambiamenti avvenuti. Per questo motivo lo studio preliminare approfondito è un passaggio cui il progettista non può sottrarsi nel momento in cui vi si confronta. Svariate sono le tecniche costruttive che si possono riscontrare, spesso riconducibili ad delle classificazioni comuni seppur con delle differenze, dovute magari alla tecnica con cui sono state lavorate pietre e laterizi.

Dal punto di vista del paramento murario potremmo avere:

- **Muratura in pietra non squadrata:** si presenta realizzata con materiale di cava lavorato solo grossolanamente, posto in opera in strati sufficientemente non necessariamente regolari. Si procede

nella costruzione a strati orizzontali (ricorsi non sempre sono visibili nelle murature più vecchie o più povere) concatenando le pietre. Negli apparecchi murari costruiti maggiormente a regola d'arte avremo una pietra trasversale di punta ogni due pietre longitudinali di fianco, sfalsando ogni strato i giunti verticali. Agli incroci dei muri ed agli angoli vengono posti elementi lapidei più regolari e meglio squadrate per garantire l'incastro tra le due pareti che si incontrano;

- *Muratura listata*: è costituita da pietre grossolanamente squadrate dall'aspetto tendenzialmente schiacciato (come suggerisce il nome), disposte con ricorsi orizzontali;
- *Muratura di pietra squadrata*: è quella ottenuta con elementi lapidei pressoché regolari posti in strati e concatenati sfalsando i giunti;
- *Muratura in laterizio*: costituita da filari di mattoni tutti delle stesse dimensioni, posti in filari con i giunti sfalsati.

Queste quattro tipologie di paramento murario possono essere riscontrate in forma "pura" oppure essere mescolati tra loro in tipologie miste. Inoltre ad uguale paramento murario non è detto che corrisponda uguale nucleo murario e a seconda della variazione del nucleo (a sacco, semisacco, incastrato) potremmo avere anche due diverse tipologie di paramenti tra la parte che dà verso l'esterno e quella verso l'interno dei locali dell'edificio.

Altra variante è dovuta ai materiali utilizzati.

La maggior parte delle rocce presenti sulla crosta terrestre può essere usata come materiale da costruzione. Tra quelle non adatte possiamo ricordare alcune rocce sedimentarie in cui è presente una percentuale elevata di materiali argillosi come le marne e le argilliti, si tratta di rocce poco coerenti e sottilmente stratificate, che però forniscono la materia prima per la fabbricazione di calce idrauliche e di cementi e, quando la componente argillosa è preponderante, per la fabbricazione delle ceramiche, in particolare dei laterizi. Altre rocce inadatte all'impiego sono alcune vulcaniti ricche di componente vetrosa, come le ossidiane e le pomice, ed alcune rocce metamorfiche molto scistose come le filladi.

Tutte queste rocce, oltre a non essere adatte come materiale da costruzione, determinano, dove sono presenti, grossi rischi di tipo idrogeologico relativi alla realizzazione stessa di edifici, strade, ferrovie, gallerie e di qualsiasi costruzione in genere.



Esempio di muratura con ricorsi in laterizio



Esempio di sezione piena in marmo di Varenna.



Esempio di muratura in pietra concia

I materiali lapidei utilizzati si suddividono a seconda della lavorazione a cui possono essere sottoposti:

- **Pietra grezza:** pezzi informi o sbazzati in modo grossolano, trovati sul posto od ottenuti per spaccatura di massi spesso di origine morenica, purché muniti di una sufficiente resistenza e durezza, sono usati per murature ordinarie e mulattiere. Massi di dimensioni anche notevoli sono usati per scogliere ed argini artificiali. Ghiaie e ciottoli naturali, oppure pietrisco prodotto dalla frantumazione di pietre di cava, sono usati per massicciate di strade e ferrovie. Ciottoli arrotondati, con dimensioni omogenee, in genere quarziti, erano usati per la pavimentazione di strade, piazze e cortili. Lastre più o meno sottili, ottenute da rocce scistose, come lavagne, ardesie, o gneiss, sono usate per coperture di tetti e pavimentazioni pedonali od a traffico veicolare limitato.
- **Pietra concia:** pezzi con una forma approssimativamente regolare ottenuta mediante sbizzo della pietra grezza. Usati specialmente per murature, sono preferite le rocce facilmente lavorabile come i calcari e le arenarie. Per cubetti e lastre usati per le pavimentazioni stradali soggette al passaggio di veicoli sono preferite le rocce vulcaniche, in particolare porfidi, trachiti e basalti
- **Pietra da taglio:** lavorata su tutte le facce, per murature speciali i materiali più usati sono i calcari compatti e cristallini, i travertini, alcuni conglomerati ed arenarie, graniti, sieniti, gneiss
- **Lastre con diversi gradi di lavorazione:** per coperture di parapetti, davanzali di finestre, gradini, pianerottoli e balconi erano molto usati i vari tipi di gneiss, solo squadrate ma non levigate, saranno poco eleganti, ma sono molto resistenti, sia dal punto di vista meccanico che chimico. Attualmente sono più usate lastre levigate e lucidate di altri materiali come calcari compatti o marmi, meno resistenti sia meccanicamente che chimicamente, oppure rocce vulcaniche come graniti, sieniti, gabbri o addirittura metamorfiche, molto più costose da lavorare.
- **Materiali per decorazioni:** a questa categoria appartengono le rocce che possono essere lucidate e scolpite, la finezza della lavorazione, il colore, la rarità della varietà di una determinata roccia e, naturalmente, il costo, le distinguono dai materiali precedenti

Altro elemento il cui studio non può essere trascurato, quando si ha a che fare con un edificio storico, sono i leganti. I leganti sono

quei materiali che per reazione chimica determinano l'unione delle particelle di inerte dando luogo, insieme alla sabbia ed all' acqua, alla malta. I leganti usati nella confezione delle malte sono: le calci aeree, le calci idrauliche, il gesso e il cemento.

Le calci sono prodotti della decomposizione dei calcari per azione del calore, per cottura o calcinazione. Hanno come principale costituente l'ossido di calcio e si distinguono in calci aeree e calci idrauliche a seconda che la presa avvenga solo all'aria o anche in acqua.

Il cemento è un legante ottenuto per macinazione di clinker e gesso in quantità tali da regolare il processo di presa. Il clinker è ottenuto dalla cottura di miscele di calcare e argille e altri minerali ed è quindi composto da silice, ossidi di alluminio, di ferro, di calcio in opportune proporzioni variamente composti tra di loro.

La sabbia, che costituisce l'ossatura della malta, entra in questa nella proporzione del 65-70% del volume. E' costituita da piccolissime particelle di minerali o ghiaie sminuzzate da fiumi e onde marine, oppure proviene da macinazione di rocce, in maniera artificiale. Le malte migliori sono quelle provenienti da fiumi o laghi. La sabbia ha il compito di aumentare il volume dell'impasto, facilitare la penetrazione dell'anidride carbonica nella miscela (buona presa e buon indurimento), e riduce l'entità del ritiro. Per le murature è usata una sabbia grossa di dimensione compresa tra 0,5 e 1 mm.

Minore è la quantità di acqua presente nell'impasto, maggiori saranno le proprietà dell'impasto, ma minore è la sua lavorabilità.

Quello dei materiali è uno dei problemi principali, se non il principale quando si lavora con un edificio storico. I materiali non costituiscono solo la struttura fisica dell'edificio, ma lo caratterizzano nelle fattezze e nella costituzione degli spazi. Sono un tutt'uno con la forma, motivo per cui non basta mantenere inalterata la sagoma dell'edificio, ma prendersi cura degli elementi che la costituiscono: "(...) l'idea della costruzione come complesso organico, piuttosto che assemblaggio di elementi, fu sempre alla base della competenza degli antichi architetti [...]" (Giuffrè 1991).

Inoltre spesso ci troviamo di fronte a costruzioni che vedono un gioco di differenti consistenze materiche incastrarsi le une con le altre, ma spesso essendo di epoche differenti si trovano in uno stato conservativo differente. Il discorso dell'invecchiamento del materiale non vale solamente per i leganti, che sono sicuramente "l'anello debole" che rischia di sgretolarsi e assottigliarsi con il tempo, ma anche per i materiali lapidei, che se non correttamente protetti

dalle intemperie possono essere soggetti a fenomeni fisici (vedi il ciclo gelo e disgelo) che ne vanno a danneggiare la consistenza e quindi a modificare le caratteristiche fisiche e meccaniche. Lo stato di conservazione quindi è un fattore determinante quando si opera su un edificio storico in quanto influenza e determina le scelte in fase progettuale. Non solo, può anche capitare che un materiale utilizzato secoli fa non sia più disponibile sul territorio perché la cava si è esaurita.

Da ciò ne deriva che qualsiasi intervento sia indirizzato alla sostituzione di un elemento o alla sovrapposizione di un nuovo elemento con un esistente, va attentamente valutato sulla base della compatibilità chimico-fisica. Ad esempio un mattone realizzato trecento anni fa, seppure in ottime condizioni, non avrà mai le stesse caratteristiche di uno riprodotto ai nostri giorni. L'ecologicità dei materiali di un tempo non corrisponde con quella dei materiali a noi contemporanei: pietre e ghiaia di fiume fornivano ottima materia prima per calci, intonaci e malte di allettamento, così come la terra, utilizzata per tutti i tipi di cotto, proveniva da suoli salubri e mineralogicamente adatti allo scopo. Ugualmente il legname veniva stagionato con metodi differenti e fornito da foreste di dimensioni oggi impensabili e i marmi di cava venivano estratti delle vene migliori, oggi quasi del tutto esaurite.

Con queste premesse è chiaro come il panorama di partenza sia nettamente diverso da quello di arrivo ed appare quindi inverosimile pensare di riprodurre qualcosa che non c'è più.

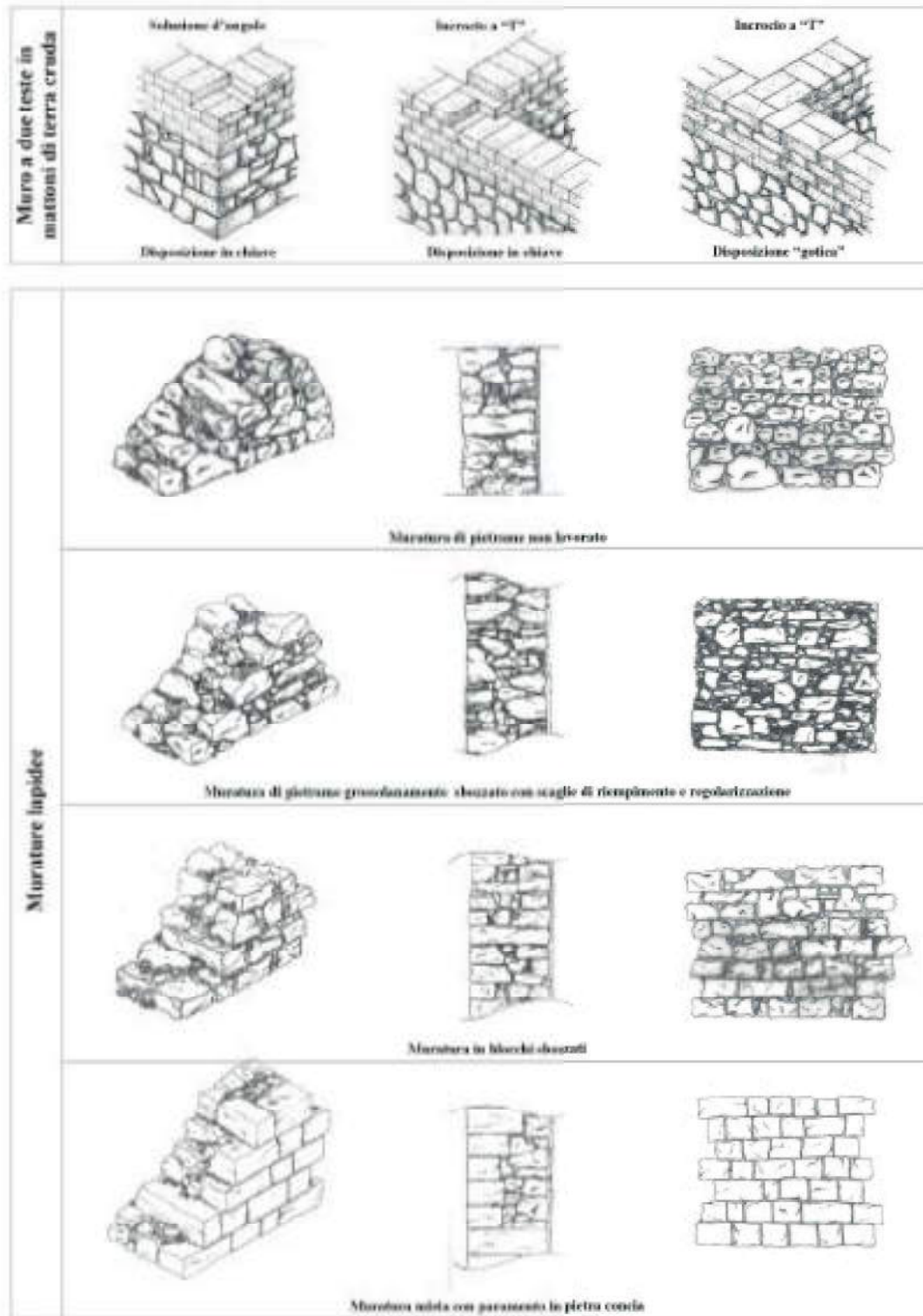
Allo stesso modo le tecniche costruttive sono mutate nei secoli ed è impensabile pensare di avere adesso delle maestranze in grado di riprodurre tecniche nella media raffinatissime.

Didascalie alle immagini.

12. Mannaia del recupero della Sardegna.

13. "L'arte del fabbricare" Formenti

14. Manuale del recupero di Palermo.



Tab. II. Murature in terra cruda e in pietra: repertorio di alcune fra le soluzioni più diffuse con differenti lavorazioni e modalità di messa in opera.

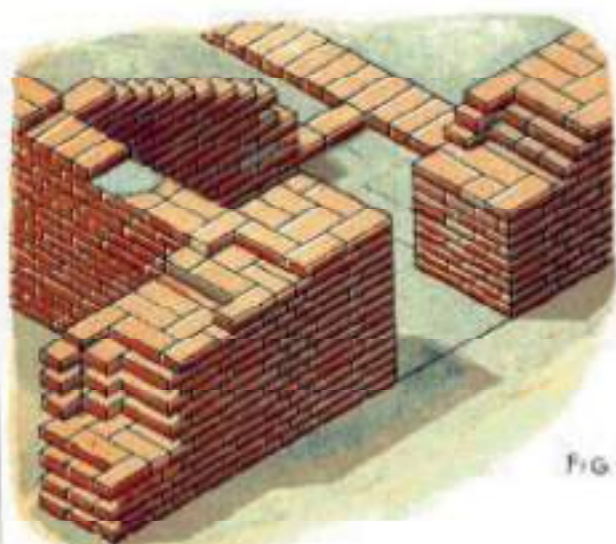


FIG. 1 *L'assetto normale con anner.  
di 2, 2 e 4 teste*

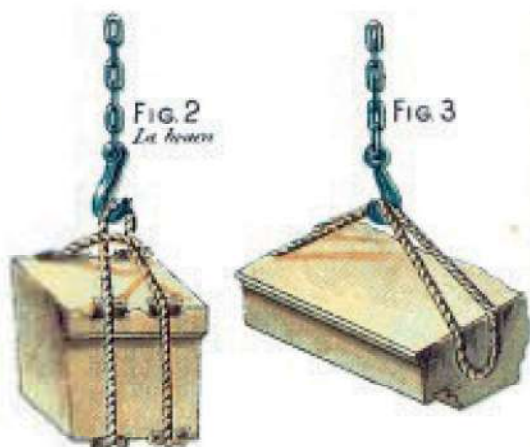


FIG. 4 *L'assetto normale nei muri di 2 e 4 teste*

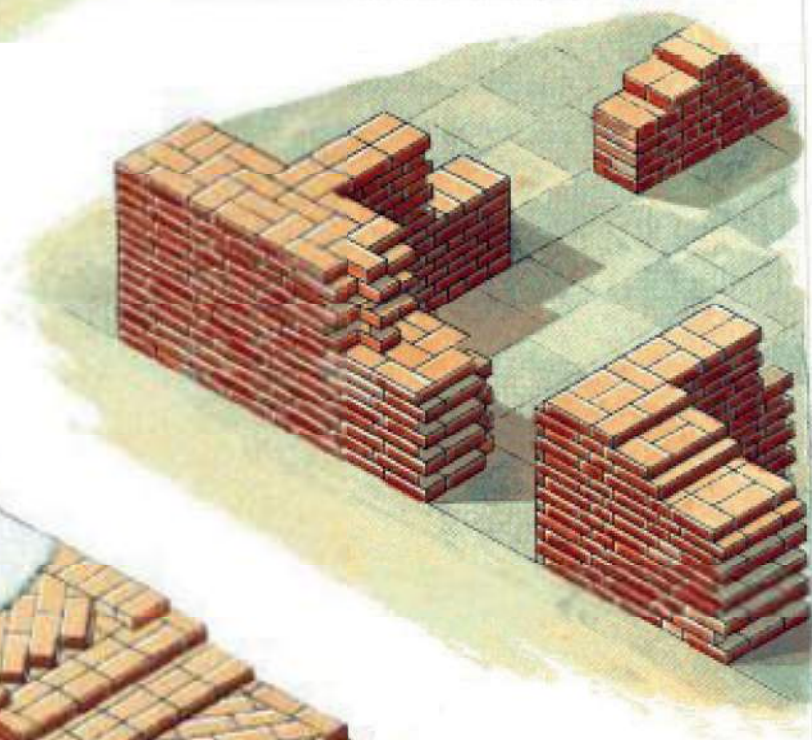


FIG. 5 *L'assetto normale nei  
muri di 3 teste e  
nei muri molto  
grandi*

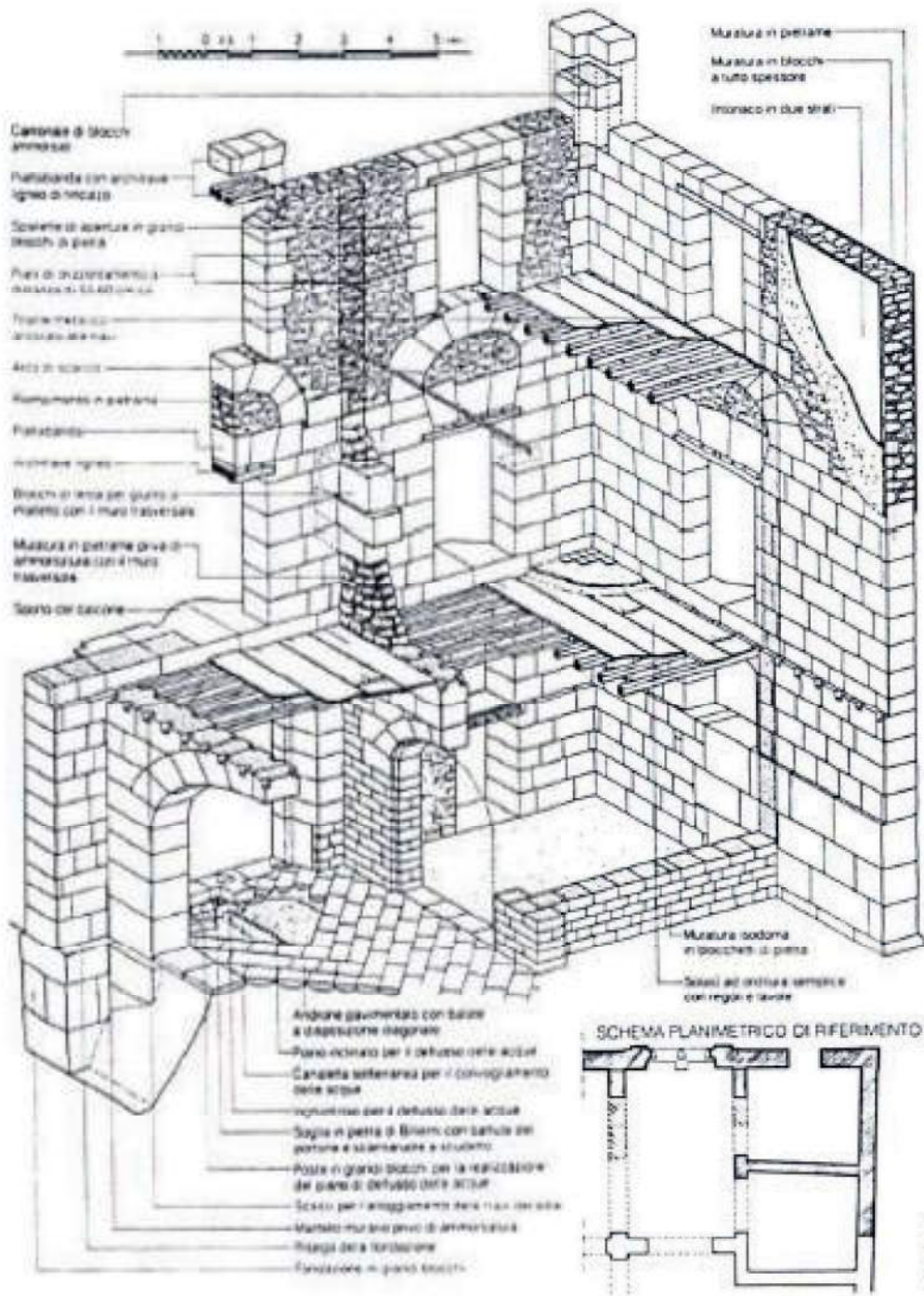


Fig. 2 - L'organismo murario, Palermo, palazzo Magnisi (*Manuale del recupero del centro storico di Palermo, 1997*).



## 2.3 Comportamenti bioclimatici dell'edificio storico pre – industriale

Nel corso dei secoli l'uomo ha sempre cercato di trarre il massimo vantaggio da luogo prescelto per edificare la propria abitazione, in modo da realizzare un edificio che fosse il più confortevole possibile.

Con l'avvio dell'industrializzazione, il progresso tecnologico e la grande disponibilità di materie prime hanno fatto pensare che non ci fosse più bisogno di questa continua relazione con l'ambiente: l'uomo aveva finalmente i mezzi per provvedere a tutte quelle che erano le sue necessità senza dover per forza scendere a patti con il *genius loci*.

In tempi ormai non troppo recenti ci si resi conti che questo modo di pensare l'architettura era dannoso non solo per l'ambiente, ma per l'uomo stesso ed è così che negli anni sessanta del novecento iniziarono ad uscire interessanti contributi in merito a quella che venne poi definita Architettura Bioclimatica<sup>57</sup>.

Diversi autori, come Banham e Ficht<sup>58</sup>, iniziarono a parlare di una progettazione che recuperasse quella stratificazione di saperi che l'uomo aveva accumulato nei secoli, alludendo all'edificio come ad un organismo che ha continui scambi con l'ambiente esterno.

Ma sarà con Olgay che il contesto climatico assumerà un'importanza fondamentale: "Il processo del costruire una casa climaticamente equilibrata si può dividere in quattro passi (...). Il primo passo verso l'aggiustamento ambientale è uno studio degli elementi climatici di una determinata località. Ciascun elemento ha però un diverso impatto e presenta un diverso problema. Poiché in architettura il metro fondamentale è l'uomo e l'abitazione è destinata a soddisfare i suoi bisogni biologici, il secondo passo è quello di valutare ogni effetto climatico in termini fisiologici. Come terzo passo, bisogna applicare ad ogni problema di comfort climatico le soluzioni tecnologiche. Infine, queste soluzioni dovrebbero essere combinate, secondo la loro importanza, in un'unità architettonica"<sup>59</sup>.

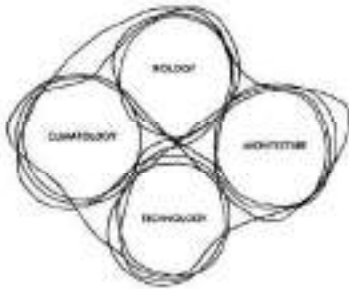
Come la bioclimatologia<sup>60</sup> si occupava della distribuzione vegetale sul nostro pianeta in funzione delle specificità climatiche dei diversi luoghi, analogamente l'architettura bioclimatica cercava una cor-

57. È il 1962 quando viene coniato il termine Architettura Bioclimatica da Victor Olgay.

58. Si vedano Reyner Banham "Ambiente e tecnica nell'architettura moderna" (edizione italiana del 1995 a cura di Giovanni Morabito e Cristian Stanesco), e Fitch "La progettazione ambientale. Analisi interdisciplinare dei sistemi di controllo dell'ambiente" (edizione italiana 1980).

59. V. Olgay. (1981). *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico* Padova: F. Muzzio, p. 24

60. Kroppen inizi XX secolo



Olgay "Design with nature" pag. 12.

rispondenza tra zone climatiche ed edifici, andando a recuperare quella stratificazione di conoscenze pratiche che l'uomo aveva maturato nei secoli e che sembravano e sembrano tutt'ora in parte dimenticate.

Già nel I secolo Vitruvio nel *De Architectura* evidenziava l'importanza di progettare in maniera differenziata in base al clima in cui l'edificio è collocato.

*«E infatti sembra opportuno istituire tipi di edifici in un modo in Egitto, in un altro in Spagna, non nella stessa maniera nel Ponto, diversamente a Roma, così pure a seconda delle altre peculiarità di terre e regioni, poiché in una parte la terra è premea dal corso del sole, in un'altra si trova a una lunga distanza da questo, in un'altra lungo la sezione mediana è temperata. Pertanto come la costituzione del mondo è fondata per natura in rapporto all'ambito della terra sull'inclinazione del cerchio dello zodiaco e sul corso del sole con peculiarità diverse, allo stesso modo altresì che le costituzioni degli edifici debbano essere disposte in rapporto ai caratteri delle regioni e alla varietà del cielo.»*

M. V. Pollione

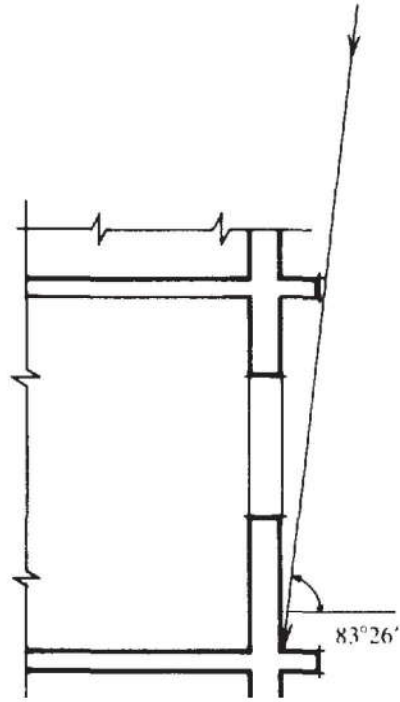
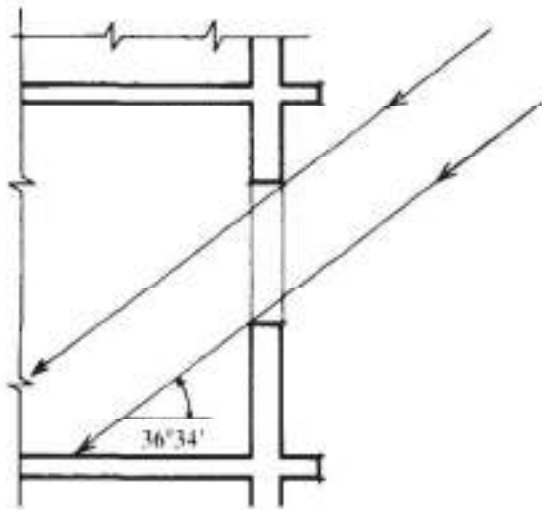
Allo stesso modo anche per gli ambienti interni viene suggerita una diversa disposizione a seconda dell'uso che se ne vuole fare; vengono espresse tutte le conseguenze che possono incorrere da un cattivo orientamento e i danni provocati all'edificio. Non si tratta solo del comfort interno degli abitanti, ma anche della salubrità dei luoghi della vita di tutti i giorni.

Benché ripresi a livello trattatistico solo nel 1400, gli insegnamenti di Vitruvio erano entrati a far parte della cultura tecnologica architettonica del suo tempo e dei secoli a venire, tanto che tutti si rifaranno a lui nel dare indicazioni sulle buone prassi del costruire. Francesco di Giorgio Martini, architetto, teorico dell'architettura, ingegnere e artista della Urbino Rinascimentale, scrisse il *Trattato di Architettura civile e militare* durante la sua permanenza alla corte di Federico da Montefeltro. Così come il suo predecessore, di cui segue e approfondisce gli insegnamenti, rimarca l'importanza per l'architetto di prendere in considerazione come prima cosa il clima e la complessità del luogo in cui si andrà a realizzare l'edificio. Solo qualche tempo dopo Leon Battista Alberti scriverà il *De re aedificatoria* portando nuovamente l'attenzione sulle condizioni climatiche e ambientali, ma non rivolgendosi questa volta a chi è del mestiere piuttosto al grande pubblico di educazione umanistica, così come

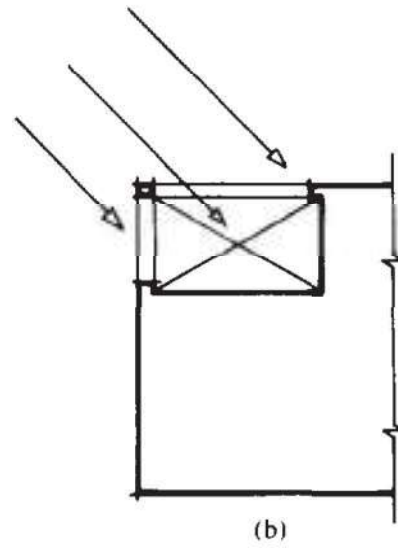
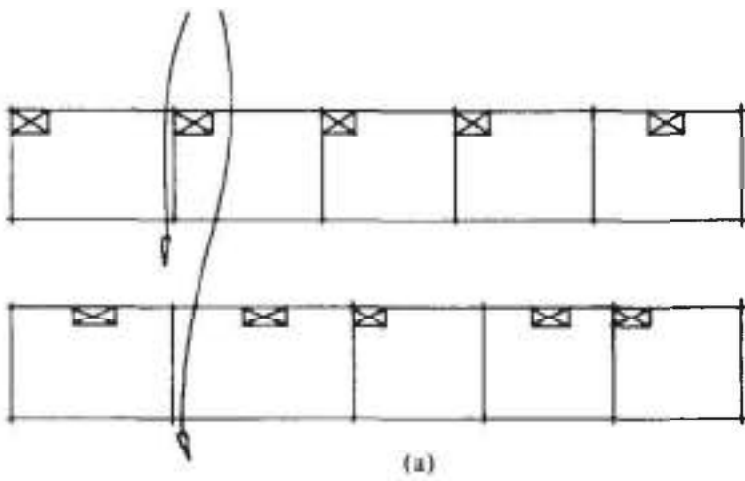
Didascalie alle immagini.

15. Studio delle condizioni climatiche per una corretta progettazione.

16. Edifici posizionati in modo tale da sfruttare la ventilazione naturale.



15.



16.

61. La costruzione iniziata nel 1566 circa consisteva in un edificio quadrato completamente simmetrico e inscritto in un cerchio perfetto. Tecnicamente la pianta dell'edificio è riconducibile ad una croce greca. L'aula centrale e tutte le altre stanze erano proporzionate con precisione matematica in base alle regole proprie dell'architettura di Palladio elaborate nei suoi Quattro libri.  
62. I Covoli di Costozza costituiscono un sistema di grotte e cavità presenti nel comune di Longare, in provincia di Vicenza, nella località da cui prendono il nome. Si tratta di cavità ricavate nella roccia calcarea dei Colli Berici e utilizzate da tempo molto remoto per la conservazione del vino o di derrate alimentari.

Dirascalle alle immagini.

17. Andrea Palladio, Villa Almerico Capra detta La Rotonda, Vicenza 1566. Fonte Archweb.

18. Esempi di funzionamento dei covoli

19. Esempi di finestre strombate di epoca medievale

accadrà per molti trattati del '500.

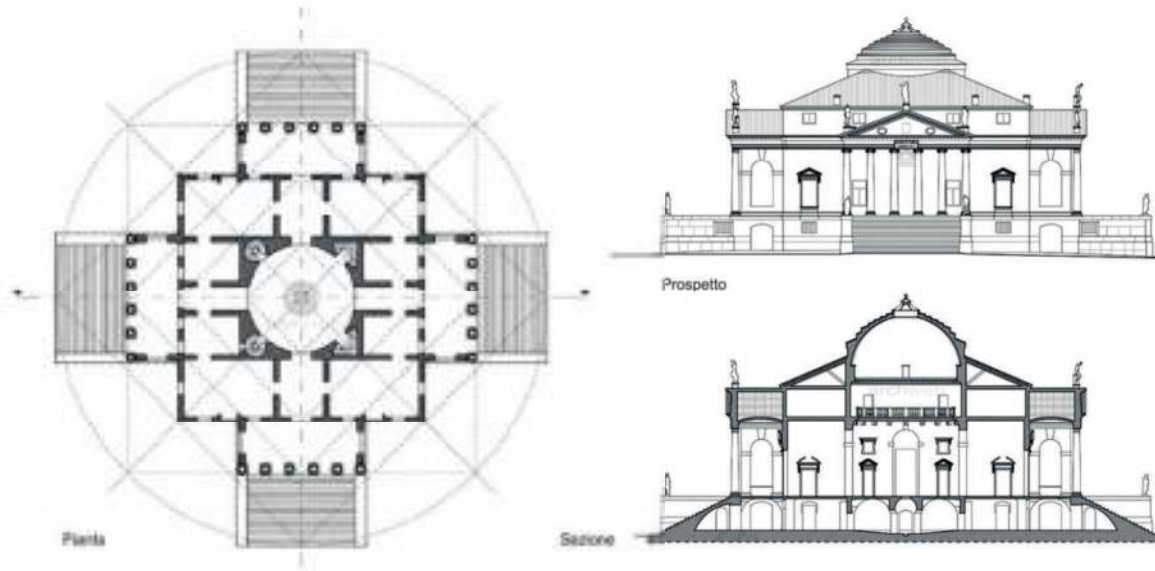
Esempio di come questi principi basilari enunciati fossero poi messi in pratica, è Villa Almerico Capra, detta La Rotonda<sup>61</sup>, di Andrea Palladio, che la inserì tra gli esempi citati ne *I quattro libri dell'architettura* (1570). Famosa per inserirsi sulla collina alle porte di Vicenza in modo molto armonico, la villa si articola su due piani. L'efficace esposizione al sole è stata ottenuta grazie alla rotazione della pianta di 45° rispetto ai punti cardinali, mentre grazie all'apertura dell'oculo posto sulla sommità della cupola centrale si riesce a sfruttare l'effetto camino e raffreddare l'intera villa.

La ventilazione naturale è da sempre stata uno dei fattori determinanti nella progettazione tradizionale. Se si osserva il tessuto dei centri storici, a meno di ristrutturazioni che hanno portato ad un edificio in parte o completamente diverso da quello originario, si può notare come anche le sole finestre venivano progettate per captare più aria possibile, ne sono un esempio le finestre strombate.

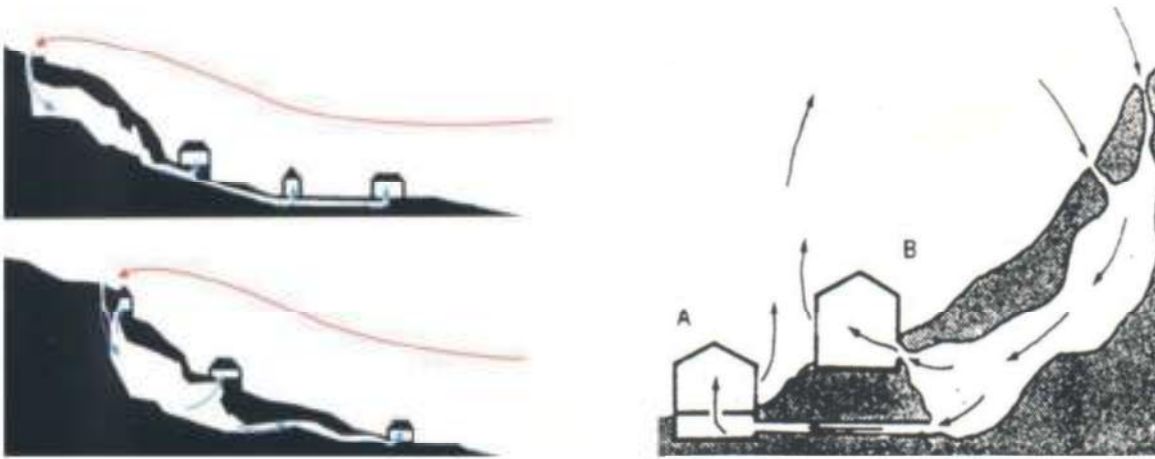
Le sei ville pre-palladiane di Costozza, costruite in varie epoche a partire dal 1500, e prese come esempio dallo stesso Palladio nei suoi Quattro libri, rappresentano uno dei massimi esempi di sfruttamento della ventilazione naturale per mezzo di ventidotti e covoli<sup>62</sup>. Realizzate sulle pendici dei monti Berici sfruttano lo stesso sistema di raffreddamento degli antichi edifici iraniani, con condotti di ventilazione collegati a cavità sotterranee.

I covoli sono in diretta comunicazione con l'esterno attraverso numerose aperture situate a quote diverse tra loro. Pertanto, soprattutto nei periodi in cui la temperatura dell'aria esterna è maggiore di quella dell'aria interna, si innesca un moto convettivo di circolazione dell'aria per cui quella calda, che entra nei covoli dall'apertura in alto, riesce definitivamente ad uscire rinfrescata dalle aperture situate in una posizione più bassa, circolando naturalmente.

Con la finalità di sfruttare in modo appropriato tale fenomeno naturale di raffreddamento delle ville di Costozza, queste ultime sono state collegate direttamente alle parti inferiori dei covoli attraverso una serie di cunicoli sotterranei appositamente scavati, comunemente chiamati "ventidotti", della lunghezza di qualche centinaio di metri. Questi ventidotti arrivano fino alle cantine delle ville e successivamente da queste l'aria fresca penetra nei locali che si trovano nella parte più alta dell'abitazione attraverso rosoni di pietra o di marmo traforato localizzati nei pavimenti dei locali del piano terra. Aprendo il rosone la temperatura in un ambiente della villa si abbassa fino a raggiungere la temperatura di 16° C, quando esterna-



17.

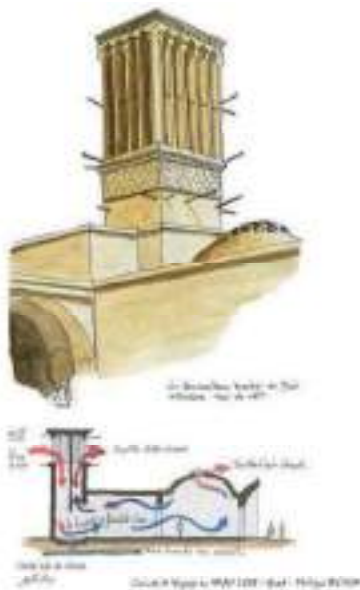


18.



19.

63. In lingua persiana "acchiappa vento". Si tratta di torrette realizzate in muratura, caratterizzate da una partizione interna verticale e aperte su tre o quattro lati, diffuse prevalentemente in Iran e nell'area del Golfo Persico.



Badgir o torre del vento

mente si arriva normalmente a 33° C.

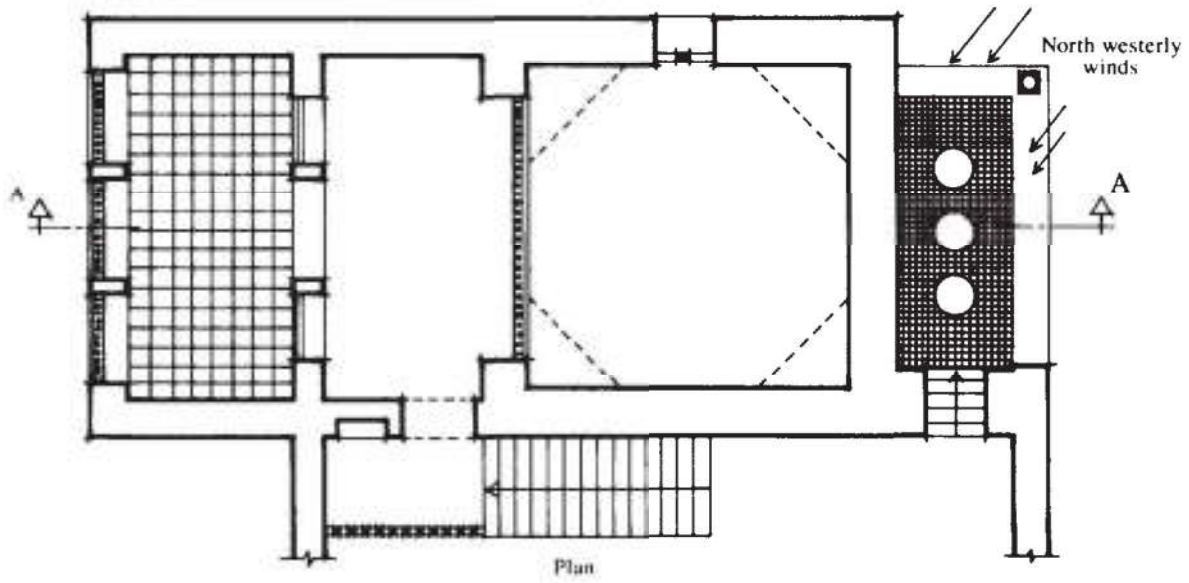
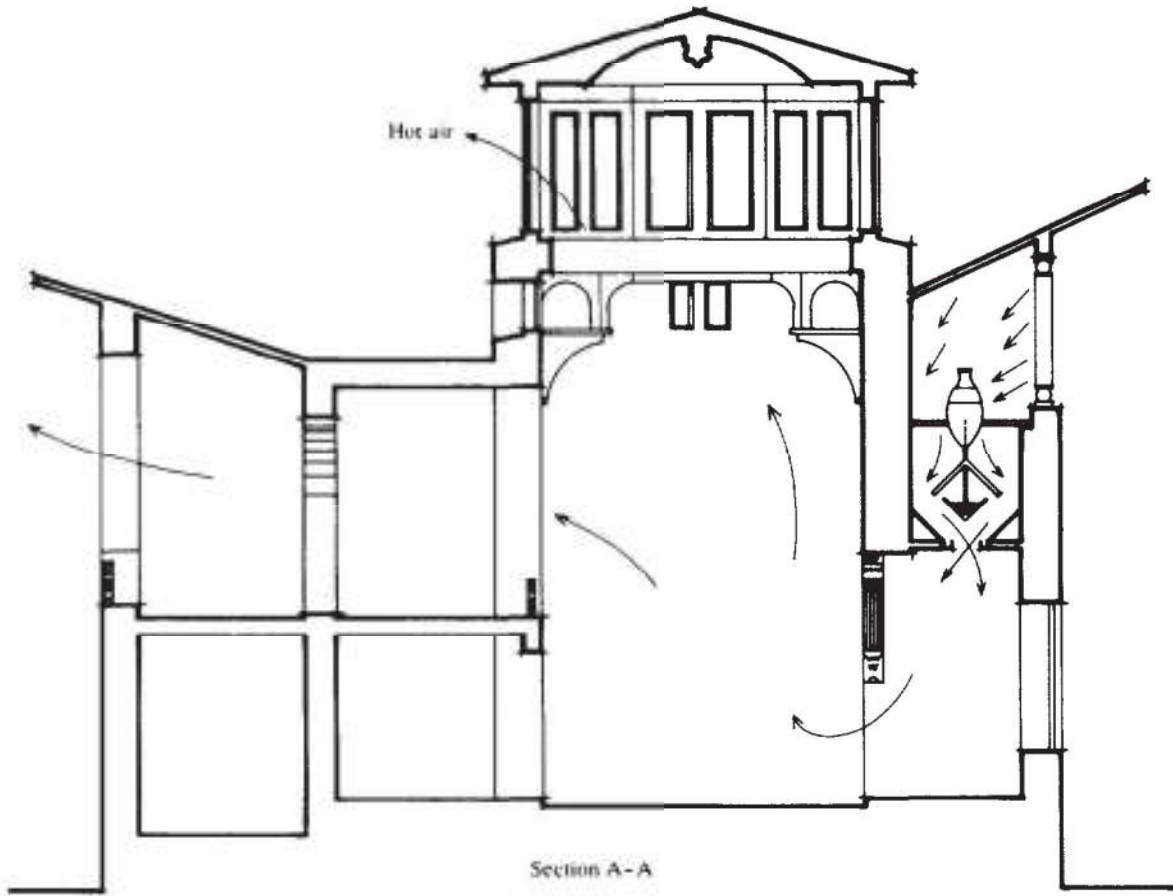
Un altro esempio di sfruttamento della ventilazione naturale arrivato fino a noi è la torre a vento.

Il Badghir<sup>63</sup>, rappresenta uno dei più tradizionali elementi architettonici dello skyline delle città persiane, che attraverso l'uso del "risucchio dell'aria", permetteva all'aria fresca di entrare nell'abitazione, e contemporaneamente agevolava la fuoriuscita dell'aria calda. Le forme del Badghir erano diverse a seconda del tipo di vento della zona, ad esempio potevano avere un ingresso su un solo lato o su tutti i lati quando il vento proveniva da più parti.

La torre del vento è un sistema di raffrescamento passivo molto sofisticato ed efficace; ne esistono diverse tipologie, che differiscono tra loro sia dal punto di vista estetico che funzionale e dimensionale; ambientale e climatico, ed anche per la tecnica costruttiva derivante dalle tradizioni locali. Sono generalmente degli elementi autonomi, ma integrati nell'edificio, di altezza compresa tra gli otto e i trenta metri, orientate in modo tale da raccogliere più vento possibile. Possono essere formate da un unico condotto o divise per formare in modo da avere all'interno più condotti nel caso i cui si abbia necessità di catturare il vento da più angolazioni e, a prescindere dall'orientamento dell'edificio, la torre veniva costruita con lo scopo di avere in tutte le stagioni due lati sempre in ombra e due sempre controvento. Così facendo si determinava un doppio flusso di aria parallelo: uno favoriva l'ingresso di aria fresca e uno l'uscita di quella calda. In alcuni casi, nei punti strategici del passaggio dell'aria veniva posta un bacino d'acqua o una fontana (hocz) di misure variabili per rendere meno secca l'aria umidificandola. Anche il materiale da costruzione utilizzato contribuisce al funzionamento del sistema: infatti il mattone in terra cruda, la cui superficie esterna viene generalmente protetta da un intonaco naturale, di colore neutro, permette anche di riflettere la radiazione solare. Il buon funzionamento viene garantito da tre fattori, ovvero la dimensione dei condotti, l'altezza della torre e l'orientamento.

Le torri del vento venivano impiegate in due casi specifici: la ventilazione delle cisterne, il raffrescamento e l'umidificazione degli spazi interni ad uso abitativo o pubblico.

Insieme alle torri del vento, i Qa'a egiziani sono tra i sistemi di ventilazione più antichi, diffusi nelle città caratterizzate dal un tessuto edilizio particolarmente denso, all'interno del quale la ventilazione assicurata dalle superfici finestrate non risulta essere sufficiente. Anche in questo caso il meccanismo di base è la cattura del vento.





1859 : M'Kinnel ideò il camino a doppio tubo.

Didascalie alle immagini.

20. Rappresentazione di come il Malqaf riesce a creare una ventilazione naturale. Disegnato da Hassan Fathy.

21. Rappresentazione di un ipocausto tipo. <http://www.museotorino.it/view/s/806c1d6182334b8d882bd0da534d4520>

22. Esempio di Salsabil

Il sistema, di derivazione turca, è costituito da una serie di ambienti e il meccanismo di ventilazione è innescato dalla differenza di pressione che si instaura tra i diversi ambienti e tra interno ed esterno. L'aria dopo essere entrata nel malqaf viene incanalata fino a raggiungere il qa'a, ovvero l'ambiente centrale, dove tende a salire verso la parte più alta del vano per effetto della differenza di pressione dovuta al fatto che nella parte alta del lanternino i vetri tendono a riscaldare l'aria. Le aperture che in estate favoriscono quindi un raffreddamento degli ambienti, in inverno vengono chiuse per evitarne il raffreddamento.

Il Qa'a assume aspetti differenti a seconda della copertura che spesso si differenzia per forma e materiali a seconda della zona di origine. Se l'Egitto predilige un lanternino in legno, in Iran troviamo generalmente una muratura di forma ogivale. La sua caratteristica risiede nel non essere un semplice elemento architettonico, ma è parte integrante dell'intera struttura che va pensate e progettata in funzione della precisa relazione che si dovrà instaurare tra gli ambienti.

Le tecniche per lo sfruttamento dei moti convettivi dell'aria calda si affinano nei secoli fino ad arrivare al 1859 quando M'Kinnel ideò il camino a doppio tubo. Un principio simile a quello dei camini solari, ma usato per la ventilazione attraverso l'espulsione dell'aria calda. Si tratta di un sistema molto semplice importato dal settore navale dove era necessario ventilare le stive dei bastimenti. Due camini concentrici, uno di entrata, per l'aria esterna, e uno di uscita, per l'aria interna, la cui specifica conformazione consente lo scambio della stessa quantità di aria fredda e calda e allo stesso tempo che l'aria viziata rientri nell'ambiente.

L'architettura storica è sempre stato un modello al quale fare riferimento, seppure attualizzato da ogni epoca. Tuttavia in un tessuto consolidato come quello delle moderne città, non è sempre possibile attenersi a tutte le indicazioni deducibili dalla trattatistica e quando il sito non ci riserva delle condizioni favorevoli la soluzione è quella di scegliere altri espedienti. Uno tra questi è rappresentato dall'ipocausto romano, tecnica utilizzata a partire dal I Sec. per il riscaldamento degli ambienti: consisteva nel far circolare in interpedini, al di sotto del pavimento e nelle pareti, aria calda proveniente da un forno. In questo modo il calore diffuso per irraggiamento andava a riscaldare gli ambienti sfruttando l'effetto camino secondo il quale l'aria calda sale verso l'alto rispetto all'aria fredda per la pressione generata dalla differenza di temperatura. Alcuni sistemi

di riscaldamento moderno, come le stufe ed i camini, stanno cercando di riproporre una attualizzazione dell'ipocausto sfruttandone il principio che è alla base.

L'acqua rappresenta da secoli uno degli elementi fondamentali per il controllo del microclima sia esterno che interno<sup>64</sup>. Le tecniche di raffrescamento tramite evaporazione trovano le loro radici in quei paesi dal clima caldo-secco, in cui l'acqua ha spesso assunto una valenza simbolica se non religiosa<sup>65</sup>. Le fontane trovavano posto al centro delle corti e dei patii a simboleggiare la sua centralità nella vita dell'uomo<sup>66</sup>. Laddove non era possibile installare una fontana zampillante, tipico della cultura araba era l'utilizzo del Salsabil<sup>67</sup>, una lastra di marmo, decorata con motivi ondulati a rievocazione dell'elemento, posta contro una parte interna di una nicchia. L'inclinazione permetteva all'acqua di gocciolare sulla superficie facilitandone l'evaporazione e aumentando così l'umidità dell'aria circostante.

Lo stesso patio rappresenta uno strumento di controllo microclimatico nel momento in cui scherma i raggi per evitare il surriscaldamento e mantenere gli ambienti freschi, in estate, o schermando i venti, in inverno. Il patio per il piano terreno, così come le logge per i piani superiori, ha da sempre rappresentato una zona filtro tra l'interno e l'esterno, che permetteva da una parte di proteggere l'abitazione e dall'altra di vivere gli ambienti esterni anche in quei periodi dell'anno in cui il clima non lo avrebbe permesso con facilità.

Altro sistema di protezione dal clima esterno, giunto fino a noi oggi, sono le schermature solari. Ci sono esempi di schermature solari sia nell'architettura classica antica (come i portici e le logge dell'architettura greca e romana), sia in quella vernacolare (cioè quella in cui il modo di costruire non segue uno specifico codice, ma si sviluppa naturalmente in conseguenza del luogo e del clima).

Nel clima caldo e umido in cui si è sviluppata l'architettura orientale, troviamo elementi orizzontali fortemente aggettanti che proteggono le facciate dell'edificio sia dal sole sia dalle intemperie, come ad esempio le case tradizionali giapponesi. Nell'architettura araba invece, tipica di un clima caldo e asciutto, troviamo facciate con aperture "ricamate" sulla struttura muraria esterna (Castrum) o griglie poste di fronte le aperture (Mashrabiya<sup>68</sup>), che hanno una doppia funzione, estetica e di elemento di controllo della radiazione solare. In origine Mashrabiya identificava quella parte dell'edificio aggettante, come una veranda o un bow-window, con aperture formate da grate lignee che permetteva di ottenere in maniera semplice un

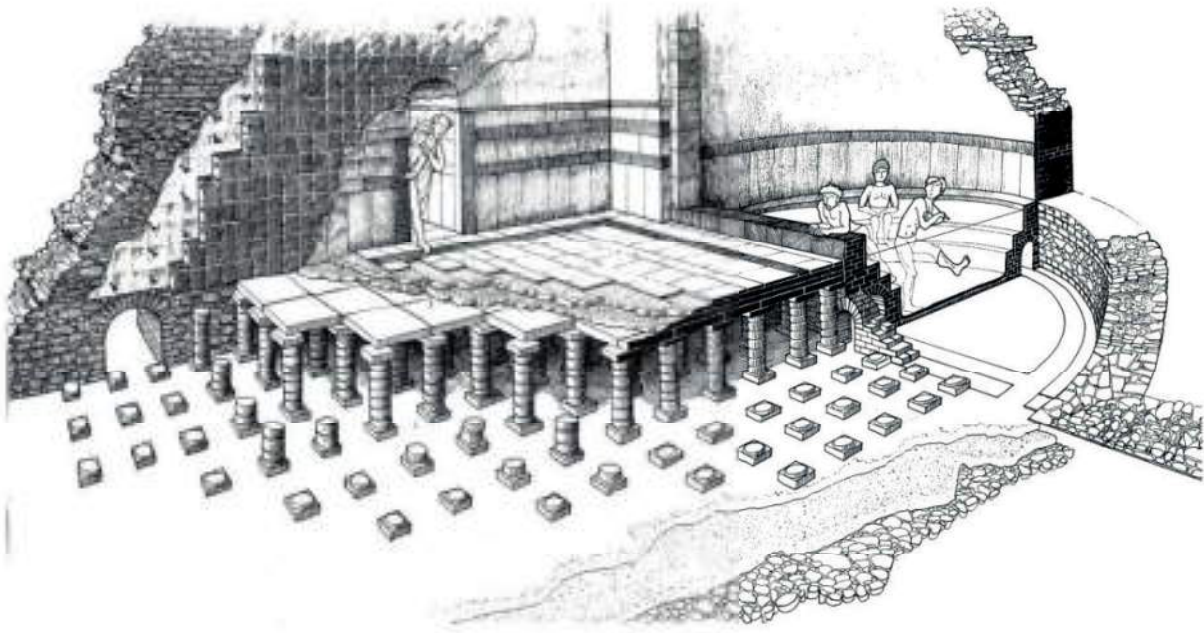
64. L'effetto dell'evaporazione del contenuto dell'acqua presente nell'aria viene utilizzato come pozzo termico naturale; il calore sensibile dell'aria viene ceduto alle molecole d'acqua sotto forma di calore latente, al fine di permetterne l'evaporazione. La quantità di calore sensibile assorbito dipende dalla quantità d'acqua che può essere fatta evaporare.

65. La sacralizzazione dell'acqua è dovuta al riconoscimento della sua fondamentale importanza per la comparsa e il mantenimento della vita sulla terra. La realtà oggettiva della sua indispensabilità biologica si è quindi riempita di contenuti mistici, metaforici e religiosi, tanto che in tutte le religioni ha assunto il ruolo di mediazione fra l'uomo e la divinità.

66. Nella tradizione mediorientale era generalmente di forma ottagonale con dei semicerchi agli spigoli a rievocazione della volta celeste.

67. Il Salsabil può essere interpretata come una trasposizione della sorgente, ma allo stesso tempo permette all'architetto di giocare con il design e farlo diventare un elemento di integrato nella progettazione.

68. La mashrabiya prende il nome da un particolare tipo di intaglio nel legno usato per le finestre come schermatura e costituisce un sistema tradizionale di



adeguato benessere igrometrico interno agli ambienti e che veniva generalmente usata come luogo in cui bere. Posizionata nelle aree più fresche, diventava luogo di raduni, di riposo e zona in cui sorseggiare bevande tutti insieme.

Oggi sono definite mashrabiye tutte quelle aperture schermate formate da grate di legno, discrete, utili ed eleganti, a trame più o meno fitte, che svolgono varie funzioni: una sorta di tessitura di separazione progettata per consentire all'aria e alla luce di filtrare tra gli spazi, al variare dell'intensità della trama, dell'altezza dello schermo e del luogo in cui viene collocata, che può svolgere funzioni termoigrometriche, ma anche di semplice schermatura solare.

Tecnologicamente la mashrabiya sfrutta le caratteristiche fisiche del legno, in base alle condizioni climatiche del luogo in cui si trova. Se il legno non è trattato o verniciato, è in grado di assorbire o rilasciare umidità<sup>69</sup>.

Un gruppo di architetti (Jean Nouvel con Pierre Soria e Architecture Studio) ha riproposto in chiave moderna la stessa tecnologia nell'Institut du Monde Arabe, aperto al pubblico nel dicembre 1987.

La sintesi tra la cultura occidentale e quella araba è visibile nella facciata a sud, dove l'edificio riprende i temi storici della geometria araba con 240 mashrabiya che ne compongono la facciata. Questi diaframmi si aprono e si chiudono con sofisticatissimi congegni meccanici azionati da computer che leggono per mezzo di cellule fotoelettriche il flusso luminoso esterno. Ad ogni cambio d'ora mutano l'aspetto della facciata in funzione dell'intensità di luce.

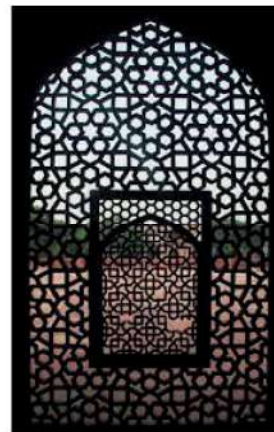
Nell'intercapedine fra i pannelli di vetro che compongono la facciata è infatti alloggiato un sistema di griglie che, replicando in chiave moderna motivi degli arabeschi geometrici della civiltà islamica, filtrano dinamicamente il flusso luminoso che raggiunge gli ambienti interni dell'Istituto.

Per quanto il clima del paese orientali a noi limitrovi si sia sempre prestato particolarmente alla ricerca di soluzioni bioclimatiche che riuscissero a migliorare il comfort soprattutto nelle stagioni estive, non mancano in ambito mediterraneo degli esempi di archetipi.

*\* Il concetto di mediterraneità non esprime una semplice condizione di appartenenza geografica, ma si riferisce più correttamente ad una chiara dimensione linguistica, che privilegia intenzionalmente alcuni principi a scapito di altri (...). La mediterraneità, più che*

raffrescamento passivo, tipico del Medio Oriente e del Nord Africa.

69. Secondo Hassan Fathy il controllo dell'umidità dell'aria esercitato dalla mashrabiya è dovuto al legno che la compone poiché esso assorbe l'umidità del vento durante la notte, per poi rilasciarla quando colpito dai raggi del sole, durante il giorno.



In alto un esempio di Mashrabiya tradizionale. In basso la rivisitazione di Jean Nouvel

*prerogativa di un contesto che dall'esterno limita e guida la pratica architettonica, risulta pertanto una qualità interna alla pratica del progetto di architettura."*

(Marzot 2003)

Il Mediterraneo è sempre stato uno spazio nel quale il concetto di identità nasce dai continui incontri, confronti e conflitti fra popoli tra loro molto diversi, che spesso si sono influenzati senza volerlo e senza rendersene conto. I continui scambi culturali, commerciali, politici o casuali incontri hanno fatto del *mare nostrum* un grandissimo centro nevralgico indispensabile per lo sviluppo e la crescita delle popolazioni. Ne viene con se che spesso ritroviamo in più culture somiglianze e influenze di derivazione straniera.

Le invarianti architettoniche sono rappresentate da caratteri morfologici e tecnologici alla base dello sviluppo delle architetture bioclimatiche, la cui efficienza era misurata sulla base del livello di comfort dei suoi abitanti. Le tipologie consolidate nel tempo e tutt'ora visibili ci mostrano come l'impostazione morfologica prevalente si fondi su di una cellula base attorno alla quale si sviluppavano gli ambienti di servizio, disposti a grappolo o in linea e disposti lungo l'orografia del terreno.

Il controllo microclimatico nel caso di edifici isolati era affidato a patii, pergole, giardini o logge, mentre all'interno di tessuti insediativi compatti erano i vicoli che di giorno ombreggiavano, mentre alla notte incanalavano le correnti fresche. Ugualmente anche le coperture svolgevano la fondamentale funzione di raccoglimento delle acque piovane. È il caso dei Trulli la cui copertura, rivestita con lastre calcaree (le chiancole), inclinata a 45° favorisce lo scolo delle acque piovane e la loro raccolta e conservazione in una cisterna posta sotto il trullo stesso. Questo tipo di costruzione rappresenta un caso emblematico di come il dover far fronte ad una necessità abbia influenzato la progettazione di un intero edificio.

La costruzione dei Trulli inizia con lo scavo di una cisterna di raccolta, protetta da muri calcarei e da una copertura a cupola che raccoglierà l'acqua piovana utile alla sua stessa alimentazione. L'intero manufatto è realizzato in pietra: i conci di medie dimensioni vengono utilizzati a secco, senza malta, per le spesse murature a doppio paramento. Tutta l'architettura del trullo è realizzata secondo criteri di buon senso che oggi definiamo "principi bioclimatici". L'unico ingresso è posto a Sud, riparato dal vento di tramontana, e le finestre sono poche e posizionate l'una di fronte all'altra, in modo



Sezione di un Trullo

da creare un naturale ricircolo d'aria. Gli spessi muri in tufo, che possono raggiungere i 3 metri, garantiscono una temperatura quasi costante durante l'anno, fresca d'estate e mite d'inverno. Allo stesso tempo le camere d'aria presenti tra un concio e l'altro funzionano da isolante. L'effetto combinato di questi due fenomeni consente di misurare temperature interne estive notevolmente più basse rispetto a quelle esterne (superiori ai 30° C).

L'utilizzo di una muratura dai spessori elevati (tra gli 80 e i 200 cm) non era quindi solo legato ad un'esigenza di tipo statico, bensì era utile per il mantenimento della temperatura interna degli ambienti. Il comportamento massivo della pietra permette di mantenere basse temperature in estate, sfasando e smorzando<sup>70</sup> il flusso di calore dovuto al soleggiamento<sup>71</sup>, e non disperdere calore in inverno.

L'impiego di intonaci chiari nelle murature esterne, specie se orientate a meridione, contribuisce a proteggere ulteriormente la struttura dal surriscaldamento estivo: il basso valore di assorbimento del colore consente di allontanare parte della radiazione solare incidente, attenuando così le temperature superficiali esterne dell'involucro.

Un altro valido esempio di sfruttamento e adattamento alle peculiarità del sito scelto per l'insediamento è rappresentato dai Sassi di Matera, un insieme di circa 3000 abitazioni quasi interamente scavate in un banco tufaceo. Grotte naturali si alternano a quelle artificiali, utilizzate per realizzare abitazioni più articolate.

Il complesso non nasce come unità abitativa ma dalla necessità di raccogliere le acque piovane e avere degli orti per l'agricoltura. Solo in un'epoca successiva, quando il sito era più salubre allora alcune cisterne furono modificate in abitazioni, mentre altri alloggi verranno scavati nella roccia<sup>72</sup>.

Lo sviluppo delle grotte artificiali in obliquo con un andamento a ferro di cavallo consente in inverno ai raggi del sole di penetrare fino in fondo, scaldando e illuminando gli ambienti, mentre il sole alto estivo raggiunge solo l'ingresso.

Di notte le cavità funzionano da "accumulatori" di umidità atmosferica che, condensandosi nelle cisterne terminali degli ipogei, rimane disponibile come scorta d'acqua, anche in assenza di canalizzazioni. Alcuni Sassi presentano più di dieci cavità sovrapposte, collegate fra loro attraverso pozzi e dispositivi di aerazione in verticale.

Altri importanti esempi di architettura bioclimatica sono i Dammusi e il giardino murato di Pantelleria. Per circa 500 anni l'isola di Pantelleria fu abitata dagli Arabi, che ne cambiarono il paesaggio

70. La smorzatura attenua l'escursione termica esterna, mentre la sfasatura ritarda il tempo con cui viene avvertita all'interno tale escursione attenuata

71. Maggiore è l'inerzia termica, minore sarà la velocità con cui la temperatura interna aumenta o diminuisce, in risposta ad una variazione della temperatura esterna. L'inerzia termica di una muratura è la capacità che questa ha di accumulare e rilasciare calore nel tempo, contribuendo al contenimento delle oscillazioni della temperatura dell'ambiente interno è data dall'azione combinata di attenuazione e sfasamento dell'onda termica sinusoidale che attraversa la parete quando questa viene riscaldata. Questi due effetti dipendono dalla sua massa frontale e dalla conduttività dei materiali che la costituiscono.

72. Il tufo estratto in fase di cava viene usato per chiudere l'ingresso e per rivestire la cavità interna, voltandola a botte. Durante questa fase costruttiva prende piede il cosiddetto "lamione" ovvero la cellula base, addossata alla grotta e voltata, anch'essa a botte, che costituisce un prolungamento della grotta verso l'esterno.



Vista dei Sassi di Matera.

creando dei terrazzamenti per la coltivazione di viti e ulivo. Questa operazione di "bonifica" mise a disposizione un quantitativo di pietre di origine lavica che venne utilizzata anche per costruire le tipiche abitazione pantesche: i dammusi.

La tecnica di realizzazione dei muri; mediamente larghi 80 cm, consiste nella creazione di due paramenti di conci di pietra sbozzata con riempimento di pietrame minuto, che veniva costipato. Sostanzialmente una muratura a sacco priva di legante, che risultava considerevolmente compatta e refrattaria a caldo e rumore.

Il dammuso si mostra come un'abitazione quasi completamente chiusa all'esterno, non presentando delle vere e proprie finestre bensì delle piccole feritoie, con dimensioni di 40x50 cm, posizionate a circa 180 cm da terra, così da permettere l'illuminazione diurna e facilitare il raffrescamento naturale degli ambienti interni durante la notte.

La ventilazione naturale è aiutata dalla canna fumaria del focolare che favorisce, con moti ascensionali, l'espulsione dell'aria calda per richiamarne di fresca dalle piccole aperture. La copertura è a cupola, con uno spessore totale compreso tra i 35 e i 40 cm. E' realizzata in pietra, ricoperta da uno strato di terra rifinito con un impasto impermeabilizzante e isolante di pomice vulcanica, tufo rosso e latte di calce. La conformazione a cupola contribuisce a mantenere fresca la parte bassa dell'abitazione, raccogliendo l'aria calda verso gli strati alti, in prossimità della copertura. Alcune volte i dammusi sono esternamente protetti, a Sud, da un ampio portico con due archi a tutto sesto o da pergole di vite.

Quasi sempre accanto ad un dammuso si trova una costruzione di forma tronco-conica in pietra lavica, accessibile da un piccolo ingresso, chiamato "jardinu" dentro la quale si coltivano alberi da frutto, protetti così dall'incessante vento che batte l'isola. Il muro di recinzione, alto generalmente 4 metri per 2,5 di spessore forniva anche il giusto ombreggiamento in modo da evitare l'evaporazione dell'acqua presente nel sottosuolo, data dalle piogge invernali e dalla condensa notturna.

A partire dal XIII secolo fu la costa di Amalfi ad essere interessata da interventi che ne cambiarono la conformazione e iniziarono a renderla così come oggi la vediamo. Grazie all'utilizzo dei terrazzamenti l'uomo è riuscito a rendere coltivabili e abitabili i pendii scoscesi che la caratterizzano. L'opera umana, così organicamente integrata con il contesto, si è conservata a tal punto che l'edilizia moderna risulta fortemente dipendente da quella tradizionale. La particolarità

del sito sono i sistemi a volta che si ripetono, realizzati in battuto di lapillo e latte di calce. Evidente è l'influenza del mondo arabo nel sistema costruttivo, a tal punto che lo stesso Pane descrivendoli dirà come le forme esterne della tradizione latina e bizantina "accolsero con favore l'influenza della decorazione araba" (Pane 1965).

Lo schema costruttivo è quello di un semplice parallelepipedo su due livelli, generalmente, con le superfici esterne lisce, ma la copertura molto movimentata grazie alle volte estradossate. Sul lato posteriore la fabbrica risulta addossata al terreno, mentre è sul prospetto anteriore che si aprono porte e finestre, dei cui ornamenti oggi non rimane quasi nulla.

Gli ambienti erano orientati nella direzione EO seguendo l'orografia del terreno e il ricordo al sesto ribassato, che permetteva di avere una volta appunto più bassa di un sesto permetteva di contenere i volumi, avendo così un ambiente relativamente facile da riscaldare, nei mesi invernali e una copertura in grado di reirraggiare maggiore calore rispetto a quella piana o a falda, durante i mesi estivi.

Pur rappresentando un esempio di architettura vernacolare, quello che desta attenzione è il ridotto spessore delle strutture verticali rispetto alla prassi. In realtà grazie alla particolare tecnica costruttiva utilizzata, il battuto di lapillo<sup>73</sup>, si poteva ottenere delle strutture a spessore ridotto, ma con una alta densità, buona impermeabilità alle piogge e capaci di schermare i raggi solari incidenti sulle superfici voltate.

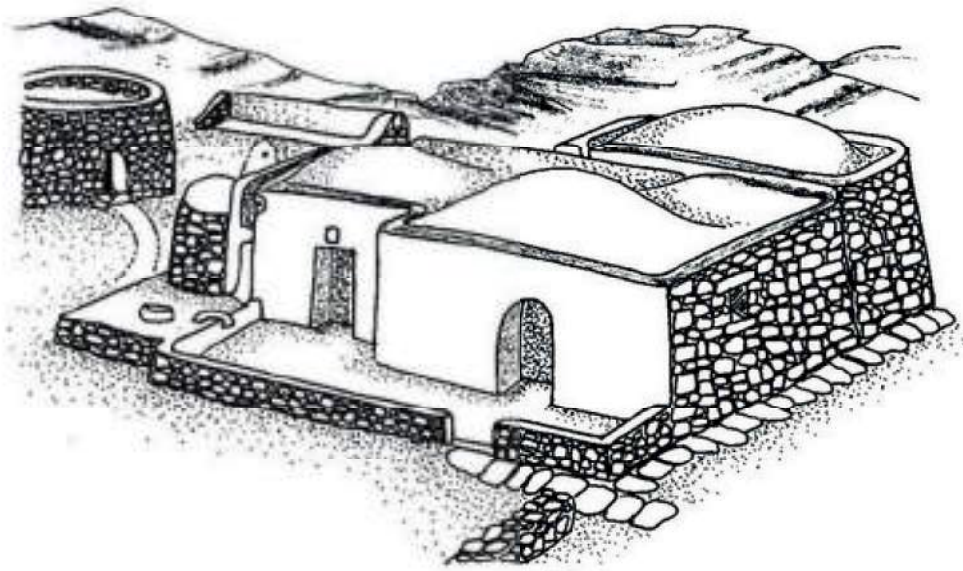
Come ultimo esempio è utile citare una struttura molto particolare ed ipogea diffusa in seguito all'occupazione musulmana della città di Palermo. Si tratta di antiche strutture sotterranee chiamate Camere dello Scirocco, grotte artificiali finemente decorate e piastrellate utilizzate nelle ville palermitane tra il XVI e il XVIII secolo per allietare il soggiorno estivo della nobiltà cittadina. Erano delle vere e proprie stanze interrato o seminterrate scavate nella roccia al di sotto dei palazzi oppure nei giardini delle ville, con una copertura di terra di almeno due metri, lucernari per l'illuminazione naturale e canali con aperture per la ventilazione, talvolta collegati con grotte naturali. Venivano utilizzati nel periodo caldo dello scirocco, con abbattimento misurato delle temperature da 33°C a 25 °C. Bastava infatti una grotta artificiale, una sorgente acquifera, un pozzo di ventilazione e che la fisica facesse il suo corso: l'abbassamento della temperatura dell'ambiente era infatti legato all'evaporazione dell'acqua sorgiva che, attraverso l'effetto di tiraggio di un pozzo di aerazione, provocava un piacevolissimo effetto refrigerante all'in-

73. Le maestranze locali realizzavano i "battuti" a partire da una miscela di pomice locale, inerti e calce spenta da otto giorni, mescolata più volte e lasciata riposare per diverse ore. Una volta preparata la miscela, la si stendeva sull'estradosso delle volte, in uno strato di circa 15 centimetri e «non si cominciava a battere che 24 ore dopo, affinché abbia acquistata la consistenza e fermezza sufficiente a potervi camminare sopra» (da L. RAGUCCI, Principi di pratica di Architettura, seconda ediz., Napoli 1859, p. 299.).



Vista delle case a volta della costa di Amalfi

terno della Camera, permettendo ai presenti di godere del fresco anche nei giorni particolarmente afosi, quando all'esterno imperversava il temibile scirocco, comodamente seduti su appositi sedili intagliati nella pietra calcarenitica o passeggiando lungo tutta la superficie della fresca stanza. Si trattava dunque di un sistema di air conditioning ante litteram, che sfruttava solo le risorse naturali del sottosuolo.



23.



24.



## CAPITOLO 3 L'INVOLUCRO COME *MEDIUM*

### ABSTRACT

Da sempre l'uomo ha costruito pensando agli scambi reciproci con il contesto e ha progettato i suoi "rifugi" in relazione a quello che il luogo offriva, sperimentando sull'involucro le potenzialità della tecnica. Nella ricerca di un benessere e confort abitativo, ha saputo sfruttare e valorizzare le risorse naturali e ambientali fin dai tempi più remoti; interpretare le caratteristiche bioclimatiche del luogo e per ogni particolare sito trovare adeguate risposte e adattamenti nel modo di concepire e organizzare la propria casa; ha saputo con tecnologie semplici rendere gradevole l'abitare ricorrendo alle uniche fonti possibili: energia solare e energia da combustibili principalmente di origine vegetale e, quindi, rinnovabili (Rizzi 2006).

La conoscenza approfondita del comportamento tipo-morfologico dell'edificio e la comprensione delle caratteristiche materiche del sistema costruttivo dell'involucro, medium tra interno ed esterno, si affermano come fondamentale step per una progettazione consapevole di riuso e riqualificazione dell'organismo architettonico stratificato. Si pone, quindi, come fondamentale approccio al progetto di conoscenza, l'approfondimento dei principali metodi di indagine preliminare, non distruttivi, per costruire un quadro di riferimenti, non sempre disponibile in fase di progetto, che garantiscano una corretta comprensione dei comportamenti dell'edificio nella sua interezza, per avviare una successiva ipotesi di progetto coerente e integrata, assicurando livelli di benessere termoisometrico, olfattivo (legato alla qualità dell'aria), visivo (relativo all'illuminazione) e psicologico adeguati e appropriati.

I metodi tradizionali, dall'osservazione diretta al rilievo strumentale, sono associati a strumentazioni "fisiche" quali la termografia, le analisi termoflussimetriche e i carotaggi (per l'identificazione quantitativa del dato) e virtuali attraverso l'utilizzo di modelli (software di simulazione dinamica) o ricostruzioni in camera climatica (per la qualificazione dei comportamenti fisici dei sistemi costruttivi in presenza o assenza di fruitore).



### 3.1 Conoscere l'involucro: controllo del comfort indoor

Il processo di conoscenza dell'involucro storico è il presupposto necessario per una corretta progettazione degli interventi di riqualificazione dell'edificio.

Come sappiamo in passato l'uomo ha sempre costruito instaurando un rapporto di reciproco scambio con l'ambiente che lo circondava, per cui ne derivava che l'edificio, la sua conformazione, geometria, materiali e orientamento erano il frutto di scelte ben precise che dovevano sia rispondere alle richieste del committente, ma adattarsi alle peculiarità del sito.

Con l'avvento della Rivoluzione Industriale e la possibilità di avere a disposizione tecnologie costruttive sempre più avanzate e mezzi supplementari per la gestione del comfort degli spazi interni, il rapporto con il contesto è divenuto secondario e talvolta per nulla considerato.

Le città di oggi sono dunque il frutto di una commistione di edifici, alcuni pensati per lavorare con ciò che li circondava, altri completamente avulsi dal contesto e il risultato è un assetto urbano quasi mai studiato per sfruttare al meglio le potenzialità del luogo, che va ad influire anche su quegli edifici che in epoche passate erano energeticamente indipendenti perché pensati in un ambito completamente differente da quello attuale.

Se a questo aggiungiamo la continua evoluzione della società in cui viviamo e con essa il cambiamento del concetto di comfort, ci rendiamo conto che non solo sono andate spesso perse le caratteristiche passive degli edifici esistenti per via dei nuovi assetti urbanistici delle città, ma anche le richieste degli utenti sono sempre maggiori e talvolta in contrasto con le caratteristiche dell'edificio storico.

Essendo l'involucro l'elemento di filtro tra l'ambiente interno e quello esterno, indagare a fondo le sue caratteristiche è il primo passo per la conoscenza della potenzialità e limiti verso cui potrà tendere il progetto sull'edificio storico, al fine di garantire una corretta fruizione della struttura da parte degli utenti.

Il comfort è definibile come la sensazione di benessere fisico e mentale o come la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione

74. Norma ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers. Gli ambienti nei quali è possibile raggiungere una condizione di comfort termoigrometrico vengono definiti "moderati", in contrapposizione agli ambienti detti "severi", caratterizzati da condizioni ambientali tali da non rendere possibile il raggiungimento del benessere termico, è il caso di particolari ambienti lavorativi in cui l'individuo viene esposto a condizioni di microclimatiche estreme (industria metallurgica, industria del vetro, etc.).

75. Misurata ad un'altezza di 0.6 m circa dal pavimento in considerazione del fatto che un individuo trascorre la maggior parte del tempo in un ambiente confinato stando seduto.

76. La temperatura media radiante è definita come la temperatura di un ambiente fittizio, caratterizzato da pareti aventi tutte la stessa temperatura superficiale, nel quale un individuo scambierebbe lo stesso flusso radiativo che scambia nell'ambiente reale (nel quale ogni parete ha una propria temperatura):  $T_{4\text{mr}} = \sum_i F_{p-i} t_i^4$  con  $t_i$  = temperatura della generica superficie isoterma di solido (parete, suppellettile, altra persona, ecc.) che vede il soggetto, misurata in °C;  $F_{p-i}$  = fattore di vista tra il soggetto e la generica superficie isoterma di solido.

77. L'effetto dell'umidità relativa cresce in funzione dell'attività svolta dall'individuo, aumentando la sensazione di calore a parità di temperatura.

nei confronti dell'ambiente che lo circonda. In generale una persona si trova in stato di benessere quando non percepisce nessun tipo di sensazione fastidiosa ed è quindi in una condizione di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante. Già dalla definizione è chiaro che il benessere è una quantità non misurabile analiticamente ma solo statisticamente perché dipende da troppe variabili di cui alcune strettamente soggettive e di natura psicologica.

Le variabili sono:

- Benessere termico e igrometrico;
- Benessere olfattivo (legato alla qualità dell'aria);
- Benessere visivo (relativo all'illuminazione);
- Benessere psicologico.

Dal punto di vista termico sappiamo che affinché un individuo raggiunga una condizione psicofisica soddisfacente nei confronti dell'ambiente in cui si trova, la sua temperatura corporea dovrà assestarsi intorno ai 37°C, questa condizione verrà percepita come comfort termico<sup>74</sup>. Per raggiungere questa condizione ci dobbiamo affidare a parametri ambientali oggettivi misurabili sperimentalmente, che fanno riferimento ad uno spazio confinato e grazie ai quali è possibile fare una previsione su quella che sarà la sensazione di comfort provata dagli occupanti.

Temperatura dell'aria (°C)<sup>75</sup>, la temperatura media radiante (°C)<sup>76</sup>, la velocità dell'aria (m/s), l'umidità relativa(%)<sup>77</sup> e pressione atmosferica (Pa) sono i parametri fisici attraverso i quali si può determinare se un ambiente è in grado di fornire le condizioni ottimali al suo utilizzo.

A questi vanno aggiunti i parametri esterni, ovvero l'abbigliamento (cio: 1 clo = 0.155 m<sup>2</sup>K/W) e l'attività fisica (met: 1 met = 58.1W/m<sup>2</sup>) svolta all'interno dell'ambiente che stiamo analizzando; i fattori organici, quali età, sesso, caratteristiche fisiche individuali; i fattori psicologici e culturali<sup>78</sup>.

L'effetto congiunto di tali variabili influenza il sistema di controllo termico degli individui che, tramite un'opportuna regolazione del calore ceduto dal corpo attraverso la pelle e la respirazione, tende a mantenere la condizione di equilibrio termico<sup>79</sup>.

I metodi di analisi bioclimatica definiscono, per il tipo di attività svolta e per il relativo abbigliamento adottato, il perimetro della zona di benessere termico, inteso come il luogo dei fattori climatici

ambientali, entro il quale la sensazione termica è giudicata confortevole da oltre l'80 % delle persone.

I diagrammi principali sono:

- Diagramma bioclimatico di Olgyay;
- Diagramma psicrometrico-bioclimatico o di Milne-Givoni.

Olgyay definisce il benessere come "la situazione in cui non viene provata alcuna sensazione di disagio". La zona di comfort varia al variare delle condizioni ambientali. Sono presi in considerazione variabili ambientali (temperatura dell'aria, umidità, movimento dell'aria, calore radiante) e parametri soggettivi (attività svolta, abbigliamento, acclimatizzazione).

Olgyay raccoglie i risultati di molte ricerche tendenti a determinare in termini numerici il concetto di benessere e li elabora per primo nel 1963 in un unico diagramma definito bioclimatico.

Il diagramma è costituito da una zona comfort posta al centro costituita da due sotto-zone: quella estiva e quella invernale, posta leggermente al di sotto per via delle temperature più basse. Per capire in quale è punto del diagramma collocarci è necessario conoscere la temperatura e l'umidità relativa, assumendo come costanti l'attività e l'abbigliamento<sup>78</sup>. Se, per esempio, il punto determinato si trova al di sopra della zona di comfort, allora sarà necessaria una ventilazione, secondo Olgyay, oppure un raffrescamento tramite evaporazione, in caso di caldo secco, in quanto si ha bisogno di una certa quantità di vapore acqueo per umidificare l'ambiente. Nel diagramma si possono riportare le condizioni climatiche del luogo considerato mettendo in evidenza le "criticità climatiche" in relazione al comfort. Sul diagramma si possono effettuare le "registrazioni bioclimatiche", ossia tracciare delle linee chiuse corrispondenti al raccordo dei punti delle 24 ore del giorno medie mensile per una data località. La forma e la disposizione di queste 12 linee (una per mese) danno la caratterizzazione bioclimatica del sito.

Il limite di questo diagramma è quello di non considerare l'involucro, per questo motivo è inefficace per edifici di grande massa, in cui la temperatura interna, soprattutto in climi caldi e secchi è molto diversa da quella esterna, anche in assenza di impianti.

Per ovviare a questa mancanza, Baruc Givoni nel 1969 propone un nuovo diagramma bioclimatico (Building Bio-Climatic Chart) basandosi sul diagramma psicrometrico ASHRAE<sup>79</sup> e cercando di inte-

78. In base alle condizioni sociali e ambientali si possono trovare diversi gradi di accettazione di situazioni non confortevoli. Infatti trovandosi in una prolungata situazione di disagio si possono ritenere "normali" anche situazioni ambientali che in contesti diversi sarebbero giudicate di malessere. In una civiltà evoluta come la nostra si richiede invece un elevato grado di confort.

79. Tale situazione è descritta dall'equazione:  $S = M - W - E - C - R - E - K$ . Dove:

- S rappresenta l'accumulo di calore, o variazione di energia interna del corpo umano, nell'unità di tempo (W);

- M è il metabolismo energetico (W);

- W è la potenza meccanica che il corpo umano cede all'ambiente circostante (W);

- Eres rappresenta la potenza termica ceduta durante la respirazione sotto forma di calore latente (W);

- Cresè la potenza termica ceduta durante la respirazione sotto forma di calore sensibile (W);

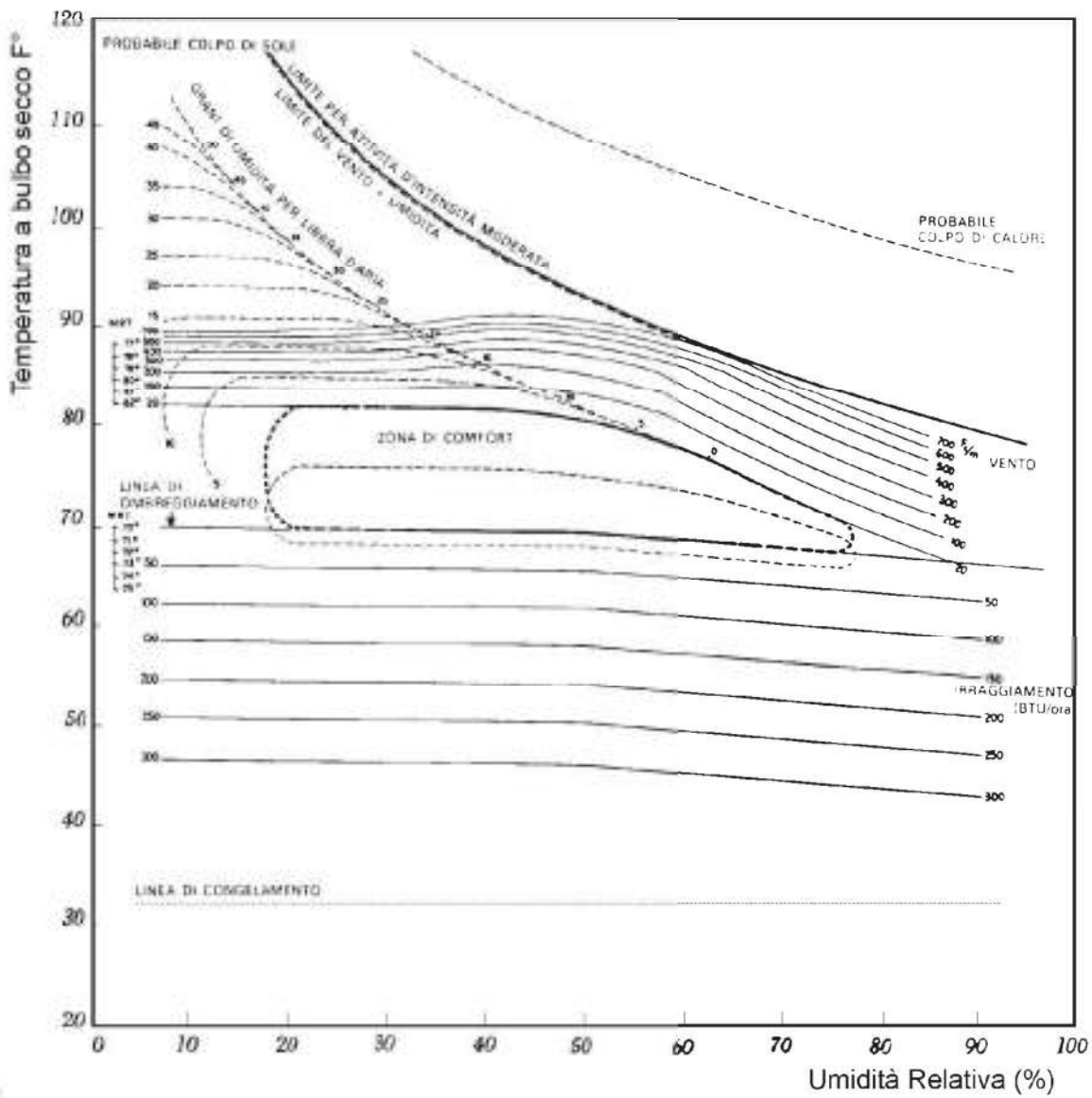
- C è la potenza termica scambiata per convezione dalla superficie esterna del corpo (W);

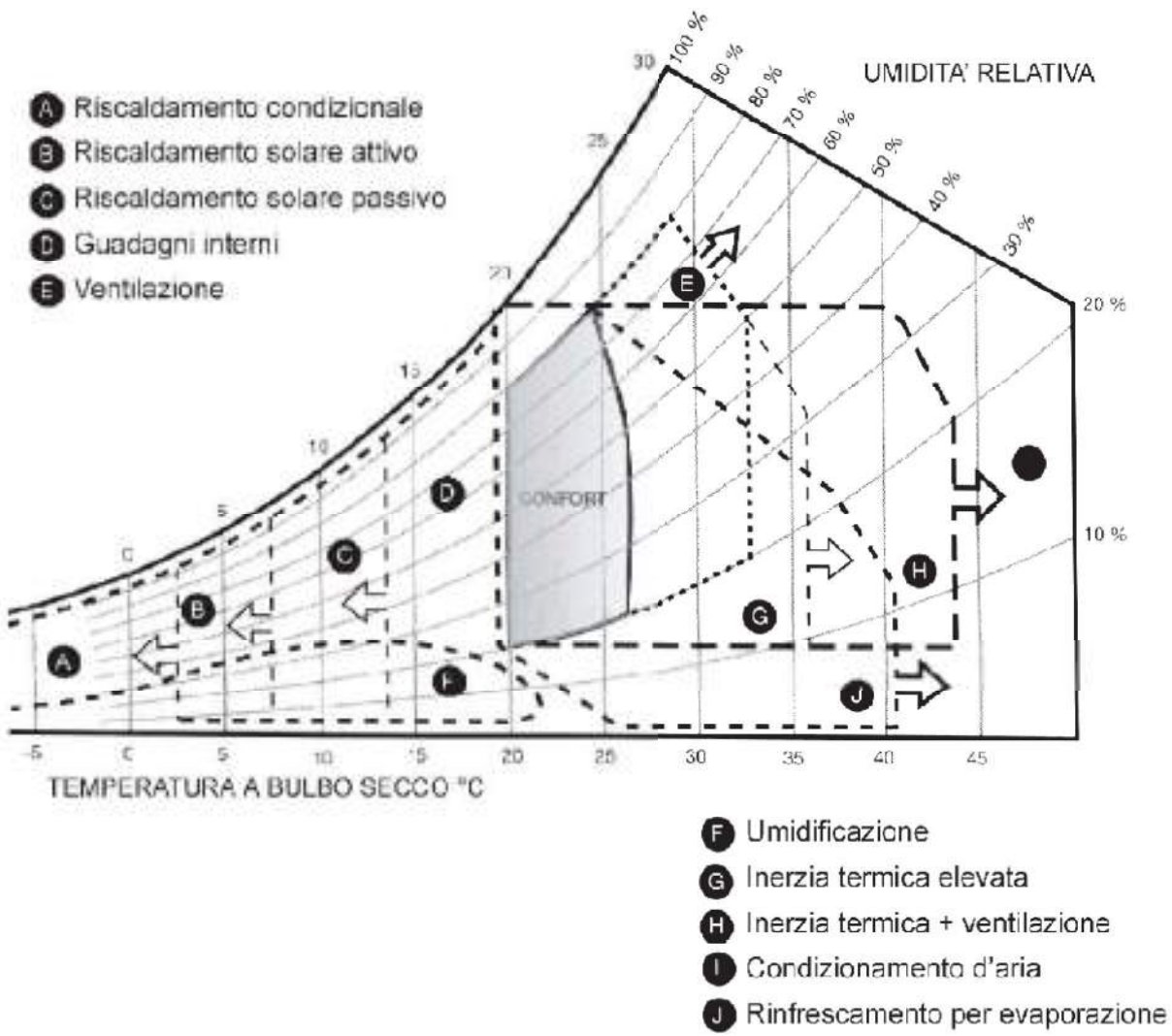
- R rappresenta la potenza termica scambiata dalla superficie del corpo per irraggiamento (W);

- E è la potenza termica dispersa per evaporazione della pelle (W);

- K è la potenza termica dispersa per conduzione (W).

80. Nel 1980 il "diagramma bioclimatico" viene perfezionato da Arens mediante un diagramma psicrometrico in cui vengono





individuare zone di confort differenziate a seconda del livello di vestiario e dell'attività che viene svolta.

① L'ASHRAE è l'International technical society organized to advance the arts and sciences of heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration.

Didascalie alle immagini.

25. Diagramma bioclimatico per gli abitanti della zona temperata degli USA, valido per un'altezza non sup. ai 500 m e per persone con abiti da casa leggeri, intenti in attività sedentarie e acclimatati alle condizioni della località esaminata (Olgay V. 1990).

26. Carta bioclimatica di Givoni in cui si evidenziano le strategie da perseguire per rientrare nella zona di confort. (AA VV, Architecture solaire Passive pour la région méditerranéenne).

grare il fattore edificio in modo efficace.

Il diagramma psicrometrico dell'ASHRAE mostra sulle ascisse le temperature dell'aria (misurate con un termometro a bulbo secco) mentre sulle ordinate l'umidità specifica (o contenuto igrometrico del vapor d'acqua nell'aria) espresso in gr H<sub>2</sub>O/ Kg aria secca. La zona di confort è individuata lì dove non è necessario alcun intervento al di fuori della protezione dal sole diretto in estate e l'isolamento termico in inverno.

**A. RISCALDAMENTO CONVENZIONALE:** zona molto fredda in cui solo un sistema di riscaldamento a combustibili può risultare efficace.

**B. RISCALDAMENTO SOLARE ATTIVO:** il calore necessario può venire da un sistema solare attivo con un sistema convenzionale di scorta.

**C. RISCALDAMENTO SOLARE PASSIVO:** se si ha anche un buon isolamento si può fornire energia attraverso un sistema solare passivo o ibrido attivo-passivo, sempre con un sistema di scorta per i periodi nuvolosi

**D. GUADAGNI INTERNI:** per il confort è sufficiente il calore prodotto dall'uomo e dagli apparecchi elettrici all'interno di una stanza.

**E. VENTILAZIONE:** con temperatura e umidità elevata il confort può essere ottenuto per evaporazione diretta della traspirazione solo se il movimento dell'aria è sufficiente.

**F. UMIDIFICAZIONE:** oltre al riscaldamento bisogna umidificare l'aria.

**G. INERZIA TERMICA:** situazione tipica dei climi caldi e secchi con notti fredde e secche in cui rinfrescando l'ambiente di notte (è necessaria grande inerzia della struttura muraria) si accumula il fresco necessario alla giornata seguente.

**H. INERZIA TERMICA E VENTILAZIONE:** situazione tipica di molte regioni mediterranee in cui la temperatura notturna non scende a sufficienza per rinfrescare l'edificio il giorno seguente ed è necessario ricorrere a ventilazione attiva o passiva per estrarre il calore in eccesso.

**I. (I) CONDIZIONAMENTO DELL'ARIA:** i sistemi naturali non sono sufficienti ed occorrono sistemi di condizionamento meccanici.

**J. (J) RINFRESCAMENTO PER EVAPORAZIONE:** si può rinfrescare fornendo umidità (fontane, micro-spruzzatori, ecc.).

Tabella dei limiti medi per condizioni igrotermiche considerate ottimali (Melino C. 1992).

	ESTATE	INVERNO
Temperatura dell'aria	26 °C	20 °C
Umidità relativa	30 % < U < 60 %	30 % < U < 50 %
Velocità dell'aria	0,1-0,2 m/s	0,05-0,1 m/s
Temperatura effettiva	20-22 °C	16-18 °C

Alle indagini energetico-ambientali, in fase di progetto vanno anche affiancate le analisi diagnostiche sui materiali che compongono l'involucro, in quanto è fondamentale su di un edificio esistente comprendere in che modo questi influenzano e sono influenzati dai fattori esterni. L'obiettivo primario quando si lavora con un edificio storico è sfruttare al massimo le potenzialità insite nella struttura riducendo il più possibile gli interventi correttivi meccanici, come il riscaldamento invernale o il condizionamento estivo.

Un'approfondita conoscenza dello stato di fatto dell'opera edilizia, su cui si dovrà intervenire, costituisce la base per ottenere le informazioni necessarie per delineare una progettazione corretta ed adeguata. Quindi se da un lato si contestualizza il bene nell'ambiente, dall'altro si considerano gli aspetti materici, nell'ambito della quale si sviluppa la caratterizzazione dei materiali costitutivi lo stato di conservazione dell'opera.

Le prove sull'involucro possono essere di due tipologie: distruttive e non distruttive.

Le prove non distruttive sono quelle i cui mezzi per svolgerle non recano danno alcuno alla struttura né risultano invasive o pericolose per la conservazione del manufatto. Le prove distruttive, tra cui ricordiamo i carotaggi, sono quelle che producono un'alterazione nella struttura e per questo motivo non sempre sono una via percorribile. Generalmente queste ultime sono volte ad una conoscenza diretta ed approfondita dei materiali e della stratigrafia che compone la struttura, che in altri modi risulta difficile se non impossibile da vedere.

Lavorare su un involucro storico impone quindi il considerare dei vincoli, che sommati alla volontà di introdurre elementi di sostenibilità nel progetto comportano l'inserimento di un ulteriore elemento di valutazione nel processo progettuale.

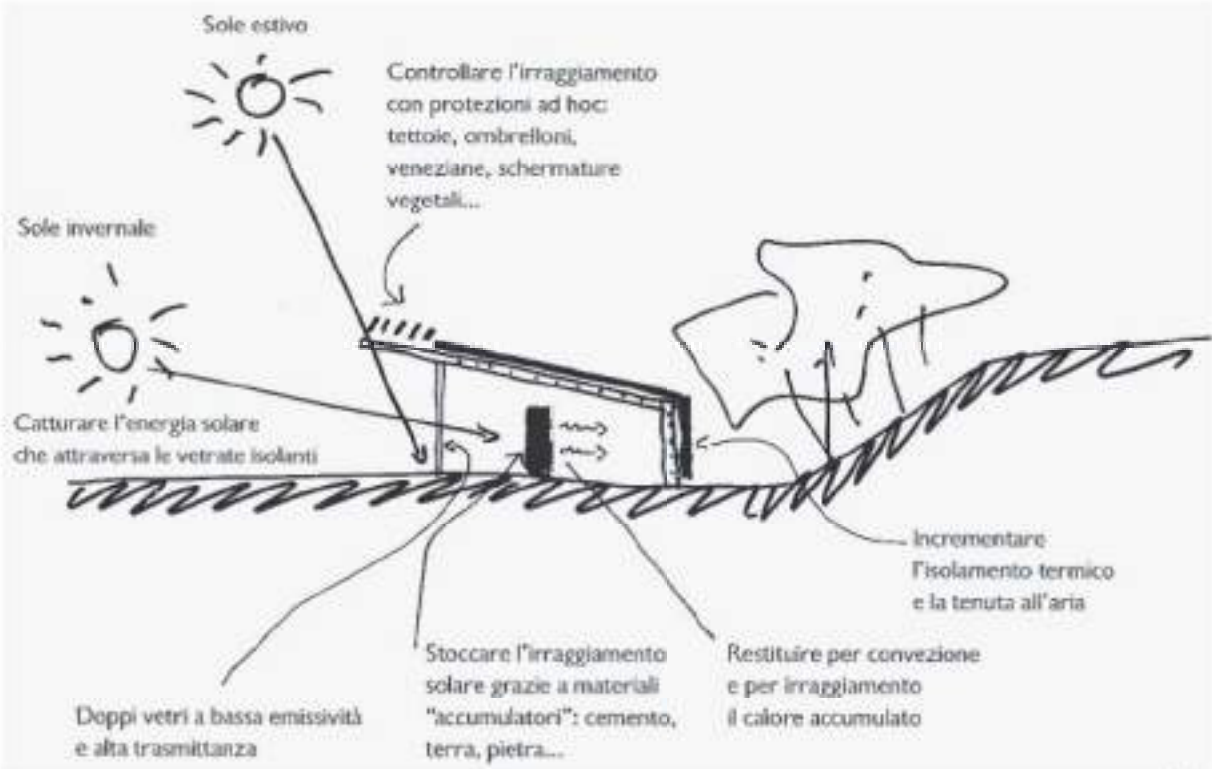
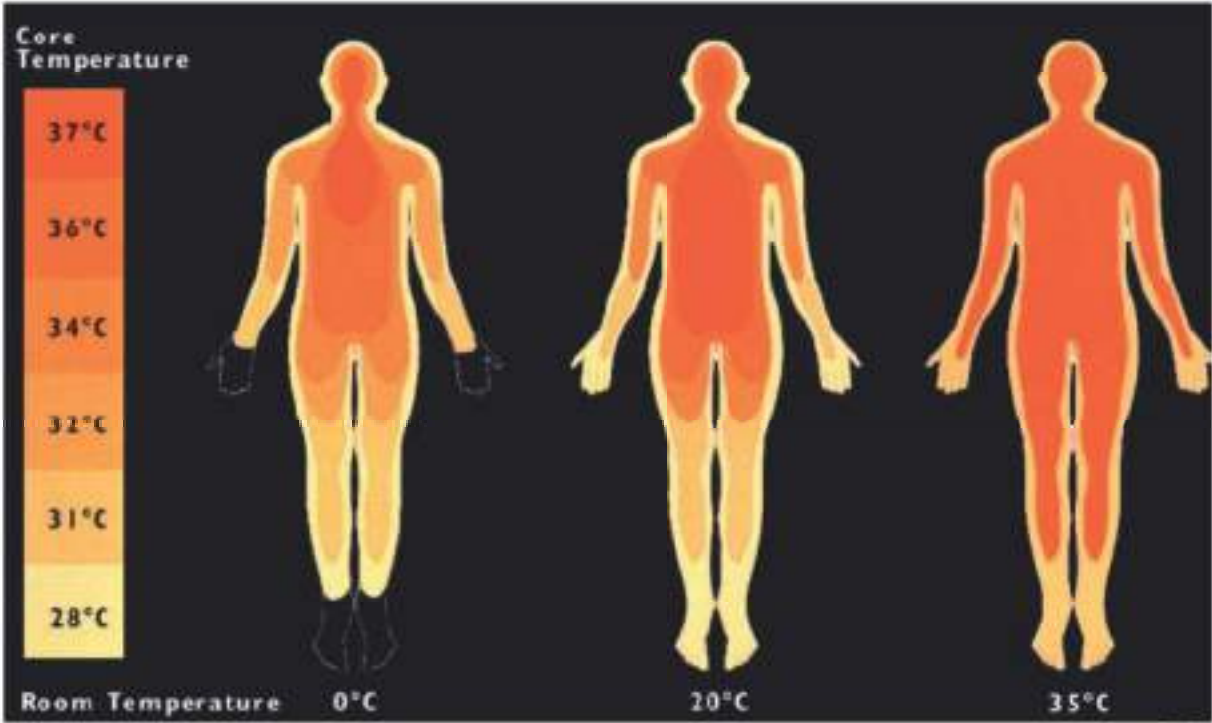
Solo quindi una duplice approfondita analisi, dal punto di vista dell'innovazione tecnologica e della limitata trasformabilità imposta dalla conservazione dei valori, potrà portare ad ipotizzare un intervento che non sminuisca, ma enfatizzi l'identità culturale di cui l'edificio si fa portatore.

L'involucro nasce fin da principio con lo scopo di proteggere l'edificio e i suoi occupanti e come tale è sempre stato uno strumento attivo di sfruttamento delle risorse ambientali per il controllo del comfort e del microclima interno. Da questo punto di vista una buona conservazione dei materiali che lo compongono è fondamentale per garantire il mantenimento delle prestazioni nel tempo e non alterarne gli equilibri. La funzione di filtro che da sempre gli è stata assegnata non era svolta solo perché rappresentava un elemento di transizione tra uno spazio materialmente definito e uno idealmente definito, ma era diretta conseguenza della tecnologia costruttiva e della consistenza materica che veniva appositamente scelta per il ruolo che avrebbe ricoperto, definendolo un elemento "passivo".

Didascalie alle immagini.

27. Variazioni delle temperature interne del corpo umano in conseguenza degli adattamenti alla temperatura ambientale (termoregolazione). Fonte: Transsolar Energietechnik GmbH, Stuttgart - München - New York.

28. Los principios bioclimáticos. Dibujo Jean Yves Barrier.





## 3.2 Rilevamenti *in situ*. Conoscenza diretta di componenti e comportamenti dell'edificio

Intervenire su un edificio storico vuol dire prima di tutto attuare un processo di conoscenza preliminare che passa attraverso lo studio dei caratteri tipo-morfologici, tecnici, costruttivi e materici dell'edificio stesso, in quanto ogni decisione che prenderemo porterà inevitabilmente alla formulazione di un giudizio storico sugli avvenimenti precedenti, che giustificano l'operazione da compiere oggi e si fanno portatori di un orientamento pratico (Benevolo, 2001).

Operativamente parlando non è pensabile ipotizzare nessun tipo di intervento su di un manufatto esistente senza prima aver raccolto una serie di informazioni che andranno a compilare il nostro quadro delle conoscenze al riguardo. La risoluzione di un qualsiasi problema richiede infatti l'acquisizione di una serie di informazioni.

Le indagini in sito hanno le seguenti finalità:

- Ricostruire la struttura stratigrafica della muratura attraverso operazioni che vanno dal rilievo, alla termografia, all'eventuale prelievo di carote;
- Eseguire prove per la determinazione delle proprietà meccaniche e fisiche;
- Monitorare la struttura.

L'ampiezza del programma delle indagini sarà commisurata all'importanza dell'opera ed alla sua fase di progettazione e l'interpretazione dei risultati delle indagini servirà per sviluppare delle ipotesi circa la struttura su cui dobbiamo lavorare.

### RILIEVO DIRETTO E INDIRETTO

La prima raccolta delle informazioni passa sempre per la diretta osservazione dell'oggetto di studio: un'accurata analisi visiva degli elementi costruttivi è un primo passo per confutare e mettere a sistema le informazioni (a volte scarse) derivate dalla letteratura di riferimento.

Si distinguono due tecniche fondamentali: il rilievo diretto e il rilie-

vo indiretto. Con la prima definizione s'intende che il rilievo comporta operazioni di misurazione a diretto contatto con i manufatti da documentare, e quindi immediatamente verificabili nei loro valori metrici; si usano strumenti semplici che vengono stesi lungo le superfici degli oggetti da riprodurre o nelle loro vicinanze per misurare lunghezze e per impostare allineamenti (fettucce metriche, fili a piombo, cordini, livelle). Con la definizione di rilievo indiretto si intende invece che le misurazioni vengono effettuate con degli strumenti ottici, meccanici o informatici di grande precisione le quali comportano una serie di calcoli più o meno complessi al fine di ottenere una traduzione grafica degli oggetti rilevati all'interno di un sistema di coordinate spaziali.

Fotogrammetria, stereofotogrammetria, scansione laser sono tra le diverse metodologie di rilevamento che possono essere utilizzate, ma a prescindere dai mezzi a disposizione importante è il corretto esito finale di rilevamento geometrico, in quanto solo attraverso la redazione di opportuni elaborati grafici è possibile avere una lettura chiara ed univoca dello stato di fatto su cui si andrà ad intervenire. Una sistematica operazione di rilievo ci permette inoltre anche una corretta lettura del contesto territoriale in cui l'edificio è inserito, in che modo questo abbia influenzato le scelte in fase di realizzazione e come si sia evoluto nel tempo.

Esposizione, soleggiamento, adiacenze, presenza di aree verdi o di ritrovamenti archeologici sono di fondamentale importanza per ricostruire il quadro all'interno del quale andremo ad operare. Allo stesso modo uno studio accurato della geologia dei suoli, dei materiali, delle tecniche costruttive prevalenti sul territorio e delle peculiarità climatiche ci daranno indicazioni sulla struttura, sul suo plausibile stato di conservazione e sulle compatibilità materiche. Ricostruire la struttura, con particolare attenzione agli spessori murari sia degli elementi in alzato che dei solai, delle volte o delle coperture; la registrazione di tutte le discontinuità (che sia attraverso l'osservazione diretta o dove possibile attraverso indagini maggiormente invasive), degli aggetti, delle nicchie, delle canne fumarie, dei controsoffitti o delle finte volte ci permette di individuare i punti deboli e le potenzialità della struttura e progettare al meglio qualsiasi tipo di intervento senza andare ad alterare il delicato equilibrio che si è instaurato negli anni.

Il rilievo è un passaggio ineliminabile nello studio degli edifici antichi perché ci permette di familiarizzare in modo profondo con il fabbricato. Ricomporre ogni sua parte su di un supporto bidimen-

sionale vuol dire averla compresa e fatta propria.

#### TERMOGRAFIA

La termografia è una tecnica di analisi non distruttiva che si basa sull'acquisizione di immagini nell'infrarosso. Tutti i corpi emettono radiazione elettromagnetica in dipendenza dalla propria temperatura; dalla misura della radiazione emessa da un corpo può quindi essere ricavata la sua temperatura superficiale senza alcun contatto. La termografia (come dice il nome) sfrutta la capacità di alcuni dispositivi di rivelare l'intensità della radiazione nella zona termica dello spettro elettromagnetico, cioè una regione dell'infrarosso. Nell'approssimazione che un corpo reale sia un perfetto corpo nero, cioè un perfetto emettitore di radiazione, è quindi possibile dedurre la sua temperatura dalla misura della radiazione emessa.

La termovisione quale mezzo di diagnosi non distruttiva presenta un vasto campo di applicazioni come il rilevamento dell'umidità, l'identificazione di elementi architettonici nascosti, l'individuazione di distacchi negli intonaci, la caratterizzazione materiale dell'edificio. Le discontinuità termiche causate dalla presenza di difetti o danneggiamenti, che si originano su una superficie muraria in seguito a riscaldamento, sono chiaramente evidenziabili nelle immagini termiche mediante l'impiego di termocamere ad alta risoluzione termica (0.05/0.01°C) e di opportune tecniche di imaging.

In sintesi il metodo termografico può essere impiegato in tutte le situazioni dove la variazione della temperatura superficiale è attribuibile a discontinuità nelle proprietà del materiale, tanto che la termografia si dimostra sempre più uno strumento fondamentale nei test non distruttivi e nel monitoraggio.

La norma UNI EN 13187<sup>92</sup> definisce un metodo qualitativo per la rilevazione delle irregolarità termiche degli involucri edilizi. La norma non si applica per la determinazione del livello di isolamento termico e della tenuta all'aria di una struttura edilizia. Affinché un'analisi di questo tipo risulti valida nelle 24h precedenti la prova, la temperatura dell'aria esterna non deve essere maggiore di 10°C rispetto alla temperatura di inizio rilevamento termografico. Se poi abbiamo a che fare con strutture pesanti, bisogna anche considerare l'accumulo di calore che ci può essere stato da parte della struttura. Inoltre per almeno 12h prima della prova la superficie dell'involucro in esame non deve essere esposta a radiazione diretta e durante la prova le temperature dell'aria interna ed esterna non dovrebbero variare rispettivamente di oltre 5°C e 2°C, rispetto ai valori rilevati a inizio prova. Gli effetti di variazione di temperatura durante la

#### 82. UNI EN 13187:2000

Prestazione termica degli edifici

- Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo all'infrarosso.

83. I termoflussimetri sono costituiti da un sottile strato di materiale di resistenza termica nota e stabile. La piastra termoflussimetrica per le misure in campo ha in genere uno spessore di qualche mm ed è realizzata in materiale plastico rigido o flessibile (ad esempio silicone).

84. acquirettore dati per registrare nel tempo i valori dei sensori.

85. "Thermal insulation – Building elements – in Situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance"

Didascalie alle immagini.

29. L'indagine termografica della Casa della Pesa di Bolzano (caso studio 3EnCult) mostra la netta differenza di temperatura emessa tra la parete isolata e quella invece dove lo strato di IQ-Thermo non è stato applicato. Inoltre ci mostra la tessitura muraria al di sotto dell'intonaco.

30. Esempio di termografia eseguita in modo errato. Il fascio di luce che invade il prospetto falsò il risultato e non permette di leggere alcuna informazione della struttura.

31. a) Condizione stazionaria, nessuna variazione di temperatura; b) Caso di surriscaldamento piastra: accensione di impianto o irraggiamento solare attraverso superfici trasparenti nell'ambiente con piastra sulla parete; c) Caso di spegnimento dell'impianto nell'ambiente con piastra sulla parete. Immagini rielaborate dal Manuale Anit.

prova possono essere verificati sovrapponendo l'immagine definitiva e quella iniziale, controllando se i requisiti vengono soddisfatti o meno.

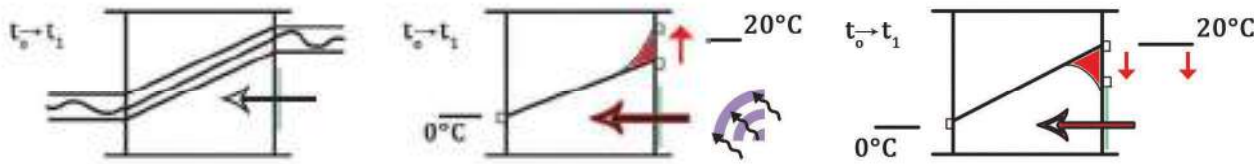
Attualmente i sistemi termografici ad infrarossi sono in grado di rilevare irregolarità sub-superficiali e caratteristiche dei materiali sulla base della temperatura superficiale ma, in molte situazioni, i risultati sono solo di tipo qualitativo. Per superare questo problema un campo di ricerca promettente è legato alla definizione di un termogramma 3D (Lucchi, 2013). In altri termini, dato un particolare oggetto, vengono integrati insieme i dati geometrici sulla forma, acquisiti con una elevata precisione, con i dati termici superficiali mediante diverse metodologie, e si può arrivare ad attribuire un "corretto" valore di temperatura indipendentemente dal punto di vista dell'acquisizione, ad ogni punto riconoscibile della superficie in esame.

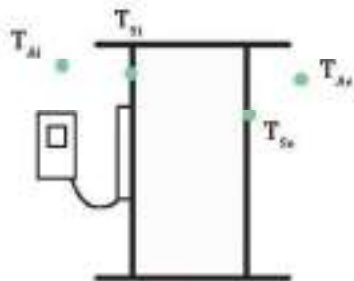
#### TERMOFLUSSIMETRO

Conoscere la trasmittanza dell'involucro è fondamentale ai fini di un progetto di riqualificazione energetica. La trasmittanza U (UNI EN ISO 6946) si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati. Lo strumento con cui possiamo ricavare questo valore è il termoflussimetro<sup>83</sup>, ovvero un sistema dotato di sensori (termocoppie collegate in serie) e datalogger<sup>84</sup>, che in un dato intervallo di tempo quantifica il flusso di calore che attraversa la parete e grazie al quale possiamo ricavarci questa importante informazione. La tecnica non è affatto invasiva in quanto prevede il fissaggio a parete della piastra e dei sensori mediante un collante removibile e che non reca alcuna alterazione alla superficie sottostante.

Misurare però la trasmittanza (U) di una parete pesante per mezzo di un termoflussimetro non risulta un'operazione chiara e semplice nemmeno affidandosi a quanto riportato nella normativa di riferimento.

Secondo la ISO 9869-1<sup>85</sup> del 2014, affinché una misurazione possa considerarsi eseguita a regola d'arte è necessario eseguire una preliminare verifica termografica del luogo in cui si intendeva posizionare i sensori, escludere zone limitrofe a ponti termici, fratture o luoghi che potrebbero indurre in errore, posizionare lo strumento





$$\varphi = \frac{\Delta T}{R_p} = \frac{\Delta T}{R_p + R_s + R_e}$$

Posizionamento della piastra del termoflussimetro ed equazione di calcolo

lontano da fonti di calore o raffrescamento, fare in modo che la superficie esterna sia protetta da radiazione solare diretta, pioggia e neve.

La durata minima del test per tutti i tipi di parete prevede un minimo di 72h a patto che non vi siano state sostanziali oscillazioni di temperatura e che si sia mantenuto una differenza di temperatura ( $\Delta t$ ) significativa tra interno ( $T_i$ ) ed esterno ( $T_e$ ). Diversamente si può protrarre anche per più di 7 giorni. Per le pareti pesanti infatti la norma consiglia un intervallo di tempo sempre superiore ai 3 giorni poiché data l'elevata inerzia termica (Calore Specifico superiore a 20 KJ/mqK) non sarebbero sufficienti a far stabilizzare il flusso. Non vengono però fornite indicazioni ulteriori, se non andare a controllare ed esaminare periodicamente i dati in modo da interrompere il rilevamento dati solo quando si è sicuri del risultato ottenuto. Un processo a volte lungo e laborioso, che può trovare delle difficoltà per essere messo in atto soprattutto se abbiamo a che fare con un'abitazione privata.

L'incertezza di misura è principalmente legata alla piastra termoflussimetrica che aggiunge una resistenza termica alla struttura oggetto di indagine. Dobbiamo inoltre considerare che nelle misure in campo durante il periodo di registrazione fattori esterni (come sbalzi di temperatura improvvisi) potrebbero influire sulla misurazione e quindi far discostare il valore del flusso da quello reale.

Ottenere dei risultati affidabili da uno strumento di misurazione come questo è un passo fondamentale nell'iter progettuale perché il valore della trasmittanza è determinante nella scelta delle soluzioni più adatte per potenziale l'involucro dell'edificio su cui stiamo intervenendo. Per questo motivo seguire le indicazioni della normativa riguardo le modalità di posa della strumentazione, l'acquisizione e l'elaborazione dei dati è fondamentale.

La rielaborazione dei dati avverrà per mezzo del metodo delle medie progressive, ovvero viene calcolata la conduttanza a ogni istante attraverso i valori medi di temperatura e di flusso calcolati su tutti gli istanti precedenti.

#### GEORADAR

Il Georadar è una tecnica non distruttiva, che fornisce informazioni di tipo puntuale. Essa si basa sull'analisi della riflessione di onde elettromagnetiche in un mezzo. Il sistema di acquisizione si compone di un'antenna, che viene posta a stretto contatto con la superficie dell'elemento da indagare, per la trasmissione e la ricezione del se-

gnale, e di una unità di controllo che genera l'impulso in ingresso e registra l'eco in uscita. L'analisi dei radargrammi permette in genere di verificare la presenza di vuoti all'interno delle strutture, la localizzazione della tipologia e dimensione materica.

#### PROVE SONICHE E ULTRASONICHE

La strumentazione utilizzata è costituita da una centralina di acquisizione e calcolo a cui vengono collegate la sorgente e le sonde riceventi: si sfrutta la capacità e la modalità dei materiali di trasmettere onde sonore. A seconda della frequenza del segnale, vengono utilizzate al fine di verificare l'integrità dei materiali e calcolare profondità e dimensioni di fessure nicchie o cavità presenti all'interno dell'apparecchiatura costruttiva.

#### ENDOSCOPIA

L'endoscopio nella versione a fibre ottiche consente di valutare la stratigrafia delle murature e ispezioni su volte ed archi. Con fori di diametro inferiore al centimetro, è possibile controllare ed ispezionare condutture, intercapedini, strutture nascoste, sezioni di murature, carotaggi.

#### CAROTAGGIO

Il carotaggio è un tipo di analisi invasiva e distruttiva e consiste nell'estrazione dalle strutture di campioni cilindrici tramite carotatrici; sui provini da questi ricavati si eseguono in laboratorio le prove per la determinazione di massa volumica, prove meccaniche, di permeabilità, di gelività, ecc. L'esecuzione del sondaggio per murature di laterizio o pietra si può fare riferimento a prescrizioni della norma UNI EN 12504-1:2002<sup>86</sup>, anche se questa è specifica per strutture in calcestruzzo. Secondo la norma la profondità e la dimensione del carotaggio vengono stabilite in relazione allo spessore degli elementi da indagare ed agli scopi dell'indagine. Inoltre il criterio comune da seguire durante i prelievi deve essere la riduzione al minimo del danneggiamento provocato dall'estrazione sul campione. L'estrazione di carote avviene mediante una carotatrice costituita da un tubo di acciaio, detto carotiere, alla cui estremità è posta una corona tagliente, detta corona diamantata. Il carotiere viene connesso ad un albero collegato a sua volta ad un motore. Ogni corona si identifica con un diametro esterno che corrisponde al foro di perforazione, ed un diametro interno che corrisponde alla carota che si preleva. Nel movimento di avanzamento la sonda deve esse-



Esempio di georadar.

86. Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione



Macchinario per eseguire il carotaggio

re esente da vibrazioni, per assicurare che il diametro della carota sia costante ed il suo asse rettilineo. La sonda pertanto deve essere rigida e correttamente ancorata. La corona deve avere diametro leggermente superiore a quello del tubo in modo che quest'ultimo possa entrare nel foro senza incontrare ostacoli. La lunghezza di taglio standard sono entro i 400-500 mm; con l'applicazione di apposite prolunghie, si possono raggiungere profondità elevate, diverse a seconda del materiale da perforare e del diametro del foro. La prova consente altresì di esaminare la stratigrafia e le condizioni della muratura interna dall'esame della carota o con endoscopie.

Didascalie alle immagini.

32. Indagini endoscopiche

33. Una carota estratta dalla muratura



32.



33.



### 3.3 Modellazione virtuale. Simulazione dello stato di conservazione

In Europa la storia della modellazione legata al passaggio di calore, aria e umidità all'interno dei materiali ha le sue radici nel 1932 quando Hirsch pubblica il suo libro sulla tecnologia dell'essiccazione, rivisto e ampliato nel 1956 da Krischer and Kröll. Nei suoi scritti Krischer affronta i concetti base della connessione calore-trasporto di materia e li applica al settore dell'essiccazione industriale. Il capitolo relativo al trasporto di umidità intesa come quantità di acqua, introduce il fattore di resistenza al vapore e la diffusione di umidità come le maggiori proprietà del materiale che governano l'essiccazione attraverso la diffusione del vapore e l'assorbimento capillare. Krischer non è però il solo a portare avanti questo tipo di teorie in quegli anni. Nel 1955 uno scienziato russo, Lykoy, pubblica un libro che tratta lo stesso argomento e che arriva a conclusioni analoghe. L'ultimo dei padri fondatori di queste speculazioni può invece essere considerato De Vries che nel 1958 pubblicherà la sua teoria del trasferimento accoppiato calore-umidità nei materiali porosi, principio su cui si basano tutt'ora alcuni software di simulazione termoigrometrica. Negli stessi anni, tra il 1958 e il 1959, inizia a farsi avanti quello oggi conosciuto come Metodo di Glaser.

Glaser teorizza un semplice metodo per controllare la formazione di condensa interstiziale all'interno dei muri dei locali in cui veniva conservata la merce deperibile<sup>87</sup>. Dal momento che in questa tipologia di parete la maggior parte dei materiali utilizzati non sono capillari, i muri risultano essere ermetici al punto che la temperatura e la differenza di pressione del vapore sono vicini ad essere costanti. In stazionario la diffusione del vapore rimane quindi l'unico meccanismo coinvolto nel trasporto dell'umidità. Per questo tipo di involucri il metodo proposto da Glaser forniva dei buoni risultati, al punto che altri autori si sono sentiti motivati ad estendere la stessa procedura di calcolo agli involucri edilizi, ancora troppo lontani però dal vedere soddisfatte le stesse condizioni dei muri analizzati da Glaser.

L'ermeticità infatti non poteva essere garantita e molti materiali risultano essere a capillarità attiva; se ci si aggiunge il fatto che la gra-

87. Glaser parla di Cold Store. "Also known as a cool store, a warehouse the interior of which is maintained at below ambient temperature, typically well below freezing point."

vità non può essere trascurata ecco che il metodo di Glaser risulta essere troppo semplificato. Per questo motivo in Nord America si è cercato di sviluppare un metodo simile cercando di integrarlo con le ricerche che erano state fatte negli anni '30 sul trasporto di materia associato al passaggio di calore.

Negli anni che seguirono i '50, alcuni autori migliorarono il metodo di Glaser mentre altri tornarono ai principi enunciati da De Vries cercando di misurare alcune proprietà dei materiali da lui introdotte e traducendo i suoi risultati in modelli numerici e software per computer.

#### SIMULAZIONI DINAMICHE

I fenomeni energetici che si sviluppano all'interno di un edificio sono diversi e in continua relazione tra loro e con l'ambiente esterno. Si tratta di questioni che riguardano contemporaneamente più fattori messi insieme a partire dal semplice orientamento dell'edificio fino ad arrivare alla composizione materica dei singoli elementi, passando per la destinazione d'uso. Ogni scelta effettuata concorre a delineare il profilo energetico dell'edificio e sebbene si possano riscontrare degli elementi comuni a determinate tipologie, ogni caso sarà sempre a se stante e andrà studiato nella sua specificità.

Una progettazione scrupolosa si avvale di strumenti che permettano di valutare e simulare la complessità del comportamento dell'edificio una volta realizzato, quindi attraverso appositi software è possibile andare ad indagare preliminarmente i fenomeni e le prestazioni energetiche al fine di compiere le scelte più corrette. Controllare le numerose variabili presenti in un sistema edificio-impianto senza l'ausilio di sistemi tecnologici avanzati è pressoché impossibile e sebbene non potranno mai rispecchiare la realtà al cento per cento, ci danno la possibilità di riflettere su questioni che altrimenti non saremmo in grado di prevedere in alcun modo. Le simulazioni risultano un modo per portare avanti delle ipotesi sia in fase di progettazione che di monitoraggio del progetto stesso a seconda che si lavori su dati di input o dati di verifica del progetto.

La quantità di programmi di simulazione termoigrometrica che il mercato mette oggi a disposizione è molto limitata. Il problema principale riguarda sicuramente la difficoltà di utilizzo di tali strumenti in mancanza di una adeguata preparazione, nonché di una predisposizione ed una sensibilità nella volontà di affrontare certe tematiche, molto specifiche e a cavallo con altre discipline.

Ugualmente utile sarebbe poter utilizzare questi sistemi per poter

lavorare su edifici esistenti, nella fattispecie quelli storici pre-industriali, ma attualmente i sistemi in commercio non sono stati pensati per questo tipo di necessità. Nonostante ciò alcuni stanno tentando di avvicinarsi a questa branca dell'architettura e cominciano a comparire nei database dei programmi anche materiali definiti "storici": La volontà di utilizzare di software che permettono di simulare il comportamento termoigrometrico delle pareti nasce dalla necessità di conoscere quelle che sono le prestazioni delle murature nel lungo termine, quindi cosa dobbiamo aspettarci a distanza di qualche anno dalla realizzazione del nostro intervento. D'altra parte però la simulazione del comportamento termoigrometrico di murature storiche non è un'operazione semplice e immediata proprio per la loro particolare conformazione strutturale.

Tra i diversi software di simulazione del comportamento termoigrometrico di elementi murari che esistono in commercio, i due più noti sono WUFI (Fraunhofer Institute) e Delphin (Bauklimatik Dresden). WUFI è un software per il calcolo dinamico termoigrometrico delle condense interstiziali e il pericolo muffa di elementi costruttivi. Nel calcolo vengono presi in considerazione tutti quei fattori climatici e quelle condizioni al contorno che possono facilitare il presentarsi dei rischi sopracitati, quali pioggia battente, irraggiamento solare, perdita di calore superficiale, trasporto capillare, condensazione. Il software è stato realizzato in più versioni (WUFIpro, WUFI 2D, WUFIplus, WUFI Passive), per soddisfare le diverse necessità del progettista a più livelli, da quella più semplice e intuitiva a quella creata appositamente per la ricerca scientifica.

Il software è validato dalla normativa UNI EN 15026 (Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edifici - valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica), per cui può sostituirsi ai calcoli statici eseguiti secondo UNI EN ISO 13788 (Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo).

Delphin 5.8.3 segue lo stesso principio di funzionamento. Vengono effettuati dei calcoli dinamici che permettono di verificare quelli che sono i rischi in cui si può incorrere nel tempo dovuti ad una cattiva progettazione. Delphin è un software dotato di grandi potenzialità, ma ne esiste una sola versione che si indirizza ad un pubblico decisamente più esperto o legato al mondo della ricerca. L'interfaccia che ci si presenta è molto semplice, ma al tempo stesso poco intuitiva

e non si può dire che guidi esattamente l'utente verso le scelte che deve effettuare. Una serie di finestre del tutto vuote devono essere di volta in volta "riempite" con input ed output a seconda delle preferenze e delle esigenze di chi utilizza il programma. Non si ha una scaletta da poter seguire e senza aver ricevuto delle indicazioni preliminari l'approccio al software diventa complesso se non impossibile.

Entrambi i software hanno come fine quello di fornire un quadro completo dei rischi a cui è esposta nel tempo la muratura. Nel caso specifico qui citato possono rivelarsi un valido aiuto per fare delle previsioni riguardo la possibile formazione di condensa nella superficie di contatto tra la muratura e il pannello isolante e contestualmente ipotizzare gli eventuali danni un intervento scorretto andrebbe a provocare. Ciononostante esistono differenze tra i due software che fanno sì che uno sia sicuramente più alla portata di tutti rispetto all'altro. Al di là della possibilità di accedere ad una versione più user friendly, WUFI offre la possibilità di scegliere tra numerose lingue e questo lo rende sicuramente più appetibile ad un vasto pubblico, permettendo anche a chi ha difficoltà con le lingue straniere di usare il software senza troppi problemi, a differenza di Delphin che si trova in commercio solamente in tedesco e inglese.

I risultati a cui i due software tendono sono pressoché gli stessi, ma per comprendere i ragionamenti alla base dei processi che vengono portati avanti per sviluppare i calcoli è necessario avere una conoscenza della fisica di base, meglio se fisica tecnica. Entrambi ci mostrano grafici in cui è possibile verificare in un arco di tempo da noi definito, che può andare dalle poche ore alle decine di anni, l'andamento di temperatura, umidità relativa, flusso di calore e tutto quanto noi abbiamo chiesto nella sezione degli output prima di avviare la simulazione. I grafici interattivi si comportano proprio come dei piccoli video dove allo scorrere del tempo è associato un cambio di colore al variare della condizione iniziale o l'oscillazione di una curva.

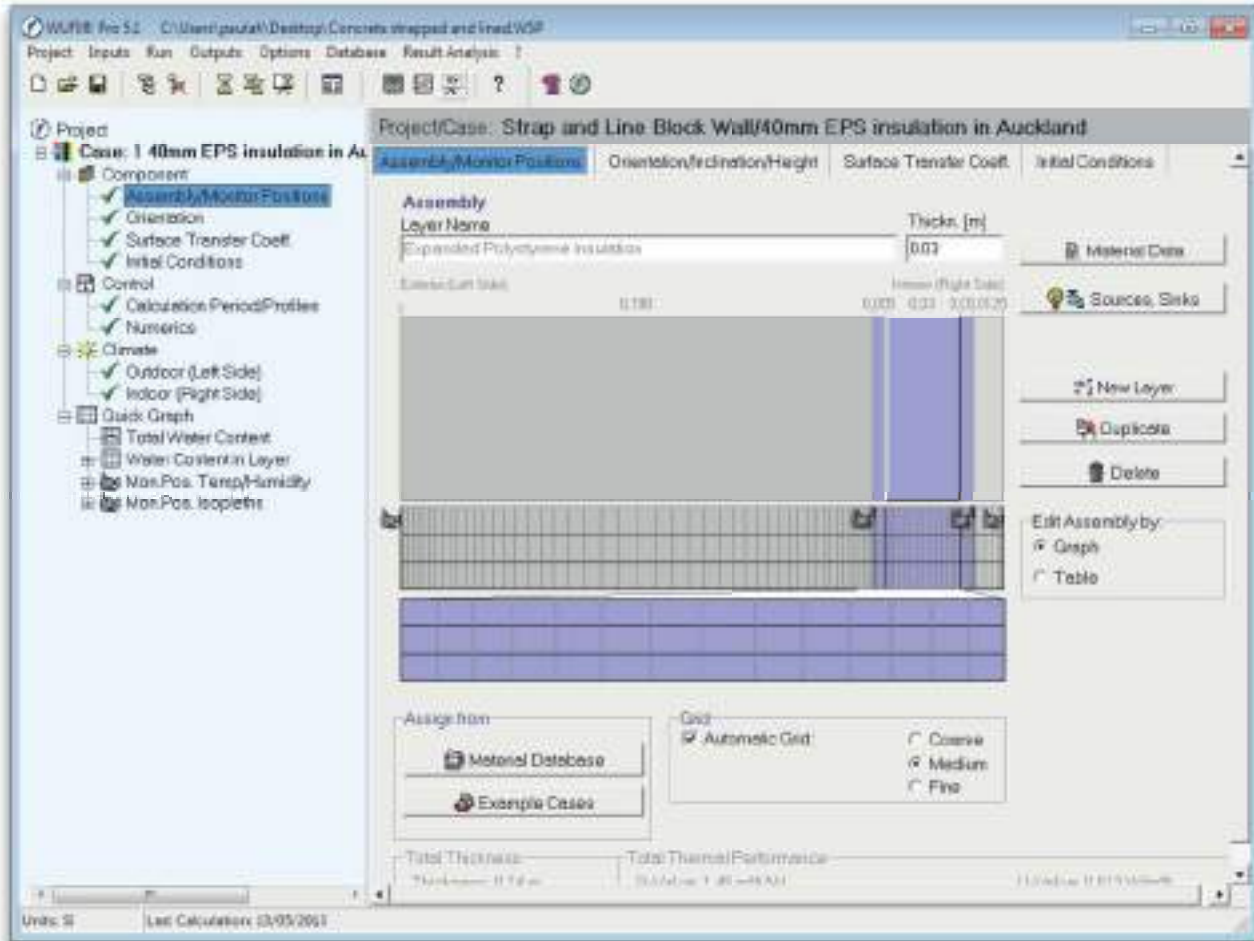
Volendo provare a svolgere delle simulazioni in parallelo per verificare in che modo i due software rispondono un vero e proprio confronto non è sempre possibile perché non hanno lo stesso database di materiali, ma quello che è certo è che i risultati non dovrebbero discostarsi troppo gli uni dagli altri se le condizioni del paramento murari e le rispettive al contorno sono state impostate nello stesso modo.

Ne consegue che la scelta del programma da utilizzare è strettamen-

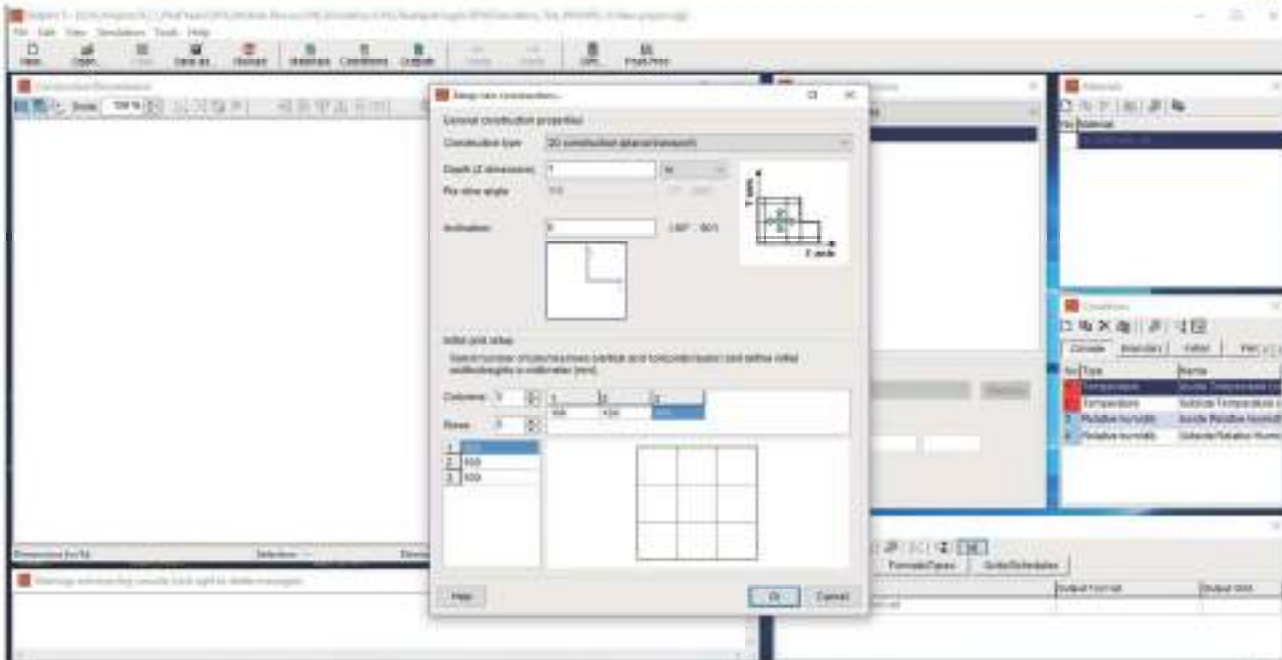
Didascalie alle immagini.

34. Schermata iniziale WUFI

35. Schermata iniziale Delphin 5.8.3



34



35

te soggettiva. Sta all'utente capire cosa vuole ottenere e in che modo arrivarci; se preferisce essere guidato passo dopo passo nelle scelte oppure sentirsi libero di sperimentare. Con la sola accortezza di capire prima quale è il proprio livello di conoscenze in materia, perché sbagliare in fase decisionale porterà a dei risultati affatto veritieri.

#### CAMERA CLIMATICA

La camera climatica è uno strumento di laboratorio che permette effettuare prove ambientali simulate al fine di valutare alcune caratteristiche degli elementi dell'involucro, che sia esso opaco o trasparente. Le normative di riferimento per questo tipo di apparecchiature sono la UNI EN ISO 9890:1999 e la EN ISO 1934:2000, che descrivono come determinare la resistenza termica per mezzo del metodo della camera senza e con termoflussimetro.

Esistono varie tipologie di camere climatiche che differiscono soprattutto per dimensione e test sviluppabili.

Durante i cinque mesi di permanenza all'Istituto per le Energie Rinnovabili, Eurac di Bolzano, ho avuto modo di poter studiare e visionare la camera climatica e il loro laboratorio INTENT, all'interno del quale sono effettuati i test.

INTENT è un laboratorio che consente di valutare, sia in regime statico che dinamico, le prestazioni termiche ed energetiche di componenti edilizi tradizionali - come pareti, finestre e porte - o innovativi, ad esempio pareti e solai che integrano sistemi solari attivi per la produzione energetica o circuiti radianti. Il laboratorio si compone di una doppia camera climatica con anello di guardia (note come Guarded Hot-Box) realizzata secondo le norme UNI EN ISO 9890:1999, UNI EN 12567-1; un simulatore solare, costituito da un parco lampade in grado di emulare la radiazione solare; un circuito idraulico esterno per valutare le prestazioni energetiche di eventuali impianti idraulici integrati nell'elemento da testare; un dettagliato sistema di monitoraggio composto da sensori e strumenti di acquisizione dati per misurare le grandezze fisiche rilevanti ai fini della caratterizzazione del provino.

L'elemento da testare viene inserito all'interno di un regolo che si trova tra le due camere climatiche simulanti rispettivamente l'ambiente interno e l'ambiente esterno grazie al controllo della temperatura, dell'umidità e della velocità dell'aria. Il simulatore solare riproduce le condizioni di irraggiamento sulla superficie esterna del provino e il circuito idraulico permette di controllare i sistemi idraulici attivi, eventualmente integrati nel provino. La valutazione

delle prestazioni energetiche di elementi di involucro attivi che integrano sistemi solari è possibile grazie all'apertura nella parete di fondo della camera fredda e all'utilizzo del simulatore solare.

Le normative a cui si fa riferimento la simulazione di provini in camera climatica possono essere due UNI EN ISO 8990:1999 "Isolamento termico - Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario - Metodo della doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia" e UNI EN 1934:2000 "Prestazione termica degli edifici - Determinazione della resistenza termica per mezzo del metodo della camera calda con termoflussimetro - Muratura". La prima UNI dice che "La presente norma internazionale specifica i principi per la progettazione dell'apparecchiatura ed i requisiti minimi che devono essere soddisfatti per la determinazione in laboratorio delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario di componenti per edilizia e di componenti simili per uso industriale. Comunque essa non specifica un preciso progetto dal momento che i requisiti variano in particolare in termini di dimensioni ed anche in termini di una minore estensione delle condizioni di prova. La presente norma internazionale descrive anche l'apparecchiatura, le tecniche di misurazione ed i dati che è necessario riportare. (...). Le proprietà che possono essere misurate sono la trasmittanza termica e la resistenza termica. Sono descritti due metodi alternativi: il metodo della doppia camera calibrata ed il metodo della doppia camera con anello di guardia. Entrambi sono adatti a provini verticali, come muri e orizzontali, come soffitti e pavimenti. L'apparecchiatura deve essere abbastanza grande per studiare componenti in scala reale. I metodi sono principalmente destinati alle misurazioni di laboratorio di provini grandi, non omogenei, sebbene possano ovviamente essere sottoposti a prova anche provini omogenei e questi siano necessari per la calibrazione e la validazione. (...)"

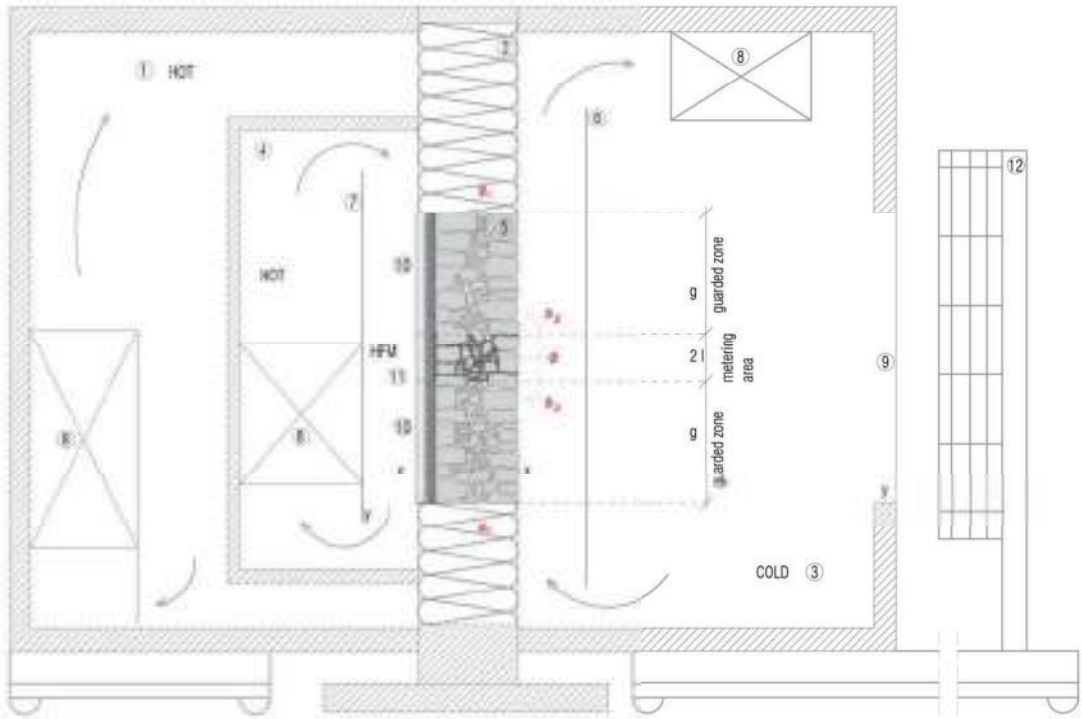
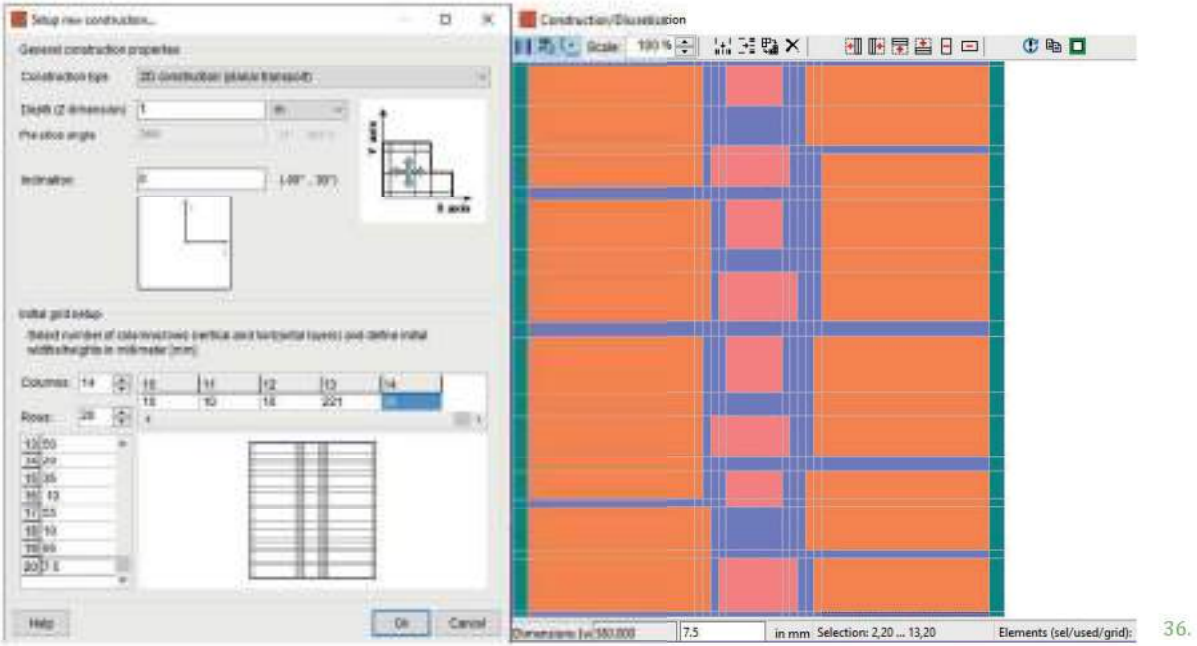
Mentre al UNI EN 1934:2000 "stabilisce i principi ed i criteri da rispettare per la determinazione in laboratorio delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario di pareti di mattoni, per mezzo di una camera calda con termoflussimetro montato su una superficie del muro di mattoni da sottoporre a prova (detto anche provino). (...) Essa, tuttavia, non specifica un particolare progetto di apparecchiatura dal momento che le esigenze variano particolarmente in termini di dimensioni, e anche in piccola parte in termini di condizioni di funzionamento. La proprietà misurata è la resistenza termica da faccia a faccia del provino, a condizione che la sezione

di misurazione copra una porzione rappresentativa del provino (...).  
Da queste misure si ricava la resistenza termica per le applicazioni  
negli edifici. Può allora essere calcolata da questo valore la trasmit-  
tanza termica di una muratura, introducendo dei coefficienti super-  
ficiali normalizzati. La presente norma è applicabile a misurazioni  
su provini sia secchi che umidi (...).

Didascalie alle immagini.

36. Esempio di come Delphin può  
ricepire una struttura muraria  
complessa al suo interno

37. Esempio di provino in camera  
climatica secondo le indicazioni  
della norma UNI EN 1934:2000



- ① Measurement hot-box
- ② Thermal insulation
- ③ Cold-box
- ④ Guarded hot-box
- ⑤ Specimen
- ⑥ Baffle panel
- ⑦ Baffle panel
- ⑧ Calorimeter
- ⑨ Glazed opening
- ⑩ Guard ring
- ⑪ Heat Flux Meter (metering area)
- ⑫ Cell simulator
- \* Surface temperature sensors
- Y Air temperature sensors



PARTE II

## Fase analitico-interpretativa

Analisi e sistematizzazione di best practices tecnologiche e progettuali per il miglioramento energetico dell'edificio storico



SISTEMA E STRUMENTI PER IL CONTROLLO  
DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI STORICI

## ABSTRACT

Coerentemente con la ricerca internazionale che *chiama* ad individuare strumenti affidabili di simulazione e previsione e metodi di valutazione che integrino aspetti sociali, economici ed ambientali, includendo anche comfort e sicurezza rispetto al tema delle tecnologie, dei materiali e delle componenti per la riduzione dell'uso dell'energia, si approfondiscono i sistemi tecnici che operano in modo passivo per il controllo e la conservazione del comportamento energetico dell'involucro pre-industriale.

In riferimento alla struttura massiva dell'involucro (con comportamento inerziale), l'edificio pre-industriale assicura un comportamento di tipo resiliente, capace di rispondere in maniera adattiva al cambiamento delle condizioni microclimatiche, minimizzando le dispersioni nel periodo invernale e limitando l'innalzamento delle temperature interne nel periodo estivo, per migliorare il comfort abitativo.

La struttura massiva, derivata direttamente dallo spessore e dal tipo dei materiali utilizzati per le superfici verticali ed orizzontali, mostra un comportamento connesso all'accumulo. Rispetto all'irraggiamento solare e al controllo del flusso dei venti, la morfologia architettonica e i componenti dell'involucro, quali infissi, sporti, protezioni, assumono un ruolo fondamentale per le condizioni di comfort indoor.

La scelta della *componente di isolamento termico*, come campo della sperimentazione operativa della tesi, deriva dalla complessità del rapporto fisico, chimico e percettivo che è determinato dalla sovrapposizione di un sistema materico contemporaneo (a base naturale o avanzata) ad una stratigrafia storicizzata nei comportamenti e nell'equilibrio fisico.

Attraverso l'identificazione dei comportamenti della stratificazione massiva, fattore significativo del rapporto "fisico" tra organismo esistente e intervento contemporaneo, viene, inoltre, valutata la compatibilità, l'interferenza e l'integrazione tra materiali legati alla tradizioni e materiali innovativi proposti dal costante sviluppo tecnologico.

Il posizionamento del sistema isolante è limitato all'interno dell'organismo edilizio data la necessità di conservare le peculiarità architettoniche che costituiscono l'aspetto esteriore.



## 4.1 Rapporto di forma

In quanto elemento non finalizzato esclusivamente a proteggere dalle intemperie e a lasciar solo trasparire l'interno degli edifici, l'involucro si definisce come un elemento dotato di un proprio significato connesso al contesto produttivo, culturale e artistico da cui stato generato e a cui ogni giorno si rivolge.

Dal punto di vista architettonico però l'involucro edilizio non è solamente un elemento in grado di trasmetterci delle suggestioni, ma anche il luogo dove avvengono gli scambi fisici con l'ambiente e attraverso il quale passano flussi di massa ed energia<sup>1</sup>; è la superficie che delimita lo spazio e quindi anche il sistema termodinamico, che deve tenere sotto controllo.

Lo sviluppo tecnologico ha rivolto le sue attenzioni verso la realizzazione di elementi che fossero in grado di fornire all'involucro nuove specificità e nuove prestazioni che lo rendano energeticamente efficiente, in grado garantire comfort per gli utenti e al tempo stesso compatibilità ambientale. L'involucro oggi diventa sempre più paragonabile ad una membrana in grado di adattare il proprio comportamento in base alle diverse sollecitazioni che riceve dall'esterno, al fine di isolare, captare, accumulare, filtrare o anche trasformare energia.

Herzog ci ricorda che è all'involucro che viene demandato il compito di creare un equilibrio tra interno ed esterno in termini di diffusione di temperatura, flussi d'aria, purezza ed umidità dell'aria, nonché il tipo di radiazione.

Il suo comportamento è quindi inscindibile dal contesto ambientale all'interno del quale si trova inserito e con il quale continuamente si rapporta.

Secondo quanto affermato da Scudo e Rogora nel 1998 in *L'involucro come regolatore dei flussi energetici*<sup>2</sup>, esso è analizzabile secondo quattro forme di controllo ambientale:

- Modello conservativo: il controllo ambientale è affidato alla massa muraria sfruttando l'inerzia termica. In questo caso la diversificazione delle soluzioni dipende, oltre che dalla massa, anche

1. I processi di scambio termico sono generalmente classificati in tre categorie: conduzione, convezione e irraggiamento. Nonostante non si presenti mai una sola modalità, bensì la combinazione di almeno due di esse, si tende di solito ad individuare il tipo di scambio predominante, trascurando le altre modalità di trasmissione del calore presenti a seconda del caso. La conduzione termica si ha quando, a causa di una differenza di temperatura, avviene un trasferimento di energia. Per cui due corpi a temperatura differente se messi a contatto dopo un certo tempo raggiungeranno la stessa temperatura. La convezione si ha invece quando è un fluido, per esempio l'aria, che a contatto con un corpo la cui temperatura è maggiore di quella dell'ambiente che lo circonda, si riscalda. Ovviamente la convezione può essere anche forzata e un per esempio ne sono gli elementi che riscaldano o raffrescano gli ambienti. L'irraggiamento o radiazione termica è il termine usato per indicare quello scambio di calore dal corpo più caldo a quello più freddo. Può in questo caso non esservi un mezzo di trasmissione in quanto l'irraggiamento avviene anche nel

vuoto, basti pensare alla radiazione solare.

2. Scudo G., Rogora A. (1998). L'involucro come regolatore dei flussi energetici. *Ambiente Costruito* n°1.

3. L. Busa. (2006) Tecnologie di involucro. In *Tecnologia dell'architettura: creatività e innovazione nella ricerca: materiali del I seminario OSDOTTA Viareggio, 14-16 settembre 2005*. Firenze.

dall'esposizione, dalla morfologia e dalle condizioni al contorno;

- **Modello selettivo:** i principi sono analoghi al modello precedente ma il controllo ambientale è affidato a pareti trasparenti, attraverso le quali è possibile l'illuminazione e il riscaldamento naturale;
- **Modello rigenerativo:** il controllo ambientale è affidato totalmente ai sistemi impiantistici. Questo modello concepisce "l'involucro prevalentemente come barriera per diminuire l'interazione tra esterno ed interno" (Banham, 1978);
- **Modello ambientale-interattivo:** il controllo ambientale è basato sull'intesa tra edificio e ambiente esterno con possibilità di gestire i flussi di energia<sup>2</sup>.

Sicuramente il modello conservativo è quello che meglio descrive il principio di funzionamento dell'edificio storico passivo, che veniva costruito in relazione al contesto nel quale si inseriva e la cui massa muraria svolgeva una funzione importante nel controllo degli scambi edificio-ambiente. Le tecnologie a disposizione nelle epoche definibili pre-industriali, ma che si continuarono ad utilizzare anche molto tempo dopo la diffusione dell'industrializzazione nei centri minori in cui lo sviluppo e le nuove possibilità del mercato arrivavano sempre con tempi più dilatati rispetto alle città, garantivano buoni risultati a livello di comfort abitativo solo lì dove vi era un'attenta progettazione ambientale, ovvero strettamente legata alle caratteristiche del sito nel quali si andava ad operare.

L'involucro passivo è quindi quella struttura in grado di sfruttare l'energia naturale combinandola con le caratteristiche proprie dei componenti architettonici di cui è costituito.

In generale potremmo dire che un buon involucro passivo dovrebbe massimizzare il guadagno solare sulla base della disposizione delle aperture vetrate, proteggere gli ambienti interni tanto dal freddo quanto dal caldo, favorire la ventilazione naturale utilizzando l'aria esterna. Nel momento in cui non è in grado di provvedere autonomamente a queste necessità intervengono sistemi impiantistici a supporto delle sue funzioni trasformandolo in attivo. Avremo così di fronte un ibrido in cui tecnologie edilizie e impiantistiche si completano a vicenda e si alternano in relazione alle condizioni climatiche e al livello di comfort richiesto.

Ciò che a volte viene trascurato è quanto la forma edilizia stessa rappresenti un potente elemento di controllo delle prestazioni energetiche degli edifici.

Quando, infatti, si parla di involucro ed efficienza energetica non si

può fare a meno di riferirsi al rapporto di forma, detto anche rapporto superficie volume (S/V), che ci permette di misurare la compattezza di un edificio. Il rapporto di forma non dipende da quanto e se sia isolato l'edificio o dal suo orientamento, ma dipende esclusivamente dalla sua geometria, in quanto è in funzione della conformazione di quest'ultima che vi è una maggiore o minore dispersione di calore per trasmissione o ventilazione.

Il rapporto S/V come specificato nel Dlg 311/06 rappresenta il rapporto tra la superficie disperdente e il volume lordo costituente l'edificio. Da precisare che costituiscono superficie disperdente tutte le strutture misurate al lordo<sup>4</sup> tra la zona termica esaminata e l'ambiente esterno, il terreno, oppure verso i locali non riscaldati. Per ogni rapporto S/V e per ogni località in base ai suoi Gradi Giorno a partire dall'Allegato C<sup>5</sup> del D.lgs. 311/06 vengono fissati per interpolazione i valori limite di legge da non superare espressi in Kwh/mq-anno (oppure Kwh/mc-anno se tratta di edifici non residenziali).

Lo scambio energetico tra l'ambiente esterno e quello interno avviene attraverso la superficie (S) dell'involucro che racchiude il volume (V) riscaldato: più estesa è la superficie maggiore sono le dispersioni termiche. Per ridurre la superficie disperdente bisogna intervenire sulla compattezza dell'edificio. Per gli edifici passivi costruiti nel nord-centro Europa il rapporto S/V deve essere inferiore a 0.6. È quindi possibile ridurre le dispersioni unitarie, e di conseguenza quelle totali, cercando una forma che minimizzi il rapporto S/V. Va inoltre specificato che le dispersioni sono inversamente proporzionali al volume, per cui edifici con grande volumetria tendono a trattenere il calore con maggiore facilità rispetto ad edifici più piccoli, che si raffreddano più facilmente.

La trasmissione non dipende solo dalle dimensioni della superficie di scambio, ma anche dalle proprietà termiche dei materiali che costituiscono la "pelle" dell'organismo architettonico e fra la differenza di temperatura tra interno ed esterno. Vista quindi la difficoltà che spesso si incontra nella definizione precisa delle caratteristiche termiche dei materiali che costituiscono i diversi elementi di cui si compongono gli edifici storici, spesso è difficoltoso capire in che quantità le dispersioni incidono sul bilancio termico complessivo<sup>6</sup>. Materiali da costruzione come la pietra o il laterizio, utilizzati nelle murature tradizionali, presentano alti valori di trasmittanza, il che equivale ad avere un involucro permeabile al passaggio del calore

4. Il volume lordo è definito dalle parti di edificio riscaldate e delimitato dalle superfici disperdenti.

5. Allegato C - Requisiti energetici degli edifici

6. UNI EN ISO 13790:2008, 5.1.2.

"Descrizione dei procedimenti di calcolo", p. 14. La norma UNI EN ISO 13790:2008, nel calcolo del bilancio di energia termica per raffrescamento e riscaldamento, prende in considerazione diversi fattori: «-scambio termico per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente esterno, retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura esterna;

-scambio termico per ventilazione (mediante ventilazione naturale oppure mediante un impianto di ventilazione meccanica), retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura dell'aria immessa;

-scambio termico per trasmissione e ventilazione tra zone adiacenti, retto dalla differenza tra la temperatura della zona climatizzata e la temperatura interna all'ambiente adiacente;

-apporti termici interni (inclusi gli apporti negativi dai pozzi termici), per esempio dalle persone, dalle apparecchiature, dall'illuminazione e dal calore dissipato o assorbito dagli impianti di riscaldamento, raffrescamento, acqua calda o ventilazione; -apporti termici solari (che possono essere diretti, per esempio, attraverso le finestre, o indiretti, per esempio, tramite l'assorbimento negli elementi edilizi opachi); -accumulo di

calore nella massa dell'edificio, o rilascio del calore accumulato dalla massa; -fabbisogno di energia termica per il riscaldamento: se la zona è riscaldata, un impianto di riscaldamento fornisce calore al fine di elevare la temperatura interna al livello minimo richiesto (il valore di regolazione per il riscaldamento); -fabbisogno di energia termica per il raffreddamento: se la zona è raffrescata, un impianto di raffreddamento sottrae calore al fine di abbassare la temperatura interna al livello massimo richiesto (il valore di regolazione per il raffreddamento).»

7. Progettazione Ecocompatibile dell'Architettura: concetti, metodi, strumenti di analisi e valutazione, esempi applicativi, M. Grosso, G. Peretti, S. Piardi, G. Scudo, cap. 7 La progettazione preliminare dell'edificio pag 337-354, Esselibri editore, Napoli, 2005  
8. Ivi.

dalle zone più calde a quelle meno calde.

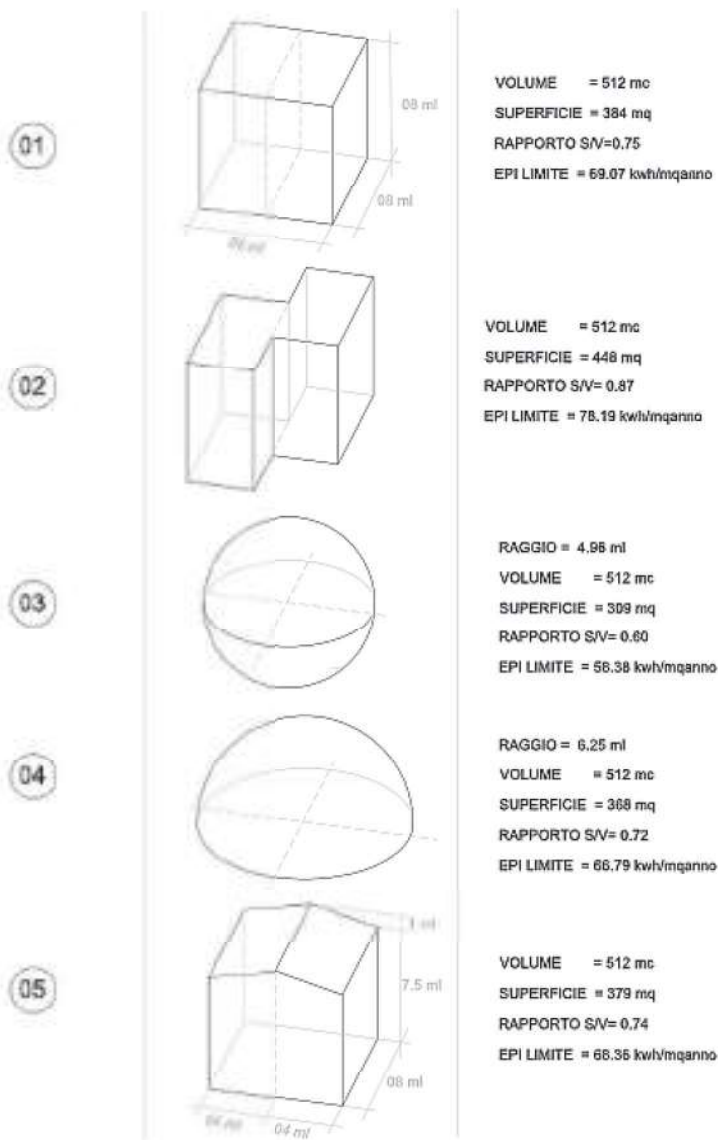
Alessandro Rogora sottolinea infatti come "Forme edilizie specifiche si sono affermate nei diversi contesti climatici; nei climi freddi si ritrovano quindi forme compatte a prescindere dal tipo di materiali e di tecniche costruttive disponibili, mentre nei climi caldo umidi le forme edilizie sono più allungate e articolate per facilitare il movimento delle masse d'aria. I primi studi sistematici sulla relazione che lega forma edilizia e clima sono stati compiuti da Victor Olgyay che nel suo libro "Design with Climate: An Approach to Bioclimatic Regionalism" del 1963 ha definito i rapporti ottimali di forma per le quattro principali zone climatiche. Studi successivi hanno affrontato il problema della forma edilizia cercando di analizzare separatamente i singoli parametri che descrivono la forma secondo il lessico della progettazione dell'architettura ma rendendone esplicito il comportamento energetico (Knowles, Serra ecc.)"<sup>7</sup>.

Forma della pianta (lineare, centrale, radiale, aggregato, reticolato), forma della sezione ed esposizione dei patii sono tra gli elementi fondamentali che regolano il comportamento passivo degli edifici. Analizzando gli edifici o gli aggregati di edifici storici, si riscontra sempre un'attenzione alla combinazione di questi elementi. La disposizione dei fabbricati e la realizzazione delle strade cittadine era sempre una diretta conseguenza della direzione dei venti; così come la forma dei tetti nasceva dalla necessità di far fronte a determinate condizioni atmosferiche. E se da nord a sud, ogni regione ha sviluppato delle tipologie edilizie che più si adattavano ai climi e ai bisogni del posto, ritroviamo nei centri storici degli elementi che accomunano l'impostazione urbana di gran parte dei borghi italiani, come per esempio la volontà di realizzare abitazioni che oggi definiamo case a schiera.

Dal punto di vista del rapporto di forma, e quindi delle dispersioni energetiche, quello a schiera è un edificio molto compatto, che si trova esposto su due lati solamente, generalmente quelli corti, e si presenta addossato ad altri edifici sui lati lunghi. L'addossamento è un spetto che definisce il grado di contatto dell'involucro con altri edifici. Aumentare la superficie addossata riduce la possibilità di scambi energetici con l'esterno e un maggiore contatto con ambienti che presentano condizioni termiche più stabili rispetto a quelle esterne. Le possibilità di illuminazione e ventilazione naturale diminuiscono con l'aumentare del grado di addossamento con altri edifici<sup>8</sup>.

Nel descrivere gli elementi che vanno assolutamente presi in considerazione per una corretta progettazione di un edificio, Rogora sottolinea alcuni aspetti che sono riscontrabili anche nell'analisi dell'edilizia storica, come la massa, la permeabilità, la variabilità della trasparenza, la compartimentazione interna (sia orizzontale che verticale), il peso degli elementi interni, le connessioni e le aperture per la captazione solare.

Tra tutti, la massa e il peso degli elementi interni definiscono la capacità di accumulo energetico della struttura e la sua inerzia al passaggio di energia: maggiore è il peso degli elementi d'involucro minori sono le oscillazioni termiche interne e maggiore il ritardo con cui vengono trasferiti all'interno i fenomeni ambientali esterni. Oggi può rimanere difficile a volte comprendere il perché di alcune scelte, ma è pur vero che i tessuti edilizi nel tempo si sono altamente modificati e quella che all'epoca sembrava una soluzione ottimale, oggi può non risultare più tale. Bisogna inoltre tenere in considerazione il fatto che spesso gli edifici non ci arrivano così come erano stati pensati e realizzati in un primo tempo; la storia ci insegna come troppe volte questi siano stati modificati a seconda delle esigenze degli utenti o delle mode del tempo, il che porta a snaturare la conformazione originaria e la logica che vi era dietro. Volendo invece pensare che l'edificio ci sia giunto così come era, è possibile che quella che una volta era una facciata che dava verso un grande spazio aperto, oggi si trovi a pochi metri da un altro edificio, magari più alto, che impedisce al sole di raggiungere le superfici nel modo in cui avveniva una volta. Ecco dunque che pensare l'edificio come qualcosa svincolato dal contesto e non porsi nella condizione di analizzare i parametri al contorno può portare a delle scelte errate in fase di progettazione.



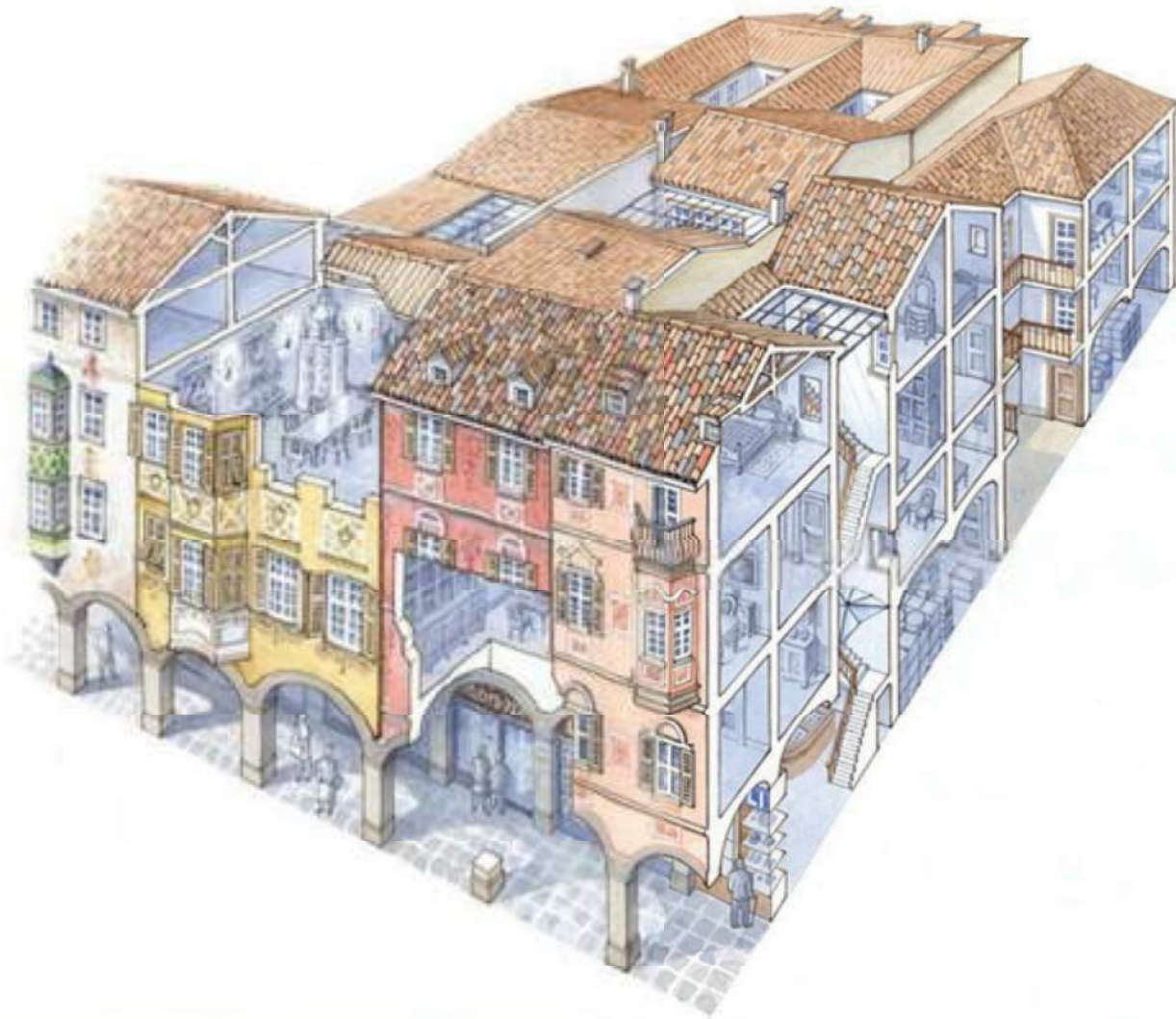
Didascalia alle immagini.

1. L'immagine mostra 5 esempi di progettazione di un edificio e i relativi calcoli del rapporto S/V. L'area presa in considerazione è Firenze, zona climatica D, 1821 Gradigiorno e. Valori limite, applicabili dal 1 gennaio 2010, dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m<sup>2</sup> anno.

3. L'immagine mostra una tipica disposizione a schiera presente, seppure con varianti, in praticamente tutti i centri storici italiani.  
Antonio Morcheverdi 2011. Spaccato assonometrico del centro storico di Bolzano.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica										
	A		B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG	
$\leq 0,2$	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	<b>46,8</b>	
$> 0,9$	36	36	48	48	68	68	88	88	116	<b>116</b>	

2.



3.



## 4.2 L'isolamento dall'interno come ipotesi di intervento. Opzioni, potenzialità e limiti

Negli ultimi anni nel tentativo di trovare una soluzione per poter colmare il divario esistente fra i mutamenti rispetto alle esigenze espresse dall'utenza, i nuovi livelli prestazionali individuati a livello normativo e la necessità di realizzare interventi di edilizia residenziale a basso costo, si è assistito ad un notevole incremento degli studi e delle ricerche effettuate sul tema dell'involucro edilizio e sulle possibilità di incrementare le sue potenzialità di sistema passivo di isolamento dall'esterno.

Per isolamento termico si intendono tutte le operazioni volte a ridurre il flusso di calore scambiato tra due ambienti a temperature differenti; durante il periodo invernale, il suo impiego è finalizzato principalmente a contenere il calore all'interno dell'edificio, limitando le dispersioni termiche verso l'esterno.

Negli edifici esistenti, una delle forme di miglioramento delle prestazioni energetiche più impiegate è ottenuta mediante l'applicazione di materiale isolante sulle superfici delle pareti dell'edificio, al fine di ridurre la trasmittanza<sup>9</sup> termica e, quindi, le perdite di calore per trasmissione.

L'isolamento potrebbe essere applicato sul lato esterno o interno della facciata. Il comportamento energetico delle due tecniche applicate a edifici con pareti massive a spessore elevato è infatti molto diverso. L'isolamento dall'esterno è conveniente per contenere i consumi energetici legati al riscaldamento nella stagione invernale, per sfruttare pienamente le caratteristiche di inerzia termica delle pareti massive e, rispetto ai sistemi di isolamento dall'interno, per ridurre i rischi di formazione di condensa, come vedremo nel dettaglio in seguito. L'isolamento dall'interno ha un beneficio energetico inferiore in quanto non elimina i ponti termici e non consente di sfruttare pienamente l'inerzia delle pareti massive. È più adatto, però, negli interventi ad uso saltuario, dove è necessario un riscaldamento o un raffrescamento rapido dell'ambiente interno.

Una terza opzione è rappresentata dall'insufflaggio, ovvero quella tecnica che permette di sfruttare eventuali intercapedini riempiendole di materiale isolante granulato. In questo modo l'aspetto sia

9. La quantità di calore scambiata da un corpo per unità di superficie viene calcolata attraverso il parametro della trasmittanza. La trasmittanza U (UNI EN ISO 6946) si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°K ed è legata allo spessore e alla conducibilità termica degli strati che compongono il corpo. La conducibilità termica  $\lambda$  rappresenta la capacità che ha un materiale di condurre calore: viene definita come la quantità di calore, misurata in Watt, che fluisce ogni secondo attraverso 1 mq di materiale dello spessore di 1 m con una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 1°K.

estriore che interno dell'edificio rimarrebbe intanto senza creare alcun problema di conservazione dei caratteri identitari delle facciate e senza andare ad incidere sulla metratura della superficie calpestabile internamente.

"L'isolamento dall'esterno in un edificio massivo, ad esempio in presenza di murature in laterizio pieno o in pietra, ottimizza la capacità termica areica, ovvero la proprietà di accumulo del calore proveniente dall'interno (specialmente se il coibente ha elevata capacità termica come per legno, sughero, fibre vegetali, ...). Il funzionamento è semplice: nella stagione invernale, il calore prodotto con l'accensione del riscaldamento viene assorbito lentamente dalle pareti perimetrali, dai tramezzi e dai solai interni. La presenza di un isolante esterno continuo scherma la dispersione del calore, trasferendone comunque una parte per conduzione nella parete esistente. Allo spegnimento dell'impianto, l'edificio si raffredda molto lentamente proprio grazie alle proprietà di accumulo termico del muro massivo. In estate, il rivestimento isolante viene irraggiato dal sole e, specialmente se dotato di elevata capacità termica (legata alle proprietà di alcuni materiali quali legno, sughero, fibre vegetali, ...), trattiene il calore al suo interno, rilasciandolo lentamente nella parete e nell'ambiente interno. In questo modo, l'onda termica viene attenuata e sfasata e si hanno i benefici di inerzia tipici di una muratura massiva." (Lucchi 2013)

Generalmente l'isolamento però dall'esterno non è ammesso in un edificio storico perché modifica l'immagine e la consistenza materiale delle facciate, risultando sostanzialmente irreversibile. Inoltre, in molti casi per garantire adeguati ancoraggi e resistenze deve essere posato solo su supporti in grado di soddisfare criteri di tenuta meccanica, complanarità, assenza di degrado e di umidità interstiziale o superficiale richiedendo operazioni preliminari incompatibili con la conservazione delle finiture presenti.

L'isolamento interno di pareti storiche risulta una strada più facilmente percorribile rispetto a quello esterno, ovviamente in assenza di decorazioni, finiture pregiate o intonaci in buono stato di conservazione. L'obiettivo energetico resta quello della riduzione delle perdite per trasmissione attraverso le pareti e la riduzione di ponti termici diffusi e di forma, ma non è possibile eliminare i ponti termici di materia e garantire l'omogeneità delle prestazioni termiche dell'intera facciata. In linea generale, questa tecnica di isolamento porta al miglioramento della prestazione termoacustica dell'invo-

lucro edilizio e del benessere degli occupanti, la messa in regime termico, ma anche il raffreddamento più rapido del locale per effetto dell'assenza di massa termica del lato più interno della parete. L'isolamento interno, infatti, annulla la capacità di accumulo termico nella massa delle pareti storiche: nel momento in cui si spegne il riscaldamento l'isolante non trattiene il calore per poi rilasciarlo lentamente come fa una muratura tradizionale.

Effettivamente basterebbero anche solo pochi cm di isolante all'interno per ridurre le dispersioni termiche, ma non per raggiungere i limiti di trasmittanza imposti da normativa.

Come abbiamo visto, le indicazioni Comunitarie, recepite dai Paesi Membri, non danno alcuna indicazione sulla riqualificazione energetica degli edifici storici, ma tramite lo strumento della deroga permettono a ogni singolo Stato di legiferare autonomamente al riguardo.

Da ciò ne consegue non solo un panorama normativo vasto e differenziato a seconda dei criteri di conservazione che ogni singolo stato adotta nei confronti del Patrimonio storico, ma anche una difficoltà nell'approcciarsi al problema in quanto la legislazione è sempre vaga e non propone un metodo operativo e i beni storici così tanti e differenziati, che imporre dei limiti da raggiungere sarebbe quasi impossibile.

Se però volessimo conformarci ai limiti stabiliti da normativa per le varie zone climatiche, date le caratteristiche delle murature di partenza, non basterebbero pochi cm di strato isolante, con una riduzione effettiva dello spazio interno.

Applicare un pannello superiore ai 5 cm può portare ad una seria riduzione della superficie utile, che per stanze di piccole dimensioni può non essere tollerato; se poi ci aggiungiamo la modifica delle proporzioni e delle simmetrie dei vani interni ci accorgiamo come sia un intervento tutto fuorché semplice e dall'impatto ridotto, come lo si cerca spesso di vendere.

Questo non vuol dire che però vi si debba rinunciare fin da principio, ma che necessita di una più accurata progettazione al fine di ridurre al minimo i disagi per l'edificio e aumentarne le prestazioni energetiche.

Mentre la posa del cappotto esterno non crea particolari problematiche dal punto di vista fisico-tecnico, contrariamente avviene per quello interno, che richiede specifiche attenzioni per evitare il rischio di formazione di condensa interstiziale, muffe e/o l'insorgere di potenziali fenomeni di marcescenza delle strutture. A tal propo-

Tabella 3 - Trasmissione termica U massima delle strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2021 <sup>(2)</sup>
A e B	0,48	0,42
C	0,42	0,38
D	0,36	0,32
E	0,31	0,29
F	0,30	0,28

Tabella 4 - Trasmissione termica U massima delle strutture opache verticali, verso l'esterno soggette a riqualificazione

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2021 <sup>(2)</sup>
A e B	0,45	0,40
C	0,40	0,36
D	0,36	0,32
E	0,30	0,28
F	0,28	0,26

Tabella 2 - Trasmissione termica U massima delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno soggette a riqualificazione

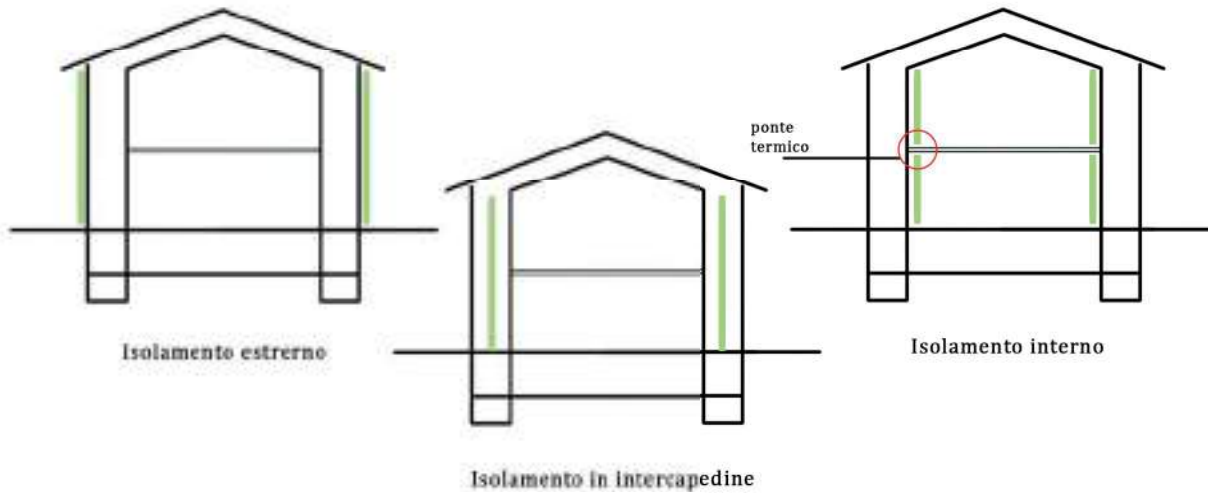
Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2021 <sup>(2)</sup>
A e B	0,34	0,32
C	0,34	0,32
D	0,28	0,26
E	0,26	0,24
F	0,24	0,22

Didascalia alle immagini.

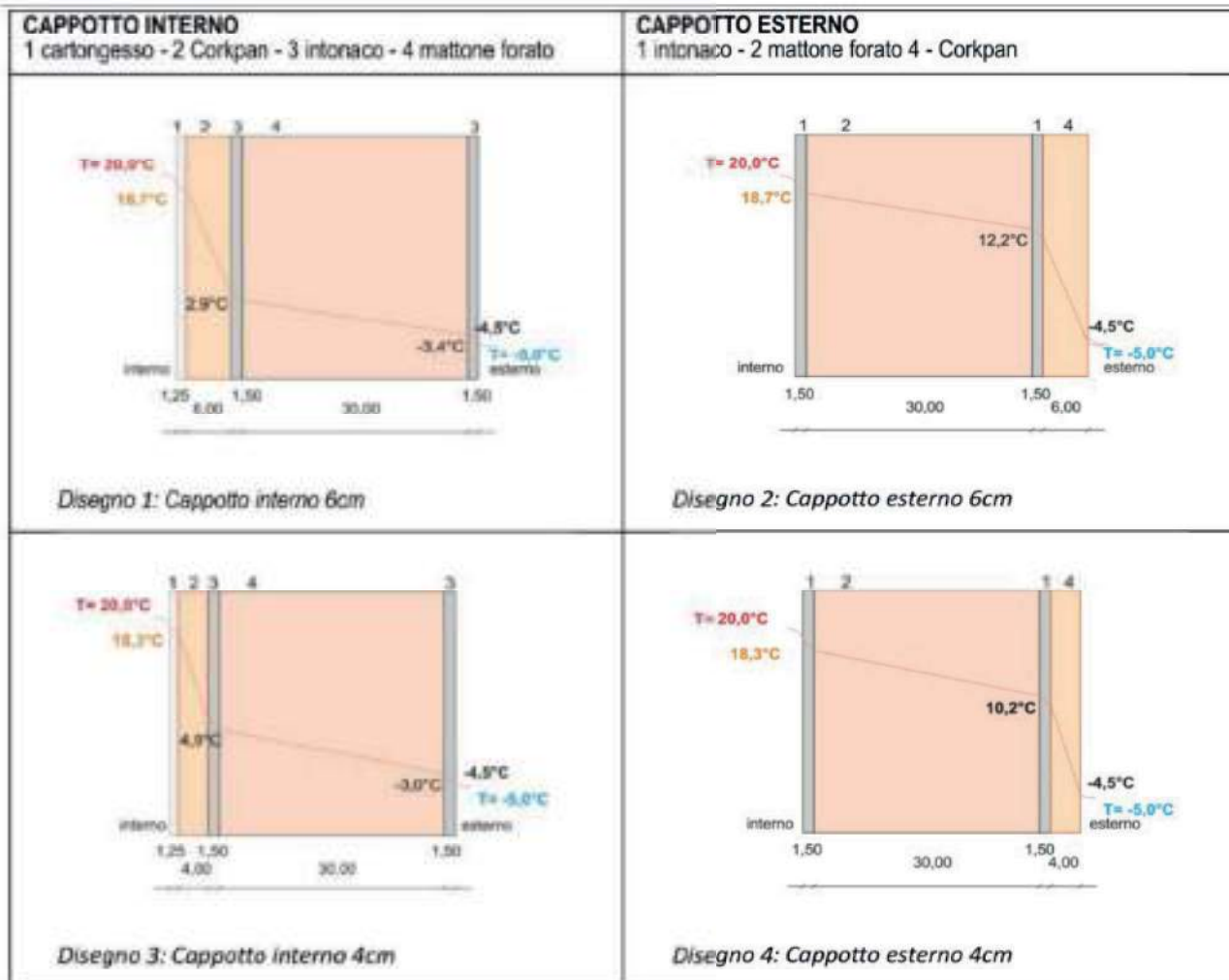
4. D.M. 26 giugno 2015, Appendice B (Allegato 1, Capitolo 4) REQUISITI SPECIFICI PER GLI EDIFICI ESISTENTI SOGGETTI A RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

5. Schematizzazione dei tre tipi di isolamento

6. Le immagini mostrano a titolo esemplificativo come cambiano le temperature nei punti critici (spigoli) nelle diverse situazioni. Come si può vedere la differenza di temperatura sullo spigolo tra caso 1 e caso 2 è molto lieve e pertanto il rischio di formazione muffa è piuttosto elevato. Le temperature superficiali invece aumentano notevolmente a beneficio del comfort interno: 16,30°C contro 19,97°C.



5.



6.

10. La normativa italiana richiede una verifica termo-igrometrica, mese per mese, dove quelli invernali sono indubbiamente i più rischiosi. Le condizioni interne sono fissate in 20°/65%Rh (Dlgs 311), mentre quelle esterne (UNI 10349) dipendono naturalmente dal clima locale: a condizioni climatiche più rigide corrisponde un maggior rischio di condensa.

sito la verifica termo-igrometrica<sup>10</sup> ha come scopo quello di determinare se in un certo punto del pacchetto costruttivo si verificano condizioni tali per cui l'umidità assoluta risulti non compatibile con quella massima ammessa. Questa operazione richiede, quindi, di ricavare necessariamente l'andamento della temperatura da cui dipende il valore di umidità assoluta.

Andando ad analizzare la curva di temperatura di una parete isolata, risulta subito evidente come questa presenti una notevole pendenza nel tratto del pannello isolante, corrispondente ad un sensibile raffreddamento dello strato.

Da ciò si può capire come un brusco calo di temperatura rappresenti un rischio per la formazione di condensa poiché si traduce in una diminuzione repentina del quantitativo massimo di umidità. Ovvero se arriva una quantità di vapore elevata si potrebbe verificare la condizione di umidità massima minore di quella assoluta. La quantità in eccesso in questo caso si dovrà forzatamente trasformare in acqua ovvero condensa ed accumularsi all'interno della parete.

I danni provocati dalla condensa nelle pareti possono portare al decadimento delle caratteristiche prestazionali con conseguente riduzione del grado di isolamento del muro, al peggioramento del comfort interno, al danneggiamento delle finiture e alla disgregazione del materiale stesso (anche con possibili rischi per la statica della struttura).

Al fine di evitare problemi legati al comportamento strutturale ed energetico dell'edificio è estremamente importante conoscere in modo dettagliato lo stato di conservazione dei vari componenti edilizi su cui si andrà ad intervenire. Avere un quadro completo di quelle che sono le problematiche strutturali, le caratteristiche tipiche dei materiali da costruzione utilizzati, la presenza o meno di condensa, le condizioni climatiche e l'ambiente con cui l'edificio si rapporta permette di capire cosa va ad influenzare il comportamento termico dell'edificio nel tempo e quali criteri utilizzare in fase di progettazione dell'intervento.

È molto importante studiare nel dettaglio i nodi più critici, perché soluzioni inadeguate possono causare il degrado dei materiali (ad esempio la marcescenza del legno e la formazione di condensa interstiziale delle pareti) e la creazione di pessime condizioni ambientali fino a rendere gli interni poco salubri e confortevoli (ad esempio la formazione di muffa sulle pareti).

Punti freddi possono formarsi non solo nella superficie di contatto

tra pannello e parete muraria, ma anche lì dove l'isolante risulta essere discontinuo.

Il problema dei ponti termici<sup>11</sup> è ricorrente quando non si isola dall'esterno, questo perché non possiamo avvolgere completamente la struttura, ma dobbiamo ragionare per regioni.

Gli spigoli verticali delle pareti così come i cordoli dei solai sono zone particolarmente delicate in quanto si ha la presenza di un ponte termico di tipo geometrico che va ad aggiungersi a quello dovuto alla mancanza di coibentazione o ad errori di tipo progettuale/costruttivo.

Altro caso cui prestare attenzione è rappresentato dalle strutture miste, ovvero quegli edifici storici che hanno subito nel tempo degli interventi a livello strutturale e che si trovano oggi ad essere costituiti da materiali diversi a contatto tra loro. Un esempio potrebbe essere la presenza di elementi in cemento armato all'interno di una muratura in laterizio: la diversa conducibilità dei materiali presenti ( $\lambda=2,3\text{W/mK}$  per il cemento armato e  $\lambda=0,3-0,5\text{W/mK}$  per il laterizio) fa sì che si crei una pericolosa diminuzione locale di temperatura come si può vedere nelle immagini seguenti.

Dal punto di vista dell'energia un ponte termico comporta in genere maggiori dispersioni di calore e occorre tenerne conto nel calcolo del fabbisogno energetico complessivo<sup>12</sup>.

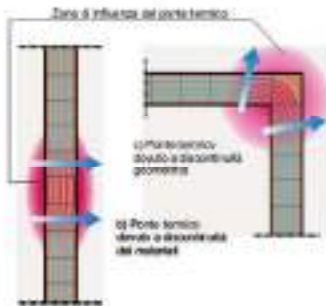
Per la progettazione di edifici ad alta qualità energetica e comfort è fondamentale progettare in modo da eliminare tutti i ponti termici dati dalle discontinuità dei materiali. Nella riqualificazione degli edifici storici questo spesso non è possibile per via della geometria e delle caratteristiche intrinseche al fabbricato. In quel caso cercare di minimizzare le dispersioni di calore e garantire una temperatura interna omogenea è il risultato a cui si dovrà tendere.

La coibentazione interna della parete va quindi abbinata preferibilmente ad un intervento più ampio che riguarda, dove possibile, l'intero edificio e non si ferma alle sole strutture opache verticali, ma si estende al solaio e al pavimento.

I ponti termici possono anche essere accidentali oltre che costruttivi e formarsi a causa di una non corretta esecuzione, dovuta ad esempio di una non corretta realizzazione del tetto, oppure nel caso di fessure nella struttura, qualora siano presenti delle discontinuità nello strato di intonaco, oppure per collegamenti inadeguati tra finestre e pareti.

11. Un ponte termico è una zona dell'involucro in cui sia presente una discontinuità (data dalla geometria delle strutture o dai materiali) tale per cui il flusso di calore tra interno ed esterno è diverso, in genere maggiore, rispetto al resto delle strutture.

12. Il calcolo del maggiore flusso di calore va eseguito con software di calcolo agli elementi finiti, validati secondo al UNI EN ISO 10211.



A sinistra ponte termico dovuto a discontinuità dei materiali.  
A destra ponte termico dovuto a discontinuità geometrica.

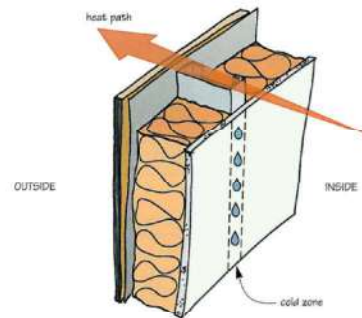
La presenza di principali ponti termici provoca i seguenti effetti:

- Modifica del flusso termico e aumento delle dispersioni energetiche fino al 20% delle dispersioni globali attraverso l'involucro edilizio
- Modifica della temperatura interna superficiale con conseguenti problematiche legate alla formazione di condensa superficiale
- L'elevata umidità relativa e la bassa temperatura rappresentano le condizioni ideali per la formazione delle muffe
- Degrado strutturale: le variazioni periodiche della temperatura superficiale causano stati tensionali interni tali da provocare lesioni o crepe dei materiali
- Discomfort abitativo: la diminuzione della temperatura superficiale interna in corrispondenza delle zone interessate da ponte termico provoca una sensazione di disagio in prossimità di tali superfici.

Quando si opera su di un edificio storico importante è l'approccio del progetto alle preesistenze. Oltre ai fattori fisico-chimici, determinanti per la scelta dell'intervento da effettuare al fine di non danneggiare la struttura che deve conservarsi integra, è fondamentale lo studio della geometria degli spazi e la percezione da parte dell'utente. Posto che in stanze ampie non si avvertirà tanto il restringimento degli ambienti, quanto il cambiamento del microclima interno, il problema si pone per le piccole abitazioni. L'utilizzo di materiali più innovativi, come per esempio l'aerogel, potrebbe ovviare al problema di un pannello isolante di spessore maggiore (2 cm di aerogel hanno lo stesso rendimento di 8 cm di lana di legno), viste le elevate prestazioni infatti si ridurrebbe di molto l'ingombro, ma non è detto che vi sia una compatibilità materica con tutte le strutture. Ogni caso va quindi valutato caso per caso e va pensato in termini, sì, di compatibilità, ma anche di riconoscibilità, reversibilità e minimo intervento. In molti casi infatti per garantire adeguati ancoraggi e resistenze, gli isolanti devono essere posati su supporti che soddisfano criteri di tenuta meccanica, complanarità, assenza di degrado e di umidità interstiziale o superficiale, intervento che va modificare sostanzialmente la situazione iniziale e rischia di mascherare le peculiarità dell'edificio.

La reversibilità è una delle *conditio sine qua non* di qualsiasi progetto di riqualificazione. Operata nei limiti che l'intervento e le necessità dell'edificio lo consente, dovrà garantire il ripristino delle condizioni precedenti l'inserimento dei nuovi elementi. Utilizzare

un collante a base di argilla per l'applicazione dei pannelli isolanti, o delle tecniche di montaggio a secco, può essere una valida alternativa nel caso in cui si ponga la necessità di smontare il pacchetto per sostituirlo o modificarlo. Sappiamo infatti che le tecnologie sono in continua evoluzione e pensare di realizzare oggi un cambiamento definitivo e risolutivo è utopico, se si pensa alla velocità con cui cambiano gli strumenti che abbiamo a disposizione. Minimizzare il più possibile l'intervento è fondamentale per preservare lo stato originario delle strutture e garantirne la riconoscibilità. Ovviamente l'inserimento di uno strato isolante interno modificherà l'estetica delle superfici, ma, se ben studiato, assicurerà la lettura della geometria.



Dispersione calore nella zona di discontinuità.



## 4.3 Compatibilità dei materiali isolanti con la struttura muraria originaria

Un intervento su di un edificio storico implica dei limiti e dei vincoli non solo dal punto di vista Culturale, ma anche legati alla consistenza materica del bene in sé. Una particolare attenzione va quindi posta nei confronti al ciclo di vita dell'edificio, nello specifico al ciclo di invecchiamento dei materiali che lo costituiscono e a come sono mutate le loro caratteristiche con il passare dei decenni. Parlare infatti di pietra o laterizio senza specificare luogo di provenienza ed epoca di realizzazione ci dà delle informazioni solo parziali sul corpo di fabbrica sul quale andremo ad intervenire.

A seconda infatti dell'origine del materiale si potrà risalire alle modalità di lavorazione con cui la materia prima è stata trasformata in un prodotto per l'edilizia, capirne le proprietà originarie e verificare come queste si sono mantenute o modificate nel tempo.

La resistenza meccanica è uno dei primi fattori da indagare perché un materiale ben conservato garantirà una maggiore durabilità delle strutture, ma soprattutto una minore probabilità che questa venga indebolita da fenomeni di degrado con conseguente perdita delle funzionalità dell'edificio stesso.

Andare a sovrapporre un nuovo materiale ad uno esistente è in questo senso un'operazione tanto innovativa quanto rischiosa se non ragionata con le dovute precauzioni. Non possiamo sapere con certezza tutti i fenomeni che si genereranno tra le due superfici poste a contatto tra loro, ma possiamo prendere delle precauzioni sulla base di esperienze pregresse, prove di laboratorio, indagini in situ, monitoraggi e simulazioni virtuali. Sempre tenuto conto che per quanto potranno essere approfondite le nostre analisi non ci daranno mai delle risposte assolute e con il progredire delle tecnologie e quindi delle nuove scoperte scientifiche potrebbe essere necessario rivedere alcune posizioni.

Per questo motivo la reversibilità dell'intervento è uno degli elementi fondamentali quando si opera su di un edificio storico ed ha lo scopo di cercare di prevenire dei danneggiamenti futuri, visibili solo sul lungo termine, e permettere di poter intervenire nuovamente ripartendo dalla situazione iniziale.

### 1.3. United Nations Framework Convention on Climate

Ovviamente una riflessione va fatta anche sul tipo di edificio con il quale si ha a che fare. Non tutta l'edilizia storica è sottoposta al medesimo vincolo e se ci sono casi in cui le possibilità di intervento sono limitate dati gli elevati valori culturali e storici di cui si fa portatore, oltre le peculiarità architettoniche irripetibili, è anche vero che c'è una grande quantità di patrimonio storico sul quale è prevista una maggiore libertà di intervento perché considerata edilizia minore e quindi eventuali alterazioni della forma e della materia non costituiscono una perdita insanabile, bensì ne garantiscono la prosecuzione di utilizzo nel tempo e il non abbandono.

A tale proposito Panofsky definisce negli anni '50 del '900 tre tipi di intervento possibili su una struttura storica ancora molto attuali, in ognuno dei quali non si va ad intaccare la conformità del manufatto (*concinntas albertiana*):

1. Preesistenza rimodellata secondo i principi contemporanei;
2. Prosecuzione dell'opera secondo le sue caratteristiche originarie;
3. Compromesso tra le prime due possibilità<sup>13</sup>.

La scelta di una piuttosto che un'altra possibilità è relativa alla situazione, oltre che alla natura dell'opera e all'inclinazione teorica e pratica dell'epoca in cui ci si trova.

Sicuramente il compromesso in molti casi risulta la giusta via di mezzo per non precludere l'apertura verso l'innovazione e mantenere al tempo stesso il rispetto nei confronti dei caratteri originari.

La compatibilità, strettamente legata in questo caso ai concetti di reversibilità e minimo intervento, obbliga in questi casi ad una accurata valutazione degli effetti fisico-chimici causati dalla sovrapposizione di materiali di epoche diverse con proprietà diverse, costretti a lavorare insieme a stretto contatto. Il non prendere in considerazione le conseguenze di una scelta non ponderata correttamente va ad eliminare la possibilità di ripristinare la situazione di partenza senza che vi sia alcuna modifica delle caratteristiche estetiche, chimiche e fisiche. Inoltre questo ci porterà a passare da un intervento che dovrebbe essere non invasivo e preservare la struttura e l'impatto visivo, ad un intervento che se pur a livello spaziale sembra funzionare, reca danni irreversibili all'immobile storico.

L'isolamento termico si ottiene mediante l'applicazione di un materiale, che può essere innovativo o derivato dalla tradizione, su una

superficie muraria o all'interno di intercapedini al fine di diminuire le perdite di calore, aumentare le prestazioni e cercare di renderle omogenee.

Abbiamo visto come "la presenza di coibente interno scherma fin da subito il trasferimento di calore per conduzione nei diversi strati della parete, portando all'aumento delle temperature superficiali e dell'aria interna e mantenendo costante la temperatura media radiante, con conseguenti benefici per il benessere termico degli utenti. Contemporaneamente, l'isolamento interno porta al raffreddamento più rapido del locale per effetto dell'assenza di massa termica del lato più interno della parete: nel momento in cui si spegne il riscaldamento l'isolante non trattiene il calore per poi rilasciarlo lentamente come fa una muratura tradizionale. La discontinuità dell'isolamento, inoltre, crea dei punti freddi in cui si può avere condensa superficiale o rischi di muffa" (Lucchi, 2013).

La scelta quindi della tipologia risulta fondamentale dal momento che quelli non traspiranti, come il poliuretano, tendono a veicolare la condensa all'interno della parete, mentre molti di quelli traspiranti, come le lane minerali, assorbono acqua e si può correre il rischio di imbibire la parete oltre la perdita delle prestazioni energetiche.

Storicamente la necessità di proteggersi e proteggere dagli sbalzi di temperatura ha fatto sì che l'uomo adottasse delle tecniche rudimentali di isolamento in parte perse con il progredire dello sviluppo tecnologico e la realizzazione di impianti che potevano tranquillamente sostituire quegli accorgimenti una volta indispensabili a garantire un adeguato livello di comfort. Lo studio delle tecnologie derivate dalle epoche passate ci insegna come "materiali idonei per quel microclima che legati al sistema tecnologico compatibile possano risolvere il problema dell'abitare, cambiando la strategia, naturale esigenza di ricerca di protezione dalla Natura stessa"<sup>14</sup>.

Materiali come paglia e lana sono un'eredità di cui ancora ci serviamo anche se in forme e composizioni leggermente differenti dal passato. Era a volte prassi coprire internamente le pareti delle stanze con degli arazzi in lana lavorati e decorati non solo come elemento di arredo, ma perché la presenza di uno strato di pesante lana posto a contatto con la parete o leggermente discostato garantiva un maggiore livello di isolamento negli ambienti, o come diremmo oggi permetteva un abbassamento del valore della trasmittanza della parete muraria.

14. P. Rava. (2010). Del restauro energetico degli edifici storici. In *Il recupero energetico ambientale del costruito*. A. Rinaldi (cur.). Roma: Maggioli Editore.



Pannello isolante in canne palustri derivato dai metodi di isolamento tradizionali.

15. E. Lucchi. Gli edifici storici nel futuro. Innovazione dei materiali per l'efficienza energetica dell'edilizia storica. In *Futuro Prossimo*, p. 172-176

In alcune zone d'Italia tipiche dell'Emilia Romagna si utilizzava invece spesso uno strato di incannucciato per rivestire lo strato interno delle pareti e migliorare le proprietà isolanti della struttura. Tecnica arrivata fino a noi oggi, perfezionata e rivisitata in chiave moderna con la realizzazione dei pannelli in canniccio.

Una delle maggiori problematiche legate all'isolamento dall'interno è data dalla traspirabilità del materiale utilizzato.

Negli edifici tradizionali infatti si riscontra normalmente la presenza di materiali ad elevata porosità il che determina un maggiore livello di umidità. Per questo motivo la scelta del materiale isolante deve conformarsi con le caratteristiche di permeabilità e traspirabilità del sistema murario o comunque essere in grado di bilanciarle. Spesso però gli isolanti ad alta traspirabilità danno anche dei problemi di accumulo di grandi quantità d'acqua. Per ovviare ai problemi connessi con l'isolamento interno degli edifici storici, nel progetto europeo 3ENCULT "Efficient energy for European cultural heritage" è stato sviluppato un materiale isolante in poliuretano a capillarità attiva (iQ-Therm di Remmers) che garantisce ottime prestazioni di isolamento termico ( $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$ ) e di traspirabilità al vapore. In pratica è costituito da un pannello in poliuretano ad alta densità sul quale è realizzata una griglia di micro-fori che agisce come canale di diffusione e di trasporto dell'umidità. La scelta del poliuretano permette di ottenere elevate prestazioni energetiche con ridotti spessori. I micro-fori, invece, sono realizzati con il laser, a intervalli regolari, perpendicolari alla superficie dei pannelli e riempiti in fabbrica con uno speciale materiale minerale a capillarità attiva. I pannelli vengono accoppiati tra loro con una malta a base di calce NHL5 e incollati alla parete interna con un collante a base di argilla per mantenere elevate proprietà di traspirabilità e per garantire la totale reversibilità dell'isolamento<sup>15</sup>.

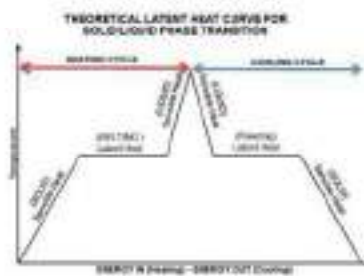


Grafico del funzionamento dei PCM

I PCM, o Phase Change Materials, sono materiali composti da sali o paraffine che accumulano e rilasciano grandi quantità di calore pur mantenendo la loro temperatura costante. La loro peculiarità sta nel riuscire a cambiare stato da solido a liquido in relazione alle sollecitazioni esterne. Normalmente i materiali a cambiamento di fase si presentano allo stato solido. Quando le temperature si innalzano rompono i propri legami passano a quello liquido, accumulando una grande quantità di energia termica che sarà poi rilasciata negli ambienti durante le ore più fredde della giornata, quando si ripre-

senteranno le condizioni per il ritorno alla fase solida. In commercio i materiali a cambiamento di fase si trovano perlopiù incapsulati in un materiale inerte che non varia mai il proprio stato fisico in modo da poterli contenere anche nelle fasi in cui sono liquidi.

La composizione chimica gli fornisce elevate caratteristiche di conduttività permettendo di essere utilizzati anche con spessori molto ridotti. Con una temperatura di fusione molto vicina ai livelli di comfort, utilizzati per l'involucro edilizio contribuiscono riescono ad incrementare l'inerzia termica dell'involucro edilizio mantenendone al contempo la temperatura pressoché inalterata, stabile intorno al punto di fusione del materiale.

Ad eccezione di alcune schiume cellulari, il funzionamento della maggior parte dei materiali isolanti tradizionalmente utilizzati si basa sull'incorporamento dell'aria in piccole cavità o pori che impediscono lo scambio termico per convezione. Questo è il motivo per cui per quanto sia stato possibile migliorare le loro caratteristiche, i valori minimi non sono mai scesi al livello dei materiali definiti super-isolanti.

Per andare oltre questo limite e raggiungere il superisolamento mediante la riduzione della conducibilità termica, possono essere applicate tre strategie principali:

- Rimozione del gas: questa tecnica è utilizzata per i pannelli isolanti sottovuoto (VIP);
- Cambiare il tipo di gas: come viene fatto per le vetrocamere delle finestre, riempite di Argon o Krypton;
- Intrappolare il gas in minuscoli pori che abbiano una dimensione inferiore al percorso medio fatto dal gas intrappolato al fine di limitare il trasferimento di energia tra le molecole. Questa tecnica è utilizzata per gli aerogel o altri materiali nano-porosi.

La Commissione Europea ormai da anni promuove i progetti di ricerca che puntano allo sviluppo di materiali innovativi superisolanti al fine di abbattere i costi di produzione ancora troppo alti e far fronte al problema dello sgretolamento dei materiali stessi. Su questo hanno lavorato progetti come AEROCOINS<sup>16</sup>, NANOINSULATE e FOAMBUILD, proponendosi di sviluppare nuovi aerogel compositi ibridi organici-inorganici o nanostrutturati, realizzare schiume a base di particelle termoplastiche e pannelli isolanti sottovuoto (VIP), il tutto in un'ottica il più sostenibile possibile.

16. Il progetto AEROCOINS (Aerogel-based composite/hybrid nanomaterials for cost-effective building super-insulation systems), finanziato dall'UE, si è proposto di sviluppare una nuova classe di compositi di aerogel forti dal punto di vista meccanico. Le prestazioni termiche, strutturali e meccaniche dei materiali in aerogel sviluppati sono state valutate con successo in due edifici in condizioni reali e quindi confrontate con quelle dei tradizionali materiali di isolamento. Fonte: [http://cordis.europa.eu/result/rcn/91569\\_it.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/91569_it.html)



Vacuum insulation panel (VIP)

17. <http://ivis2015.nuaa.edu.cn/>

18. La criogenia è una branca della fisica che si occupa dello studio, della produzione e dell'utilizzo di temperature molto basse (sotto i  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  o  $123\text{ K}$ ) e del comportamento dei materiali in queste condizioni

19. The International Energy Agency (IEA) was established as an autonomous body within the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) in 1974.

20. ASTM International è un organismo di normalizzazione statunitense, acronimo di American Society for Testing and Materials International.

Il crescente interesse del XXI secolo nei confronti dei materiali definiti superisolanti vede dal 2001, ogni due anni, l'organizzazione di un simposio internazionale. L'ultimo International Vacuum Insulation Symposium (IVIS) svoltosi nel 2015 era la 12° edizione ed è stata ospitata dal Super Insulation Composite Laboratory (SICL) della Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (NCAA). IVIS2015<sup>17</sup> incoraggiava la partecipazione di ricercatori e fornitori di pannelli isolanti sottovuoto (VIP) nell'edificio, refrigerazione e in applicazioni criogeniche<sup>18</sup> su scala mondiale. L'obiettivo principale di tali studi sui materiali superisolanti è quello di fornire dati affidabili (proprietà, durabilità, compatibilità, ricadute sul lungo termine) e tecniche di installazione sicure.

L'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA), nell'annex 39, ha studiato l'applicazione dei pannelli isolanti sottovuoto (VIP) nel settore edilizio. Con l'annex 65<sup>19</sup>, Long-Term Performance of Super Insulation Materials in Building Components and Systems, operativo da metà anno 2014, l'attenzione si è sempre più spostata sui temi legati ai sistemi di isolamento.

Questo tipo di isolanti termici hanno dei valori di conducibilità termica molto bassi rispetto a quelli tradizionali, motivo per cui in caso di riqualificazione energetica di edifici esistenti si avrebbe un notevole risparmio nello spessore (2-5 cm), ma allo stesso tempo non sappiamo fino a che punto possano essere compatibili con delle murature storiche senza comportare problemi non solo di comfort e vivibilità, garantendo la corretta conservazione delle strutture.

Le caratteristiche prestazionali dei materiali da costruzione sono spesso individuate da norme tecniche armonizzate (vedi EN 13164:2012 per il Poliuretano Espanso ed EN 13165:2013 per il Polistirene Espanso Estruso XPS) o in mancanza di esse, da valutazioni tecniche europee volontarie (Documento di Benessere Tecnico Europeo BTE), sulla base dei quali ogni fabbricante fa le proprie dichiarazioni di prestazione.

In Europa sono pochi ancora i materiali superisolanti coperti da valutazioni tecniche europee, tanto meno da norme tecniche armonizzate. Attualmente i gruppi di lavoro CEN e ISO stanno preparando delle proposte di norme tecniche per i materiali iperisolanti. Negli Stati Uniti c'è invece lo standard ASTM<sup>20</sup> che copre i requisiti generali per i pannelli isolanti sottovuoto (VIP).

L'aerogel è un materiale derivato dal settore aerospaziale e trova nel settore edilizio solo di recente applicazione come materiale isolan-

te. Le elevate prestazioni hanno portato allo studio dell'applicabilità negli edifici storici, dove consente un miglioramento prestazionale con spessori ridotti.

Nell'ambito del progetto di ricerca EFFESUS "Energy Efficiency for EU Historic Districts Sustainability" è stato sviluppato un isolante a base di aerogel pensato appositamente per gli edifici storici (Spacefill di APG). Si tratta di un materiale composito costituito da fibra di poliestere, a cui sono aggrappate particelle di aerogel di natura silicea prodotte da materiale riciclato o di nuova produzione. La composizione permette di ottenere buone prestazioni termiche ( $\lambda = 0,0255 \text{ W/mK}$  con densità di  $70 \text{ kg/m}^3$ ), di permeabilità al vapore, igroscopicità e resistenza meccanica. Il materiale è pensato per essere insufflato all'interno di cavità e intercapedini di pareti storiche, dove garantisce la compatibilità chimico-fisica, il minimo intervento e la reversibilità. Il problema principale riguarda la produzione di polvere durante la fase di installazione, ma approfondite ricerche hanno dimostrato che non produce particolari problemi per la salute. È stato sviluppato anche uno speciale intonaco termoisolante con aerogel (Fixit 222) dotato di elevate prestazioni energetiche ( $\lambda_{10} = 0,0261 \text{ W/mK}$  e  $\lambda_D = 0,028 \text{ W/mK}$ ). Il materiale è particolarmente indicato per gli edifici storici perché la formulazione minerale a base di calce e l'alta permeabilità al vapore, oltre ad essere compatibile tecnicamente ed esteticamente con gli intonaci di tipo tradizionale, permettono anche di ridurre la formazione di muffe superficiali e interstiziali<sup>21</sup>.

Esiste in commercio un altro prodotto ibrido a base di aerogel e lana di roccia pensato appositamente per l'isolamento dall'interno. Dall'unione di questi due materiali isolanti, Rockwool ha creato un isolante minerale caratterizzato da un'ottima prestazione termica, l'Aerowool. La matrice composta da questi due materiali viene poi rivestita da un lato con una lastra di gessofibra con l'interposizione di un elemento di controllo del vapore.

Negli edifici storici, può essere applicato come isolamento interno per ottimizzare l'efficienza energetica con spessori ridotti ( $\lambda_D = 0,019 \text{ W/mK}$ ;  $S_d$  -spessore d'aria equivalente =circa 3), alta traspirabilità e ridotta invasività estetica e materica. La presenza della lastra in gessofibra assicura un'elevata resistenza meccanica e agli urti mentre l'elemento di controllo al vapore regola l'eventuale formazione di condensa interstiziale.

Un'alternativa all'applicazione dei pannelli isolanti è rappresentata dagli intonaci termoisolanti utilizzabili lì dove l'intonaco originario

21. E.Lucchi. Gli edifici storici nel futuro Innovazione dei materiali per l'efficienza energetica dell'edilizia storica. In *Futuro Prossimo*. p. 172-176



Pannello in Aerogel

22. Ivi.

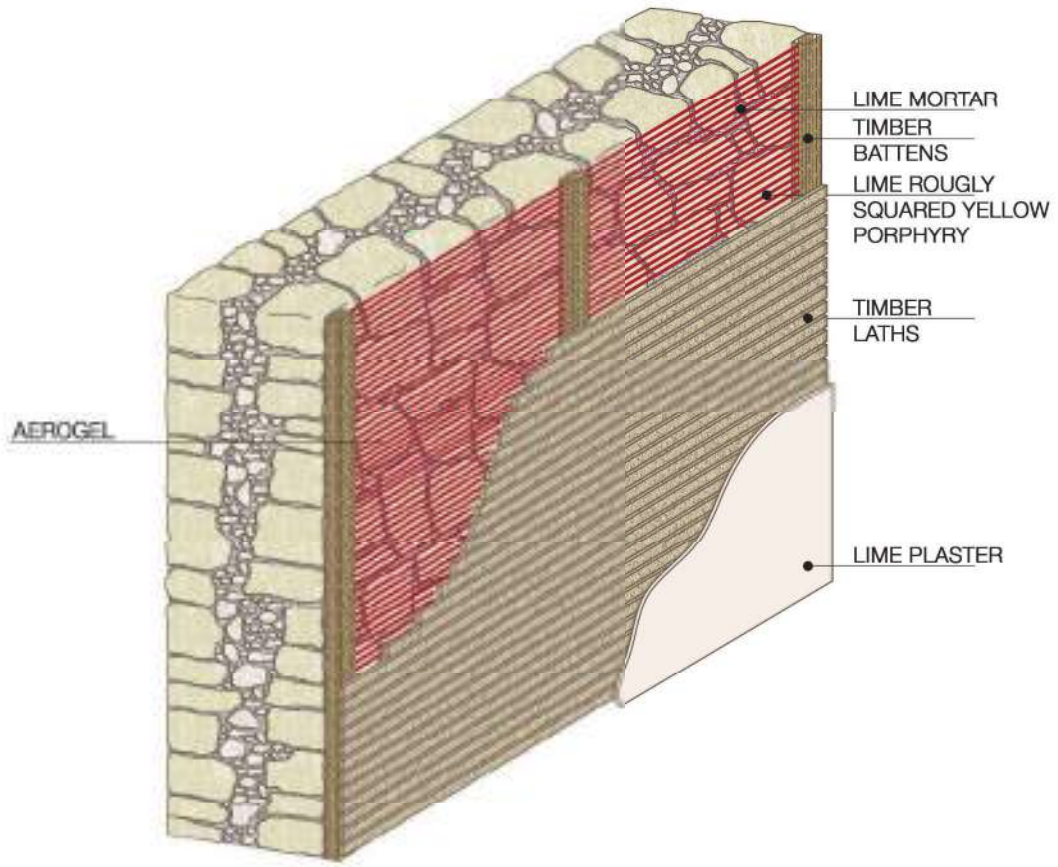
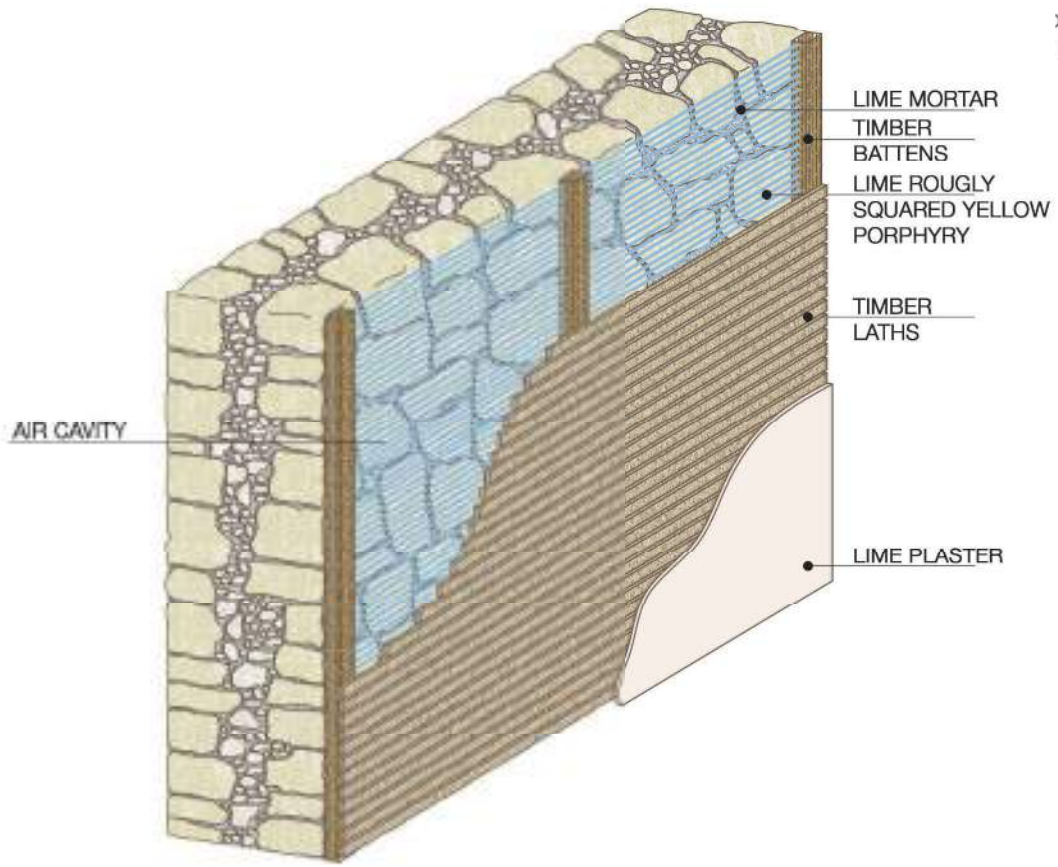
si presenta danneggiato al punto tale da non poter essere recuperato.

Gli isolanti a base di calce sono costituiti in genere da leganti idraulici e materiale isolante a granulometria finissima e sempre della stessa dimensione. Ovviamente per essere compatibile con il substrato storico ed evitare che si creino fenomeni di condensa, la miscela deve essere realizzata con materiali naturali il più compatibili possibili con quelli utilizzati nella parete originaria, come la calce e il caolino (argilla bianca). L'inerte utilizzato con funzione isolante può essere di tipo organico, inorganico o naturale. La scelta dipenderà a seconda se si necessita di una maggiore traspirabilità al vapore (perle di poliestere) oppure si prediligono buone prestazioni di sfasamento e attenuazione (fibra di vetro, perlite espansa, vermiculite, sughero).

Nell'ambito del progetto EFFESUS è stata sviluppata una malta a base di calce (NHL5) con aggiunta di granuli di EPS, specifica per gli edifici storici (Isocal Bofimex). L'obiettivo era quello di ottenere un prodotto che fosse removibile in un secondo momento senza arrecare danno alle strutture ed essere esteticamente compatibile. "Più recentemente è stata sviluppata anche una malta di calce a base di grafene, perfettamente compatibile con le pareti storiche che, in aggiunta rispetto ai prodotti tradizionali, svolge anche funzioni di consolidamento strutturale ed efficienza energetica. È costituita da una miscela di grasselli di calce aerea, con inerti dotati di elevata qualità e composti da carbonato di calcio (purezza > 90%), rocce silicee e pigmenti inorganici. Il materiale composito è ottenuto da processi tradizionali di cottura in un antico forno a legna, proprio per mantenere invariate le proprietà e la qualità della malta di calce antica (analogamente a quanto si fa con i prodotti speciali per il restauro). Questo permette di avere un prodotto perfettamente compatibile dal punto di vista estetico e materico con la malta e gli intonaci a base di calce di tipo antico o tradizionale. Normalmente, infatti, si utilizza come primo strato di rivestimento, sul quale devono poi essere applicate due mani di finitura a base di calce superfine"<sup>22</sup>.

Didascalia alle immagini.

7. Disegni realizzati per la presentazione delle prove di laboratorio del progetto EFFESUS. L'Eurac Research di Bolzano ha deciso di ricostruire in laboratorio una parete storica con intercapedine all'interno del quale è stato insufflato dell'aerogel. Il muro è stato analizzato in camera climatica prima e dopo l'inserimento del prodotto isolante e ne sono stati valutati i risultati.





## BEST PRACTICES. ANALISI DI CASI STUDIO VIRTUOSI: PROCESSI E PROGETTI

### ABSTRACT

Sulla base dell'analisi critica di molteplici casi studio, la seconda parte della ricerca mira a mettere in luce significative esperienze operate a livello internazionale, riconducibili ad interventi di riqualificazione energetica dell'organismo storico, che hanno prodotto risultati interessanti, assumendo quasi il ruolo di modelli da cui poter elaborare delle buone pratiche di intervento, al fine di evidenziare opportunità progettuali e dispositivi tecnici mirati a NZHB.

La schedatura sistematizzata di dodici esempi virtuosi, selezionati per gli interventi (innovativi o tradizionali) operati specificatamente sull'involucro storico, deriva dall'analisi dei progetti di ricerca internazionali, riferiti al macrotema dell'efficiamento energetico del patrimonio storico. All'interno dei recenti Programmi Quadro di Ricerca e Sviluppo Tecnologico (Quinto, Sesto, ed in Horizon 2020) l'Unione Europea ha posto il focus sui temi della sostenibilità (sociale, ambientale, economica) e del risparmio energetico come quadro di riferimento, in cui sono evidenziate azioni di ricerca sul recupero, riuso, riqualificazione e conservazione dell'esistente al fine di ridurre il consumo di suolo, da un lato, e il consumo energetico dall'altro. In questa direzione l'obiettivo da raggiungere è l'efficienza energetica del patrimonio storico, preservandone il valore culturale e la struttura fisico-morfologica originaria, garantendone un utilizzo compatibile con il valore storico-culturale, che assicuri ridotti consumi, quasi vicino allo zero (NZHB). La complessa definizione di "edificio ad alta efficienza energetica", organismo edilizio in grado di richiedere un livello energetico minimo per garantire una condizione di benessere indoor, con l'adozione di soluzioni che dialoghino con il contesto microclimatico e siano compatibili con le caratteristiche tipologico-costruttive dell'edificio, non può direttamente essere trasferita all'esistente stratificato, poiché entrando in gioco numerosi fattori differenziati contemporaneamente, il raggiungimento di un accettabile livello di efficienza è operazione complessa che necessita di un approccio olistico.



## 5.1 .Progetti alla scala del comparto edificato

I centri storici rappresentano un patrimonio architettonico storico unico dotato di una propria "artisticità diffusa"<sup>23</sup> che si fonde con i caratteri naturali e paesaggistici dei territori di appartenenza; rappresentano il risultato di un lungo processo evolutivo fatto di successive stratificazioni, in cui le singole architetture e gli spazi urbani acquistano valore in quanto parte integrante di un organismo urbanistico caratterizzato in genere da caratteri cromatici, materici e costruttivi unitari, strettamente collegati e integrati con il territorio circostante per l'uso prevalente di materiali reperiti direttamente sul luogo. La valorizzazione dei centri storici rappresenta un punto di grande rilevanza non solo sotto l'aspetto culturale, rappresentato dai luoghi in cui si personifica la memoria e l'identità della città, ma anche sociale ed economico per la moltitudine di investimenti che può richiamare<sup>24</sup>.

Salvaguardare i caratteri storico-culturali dei propri insediamenti urbani può però a volte voler dire fare una scelta non solo di tipo strettamente conservativo, ma rivolta a un rinnovamento che tenga conto delle necessità legate al concetto di comfort del nostro tempo e delle nuove destinazioni d'uso che spesso devono essere supportate.

Una distinzione fa fatta per quanto riguarda i centri storici con diffusi caratteri di pregio e quindi maggiormente vincolati, e nuclei edilizi caratterizzati da edilizia più semplice che non presenta né particolari articolazioni volumetriche interne, né tratti rilevanti esternamente, il che garantisce una maggiore flessibilità di intervento.

Solo uno studio approfondito delle strutture permette di individuare le criticità e i punti di maggiore dispersione al fine di intervenire con progetti mirati e specifici con un impatto ridotto sull'edificato. Rivalutare il comportamento passivo dell'architettura storica, non puntando solo ed esclusivamente sull'impiantistica, è uno dei punti di partenza per compensare le variazioni climatiche e garantire una fruizione adeguata dell'edificio.

Fondamentale è il lavoro sull'involucro, che soprattutto nell'edili-

23. Termine coniato da Roberto Pane nell'ambito del Congresso Nazionale di Storia dell'architettura tenutosi a Palermo nel 1950, per definire quell'edilizia minore più modesta dal punto di vista architettonico e artistico, ma sicuramente altrettanto ricca dal punto di vista culturale.

24. Ing. Maria Agostiano, Funzionario presso la Direzione Generale per il Paesaggio, le Belle Arti, l'Architettura e l'Arte Contemporanea del Ministero per i Beni e le Attività Culturali. *La riqualificazione energetica nel recupero dei centri storici.*

25. Ministero per i Beni e le attività culturali, Direzione regionale per i beni culturali e paesaggistici del Veneto. (2010). *A.T.T.E.S.S. Edilizia Storica e Sostenibilità Ambientale*. p. 124.

26. La componente THERMIE del Quinto programma quadro europeo pone l'accento sulla dimostrazione e sulla promozione di tecnologie energetiche pulite ed efficienti in tre grandi campi: fonti energetiche rinnovabili; uso razionale dell'energia negli edifici, nell'industria e nei trasporti; uso più pulito e più efficiente dei combustibili fossili e maggiore efficacia delle operazioni di esplorazione, distribuzione e trasporto di idrocarburi. Ricostruzione. Ex art. 14, com. 5, Legge 72/2009.

zia minore, rappresenta un elemento critico di dispersione termica. Se talvolta l'elevato spessore murario e i materiali costruttivi scelti compensano la mancanza di un sistema di isolamento, più spesso gli edifici con strutture non di pregio presentano non sono in grado di far fronte ai bisogni dei propri utenti determinando costi di gestione elevati e qualità della vita non ai livelli degli standard attuali. L'interdisciplinarietà come strumento principale per coordinare in maniera coerente ed esaustiva le diverse competenze necessarie allo studio e alla definizione degli interventi.

"Il progetto di riqualificazione urbana deve porsi l'obiettivo del rispetto della diversità delle comunità e dell'ambiente. Questo rafforzerà, aumentando le sue probabilità di successo e la sua coerenza con i bisogni, le volontà e le aspirazioni dei cittadini, la promozione della coesione e dell'equità nel rispetto delle diversità sono punti strategici del progetto, in quanto garantiscono lo stesso beneficio di un ampio spettro di conoscenze, capacità ed esperienze che le diversità della popolazione offrono"<sup>25</sup>.

A livello nazionale e internazionale numerose ricerche hanno affrontato il problema della riqualificazione energetica dell'edilizia storica, seppure con approcci differenziati dovuti al fatto che ogni paese presenta un patrimonio storico differente per tipologia ed epoca di costruzione.

Uno dei primi esempi definibile virtuoso è quello della città di Boulder negli Stati Uniti che fin dal 1974 aveva emanato un'ordinanza in cui si chiedeva ai proprietari di edifici con valore storico di preservare gli immobili tenendo conto anche del fattore energetico. Questo tipo di approccio è stato solo nel 2006 tradotto in due volumi: "Principi e approcci al problema dell'intervento energetico su edifici storici" e "Dettagli tecnici". Le pubblicazioni dimostrano come una ricerca, seppure non codificate e redatta in forma scritta, era già in corso da molto tempo e che l'attenzione verso la questione energetica riferita agli edifici antichi non è di recente interesse. Il programma di articola in una vera e propria guida rivolta ai proprietari di edifici storici affinché possano conoscere le opportunità date da un intervento sul proprio edificio e sappiano in che modo si più corretto agire.

Nell'ambito del programma Thermie<sup>26</sup>, promosso dalla Commissione Europea, si colloca il progetto RESTART-Renewable Energy Strategies and Technology Applications for Regenerating Towns (1997-2002), coordinato da RESET (Renewable Energy Strategies for European Towns) in collaborazione con le città di Dublino, Lio-

ne, Barcellona, Glasgow, Copenhagen, Rotterdam, Porto e Torino. Grazie al coinvolgimento di differenti attori quali progettisti, amministratori locali, industrie, il progetto ha lavorato su scala microurbana, con un approccio sistemico, per la riqualificazione energetica dei siti pilota. Questi, scelti in base a differenti criteri, avevano in comune il fatto di essere già stati inseriti nella programmazione delle singole città di appartenenza, in qualità di aree da riqualificare. I siti dovevano inoltre comprendere un'area sufficientemente vasta per consentire azioni ad ampio spettro ed elevata visibilità. Sono stati realizzati 8 progetti, tra cui il Parco Scientifico e Tecnologico per l'Ambiente a Torino, capace di coniugare innovazione tecnologica ed ecoefficienza. L'obiettivo principale era, per tutti gli edifici coinvolti, la diminuzione del fabbisogno di energia primaria anche attraverso l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

Sempre a livello europeo, uno dei principali progetti meritevoli di menzione è sicuramente SECHURBA (Sustainable energy communities in historic urban areas). Il progetto ha coinvolto 7 Stati Europei in una serie di studi finalizzati a redigere delle linee guida contenenti indicazioni facilmente adottabili dalle comunità locali. Lo scopo era quello di sensibilizzare i cittadini e coinvolgerli attraverso azioni di educazione formazione collettiva riguardo i temi del recupero sostenibile degli edifici nei centri storici. Attraverso una serie di casi studio analizzati sotto un profilo multidisciplinare si voleva dimostrare che è possibile integrare ed inserire in modo compatibile le tecnologie rinnovabili anche in strutture storiche. In questo modo l'esistente diviene allo stesso tempo uno strumento per la riduzione della CO2 e per un uso consapevole delle risorse a nostra disposizione. SECHURBA si è posto come obiettivo il fornire indicazioni per l'utilizzo di RES e RUE in aree urbane storiche, realizzando uno strumento innovativo per la verifica della fattibilità e della compatibilità dei nuovi sistemi di risparmio energetico in edifici e centri storici, diretto soprattutto agli operatori del settore. Uno dei principali prodotti è stata sicuramente la guida *Progetto Sechurba. Una guida per la sostenibilità energetica in edifici e centri storici. Dalla cultura e dalla storia allo sviluppo sostenibile*.

Nell'Appendice 2 viene riportato ed analizzato il caso studio del Castello di Zena, di cui si è occupato l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali (ITABC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). La ricerca si è mossa da uno studio preliminare delle caratteristiche del luogo e dell'edificio in se. Dopo un accurato rilievo

e ricostruzione delle fasi che hanno caratterizzato lo sviluppo del Castello si è scelto un approccio multidisciplinare per progettazione degli interventi di riqualificazione energetica. Nello specifico l'ITABC ha sviluppato un modello di analisi e valutazione multicriteria di supporto a progettisti, tecnici e tutti gli attori competenti in generale. L'impostazione metodologica permette di valutare in modo integrato tutte le componenti edilizie e i parametri tipologici e funzionali del complesso architettonico al fine di identificare le alternative migliori nel rispetto delle preesistenze.

Per quanto riguarda invece i casi studio gli approcci sono variati sulla base delle necessità che ciascun centro riscontrava come prioritarie: nella città di Atene la necessità di spazi verdi e della individuazione di modelli di trasporto sostenibili hanno rappresentato temi prioritari, e quindi la maggior parte delle misure individuate per il miglioramento ambientale hanno preso in considerazione anche tali aspetti. La città di Shrewsbury, invece si è impegnata maggiormente sulla riqualificazione del costruito e su strategie di sensibilizzazione della comunità. La città di Chieti ha prestato attenzione, in via prioritaria, a temi connessi al trasporto sostenibile in ambito urbano. Caso italiano del tutto applicativo, che vede commistione tra ricerca e progettazione esecutiva, è il caso di Serravalle, la cui esperienza viene riportata ed analizzata all'interno dell'Appendice 2, nel comune di Vittorio Veneto, dove l'ENEA ha recuperato in chiave green un intero nucleo urbano di novantamila metri quadrati. Il progetto è stato realizzato all'interno del bando Contratti di Quartiere II, emesso da Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e Regione Veneto, in corso dal 2004, con la finalità riqualificare ambienti urbani degradati, carenti di servizi e con un marcato disagio abitativo e migliorare la qualità della vita della comunità locale.

Il progetto fa riferimento all'iniziativa promossa e coordinata dal Metadistretto Veneto della Bioedilizia e dal Metadistretto Veneto dei Beni Culturali, nell'ambito della quale sono state redatte le linee guida A.T.E.S.S (Azioni di Trasferimento Tecnologico per il miglioramento delle prestazioni Energetico ambientali dell'edilizia Storica secondo i criteri dell'edilizia Sostenibile). Il documento redatto nel 2010 tiene conto sia dei principi propri del restauro che dei criteri base della bioedilizia, dando informazioni e suggerimenti sulla metodologia da applicare e sulle tecnologie innovative esistenti nel campo. Il programma si focalizza sugli edifici realizzati con tecniche costruttive e materiali tradizionali, con lo scopo di promuovere una

normativa specifica dedicata. Il punto di vista non è solo conservativo, ma anche economico consapevolezza che la valorizzazione del costruito tradizionale possa generare una nuova economia di settore.

Nel comune di Serravalle l'obiettivo è stato quello di operare un recupero conservativo di alcuni edifici vincolati e realizzare interventi sostenibili ad alto grado di innovazione. Attraverso lo studio delle specificità del tessuto si è potuto procedere con la progettazione di interventi qualificanti per se stessi e per il territorio, al fine di ricostruire anche i nodi fondamentali della città, espressione dell'assetto sociale, fisico ed espressivo della comunità.

Le strategie per la riqualificazione sostenibile degli edifici storici individuate sono:

- Miglioramento degli effetti del *day lighting*;
- Ottimizzazione della qualità interna dell'aria;
- Installazione di sistemi elettrici ed illuminotecnici a basso consumo;
- Scelta dei materiali a basso impatto energetico-ambientale;
- Controllo e monitoraggio degli impianti.

Il progetto ha messo a punto una metodologia per la ricerca progettuale che tende verso un sistema della qualità che passi attraverso delle fasi preliminari obbligatorie. Il fine è quello di dimostrare che, seppure ogni edificio rappresenta in se un'esperienza irripetibile e vada indagato nella sua totale unicità, il patrimonio storico vede delle caratteristiche tecnologiche e delle impostazioni tipologiche che spesso si ripetono e che possono aiutarci a mettere a punto un sistema di indagine che sia applicabile su larga scala.

L'ENEA individua quattro fasi fondamentali: conoscitiva, analitica, ideativa, di controllo.

Solo strutturando di volta in volta in modo adeguato questi passaggi si potrà arrivare a progettare interventi frutto di un approccio sistematico ed integrato.

Facendo parte del più complesso asse *INTERREG III B CADSES*, il progetto *Hist.Urban* ha come obiettivo principale la valorizzazione dei centri storici delle piccole e medie città dell'Europa centrale e orientale, caratterizzati da una cultura costruttiva unica nel suo genere e capace di porre le basi per uno sviluppo urbano sostenibile. Il programma si articolava attorno a tre differenti aree tematiche: *Planning and Management, Socio-economic Revitalisation, Urban*

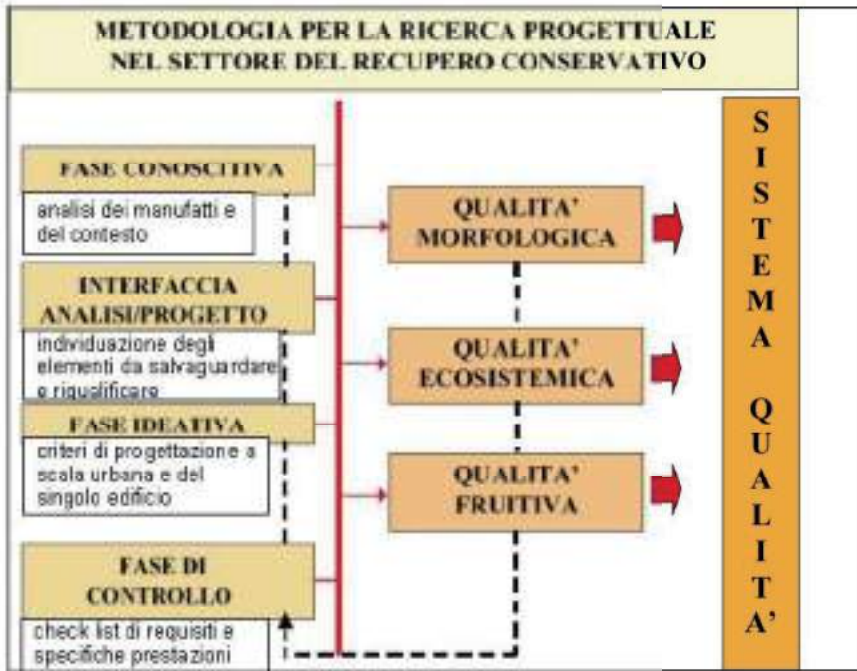
27. I risultati della ricerca sono consultabili on line sul sito [http://www.alfoldinfo.hu/cadses/Transnational\\_Manual.pdf](http://www.alfoldinfo.hu/cadses/Transnational_Manual.pdf), dove è possibile scaricare le linee guida: *Hist. Urban. Transnational Manual Integrated and Implementation-oriented Revitalisation Approaches for Historic Towns*.

*Rehabilitation and Ecological Revitalisation.* Il progetto si è posto l'obiettivo di promuovere i principi dell'architettura bioclimatica come possibilità di sviluppo sostenibile ed economico. L'innovazione riscontrabile nel programma è relativa alla promozione di un processo pianificativo partecipativo legato strettamente ai principi della sostenibilità ambientale<sup>27</sup>.

Didascalia alle immagini.

8. Schema illustrativo del sistema metodologico applicato alla progettazione della riqualificazione del comune di Serravalle.

9. Sviluppo della metodologia di progettazione degli interventi sul comparto urbano di Serravalle.



**APPROCCIO SISTEMICO ED INTEGRATO**

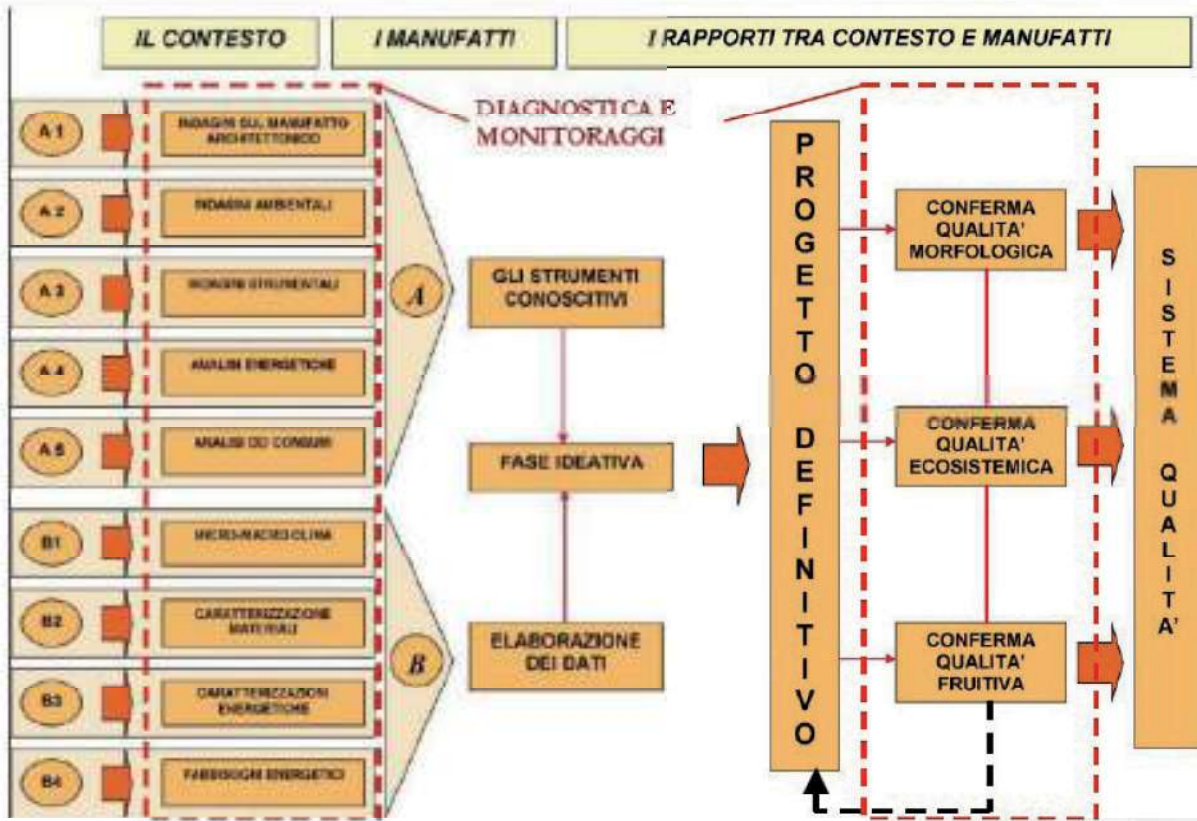


**PARAMETRI E INDICATORI PROGETTUALI**



**SCELTE PROGETTUALI INNOVATIVE E SOSTENIBILI**

8.



9.



## 5.2 Progetti alla scala dell'edificio

L'adeguamento tecnologico degli edifici storici pone il duplice obiettivo di migliorare il comfort abitativo e l'efficienza energetica nel pieno rispetto delle caratteristiche storiche e artistiche degli edifici stessi.

Se da una parte la trattativa relativa alla riqualificazione energetica delle strutture antiche risulta essere carente, dall'altra le ricerche in materia portate avanti da enti pubblici e privati sono in aumento, a testimoniare l'importanza dell'argomento sia a livello nazionale che internazionale<sup>28</sup>.

Uno tra i primi progetti internazionali afferente al sesto programma quadro messo a punto dall'Unione Europea è Eco-building. Eco Building si compone di quattro sotto-progetti: BRITA in PuBs-*Bringing Retrofit Innovation To Applications in Public Buildings* (2004-2008), - DEMOHOUSE: *Design and Management Options for improving the energy performance of Housing* (2004-2008), per lo sviluppo di standard e raccomandazioni sui temi dell'efficienza energetica tramite il "Decision Support Tools"; - ECO-Culture, *Demonstration and dissemination of ECO-concepts for highperforming European cultural buildings* (2004-2009), incentrato su tre edifici di rilevanza storico-culturale (il *Danish Royal Theatre di Copenhagen*, la *Amsterdam Library ad Amsterdam*, e la *New Opera House di Oslo*); - SARA, *Sustainable Architecture Applied to Replicable Public-Access Buildings* (2004-2008), focalizzato sulla replicabilità degli interventi effettuati sui sei edifici pubblici prescelti. L'intera iniziativa nasce con la finalità di sviluppare un nuovo approccio valido sia in caso di costruzioni ex novo che di interventi sulle pre-esistenze. Gli obiettivi principali sono la riduzione sostanziale della richiesta di energia primaria negli edifici e il soddisfacimento del restante fabbisogno attraverso fonti di energie rinnovabili e sistemi di gestione in rete. Il progetto *BRITA-in-PuBs*<sup>29</sup>, in particolare, si inserisce in questo contesto con la finalità di applicare le medesime direttive sull'edificato storico. Si è operato su 9 edifici pubblici dimostrativi con l'obiettivo generale di diminuire del 50% almeno i consumi dovuti a riscaldamento, condizionamento, ventilazione,

28. Le recenti politiche europee, orientate verso la definizione di procedure e strumenti per la pianificazione e gestione sostenibile del patrimonio architettonico, hanno dato vita a diversi programmi: Life+ (2007-2013) e Horizon 2020 (2014-2020), che hanno fornito supporto ai progetti tecnologici in grado di apportare innovazione sostenibile, producendo benefici in campo ambientale ed energetico.

29. Si vedano M. Citterio, 8 Reports on the Realisation and Validation Analysis of the Demonstration Buildings in BRITA in PuBs, 2008 e Reports on the concept development of the demonstration buildings in BRITA in PuBs, 2005, pubblicati sul sito <http://edit.brita-in-pubs.eu>.

acqua calda e illuminazione. Nello specifico si è agito a livello di involucro edilizio (con il miglioramento dell'isolamento termico e l'utilizzo di finestre ad alta efficienza) e sugli impianti (sistemi ibridi di ventilazione e riscaldamento, sistemi di cogenerazione, sistemi di illuminazione energeticamente efficiente).

New4Old (New energy for old buildings. Promoting the integration of RES & RUE measures in historic buildings) è stato portato avanti dal 2007 al 2010 con il fine di promuovere l'uso di impianti alimentati da fonti rinnovabili e la razionalizzazione dell'uso di energia negli edifici storici. Si tratta di una serie di interventi inseriti nel asse europeo EIE - Energia intelligente per l'Europa; della durata di tre anni, che ha coinvolto diversi partner europei coordinati da EREC - European Renewable Energy Council. Il progetto ha portato avanti una serie di cantieri pilota (Renewable Energy Houses-REH8) che potessero fungere da riferimento per progettisti e amministratori. La diffusione degli obiettivi del progetto ha visto il susseguirsi di una serie di campagne e seminari (fra cui "The contribution of Heritage Buildings to Energy Savings", workshop organizzato a Bruxelles nel 2009, "Pilot projects of energy efficiency retrofits of historical buildings", conferenza tenutasi a Friburgo nel 2010 e "Buildings for the future", nello stesso anno a Bruxelles), strutturati per far conoscere le linee guida scaturite dal progetto. Quest'ultime si strutturano in tre parti dedicate a involucro e scambi con l'esterno, ambiente interno, regolazione e controllo. All'interno di esse vengono evidenziati i punti di forza e di debolezza del funzionamento degli edifici storici, insieme alla proposta di suggerimenti e buone pratiche per gli interventi di riqualificazione energetica.

Da aprile 2007 a giugno 2008 si è svolto il progetto Energy Heritage coordinato dall'agenzia scozzese di consulenza per il risparmio energetico Changeworks, che ha promosso il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edilizia storica abitativa della Gran Bretagna, fortemente energivora. Il risultato è stata una guida metodologica capace di dimostrare come si possa agire in modo efficiente anche su edifici sottoposti a vincolo di tutela.

Lo studio si è sviluppato in tre tempi. La prima fase ha visto la ricerca dell'unione di intenti fra le principali organizzazioni inglesi del settore quali la *Cockburn Association*, la *Historic Scotland* e la *Hedimburg World Heritage*. Nella seconda fase è stato portato avanti un progetto pilota che ha coinvolto 9 appartamenti sottoposti a tutela, dichiarati patrimonio dell'Unesco, nel centro storico di Edimburgo. Gli abitanti sono stati coinvolti operativamente nel pro-

getto, soprattutto per quanto riguarda il monitoraggio dei consumi: affiancati da sistemi di monitoraggio intelligente (*Smart Monitors*), gli inquilini hanno potuto condurre test termici e termografici, affiancati dai tecnici della *Historic Scotland* e della *National Home Energy Rating*. I risultati ottenuti sono stati particolarmente interessanti, con una riduzione delle dispersioni di calore del 90%. Nella terza fase sono stati elaborati i risultati ottenuti dalla ricerca, che hanno dato come frutto la pubblicazione "*Energy Heritage: a guide to improving energy efficiency in traditional and historic homes*", presentato il 2 Maggio 2000.

Dal 2010 al 2013 è stato portato avanti il progetto europeo GovernEE - Good Governance in Energy Efficiency, dedicato all'efficienza energetica e all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili negli edifici pubblici e in particolare quelli storici. Il progetto, guidato dal Comune sud-ungherese di Hódmezővásárhely e realizzato con la collaborazione di 5 comuni e 2 istituzioni di ricerca, provenienti da 5 diverse nazioni, è stato finanziato dal Programma Central Europe. Il progetto nasce dalla consapevolezza delle limitazioni imposte dai vincoli normativi vigenti sul costruito di pregio, che si vanno a scontrare con l'urgenza di frenare i notevoli consumi energetici derivanti dallo stesso.

GovernEE approccia il problema dal punto di vista della good governance ossia della buona gestione e conduzione di un fenomeno complesso dalle rilevanti ricadute ambientali ed economiche. A tal fine sono state elaborate delle linee guida amministrative, legislative e finanziarie destinate agli amministratori pubblici e una 'cassetta degli attrezzi' con i 10 passi per l'applicazione dell'efficienza energetica negli edifici storici. Questi strumenti, di facile uso, sono disponibili nel Competence Centre del progetto. I cantieri pilota selezionati mirano a diventare casi esemplari di inserimento di soluzioni tecnologiche efficienti (come i pannelli fotovoltaici ad elevata integrazione architettonica), ma rispettose delle preesistenze. Uno di questi è uno storico edificio a Quedlinburg, una città tedesca di origine medioevale, dove la Soprintendenza ha accordato l'inserimento di pannelli fotovoltaici perfettamente integrabili in copertura in assoluto rispetto del valore storico culturale della fabbrica, seppure a discapito dell'efficienza energetica dell'intero impianto. L'edificio individuato per l'intervento è una costruzione del 1909-1910, originariamente a destinazione militare e poi riconvertito in parte ad uso ufficio e in parte a residenza. Si è quindi optato per l'installazione di moduli fotovoltaici vetro-vetro (o biPV), costituiti

da stringhe di celle fotovoltaiche racchiuse tra due vetri temperati e stratificati, con il vantaggio di poter essere realizzati in base alle esigenze architettoniche ed energetiche del committente in quanto completamente personalizzabili in termini di dimensione, forma, trasparenza, potenza, spessore, tipologia e colore della cella.

Nell'Appendice 2 vengono riportati ed analizzati alcuni casi studio estrapolati da progetti nazionali, internazionali e commissioni private, che affrontano il tema della riqualificazione energetica alla scala dell'edificio. Si tratta di tre casi studio rientranti nell'analisi degli esempi virtuosi (Wilhelminian Villa; Palazzo Klofer; Villa Amalia) e due nel gruppo dei tre su cui è stata portata avanti una più approfondita speculazione scientifica (Villa sul Lago di Como e Casa Gioioso a Frigento).

Wilhelminian Villa è uno dei casi studio del progetto Europeo 3Encult, il cui capofila era l'Istituto per le energie rinnovabili dell'Eurac di Bolzano e in cui erano previsti dei casi studio operativi, su cui intervenire non solo a livello di ipotesi progettuale, ma realizzando gli interventi. A differenza degli altri casi studio del progetto, che si focalizzavano maggiormente su interventi alla scala del sistema tecnico, in questo caso la Germania ha deciso di portare avanti una riqualificazione quasi totale dell'edificio. Il progetto è partito con una serie di analisi mirate a comprendere i problemi della struttura per poter scegliere con criterio gli interventi da realizzare; tra gli altri interventi è stato proposto un isolamento dall'interno per via del vincolo ricadente sulle facciate e per la volontà di mantenere inalterate le caratteristiche esteriori; infine è stato messo in opera un sistema di monitoraggio per verificare le prestazioni dell'edificio nel tempo e la validità delle scelte effettuate.

Palazzo Klofer e Villa Amalia non fanno parte di nessun progetto di ricerca, ma sono due esempi virtuosi di come a volte basti mettere a frutto le giuste conoscenze per arrivare a realizzare dei progetti di riqualificazione energetica completi e non invasivi, in grado di mantenere inalterate le peculiarità degli edifici. La ricerca svolge sicuramente un ruolo fondamentale nell'indirizzare il progettista verso una strada piuttosto che un'altra, ma sta a chi realizza il progetto la sensibilità di operare le scelte giuste. Entrambe sono delle riqualificazioni complete degli edifici, che vanno a toccare diversi aspetti, quindi non solo quello della coibentazione interna.

La Villa sul Lago di Como e Casa Gioioso, sono rispettivamente un progetto di riqualificazione voluto dai proprietari che volevano abitare l'edificio e il caso studio del progetto Metrics, un progetto di

ricerca per lo sviluppo di metodologie e tecnologie innovative per favorire la sostenibilità e la sicurezza nei centri storici delle città, a cui ha preso parte l'ITABC del CNR di Roma. Mentre nel primo caso ci troviamo di fronte a un restauro di superficie e ad una completa trasformazione degli interni per poterli adattare alle necessità della famiglia, Casa Gioioso rimane un campo di sperimentazione puramente teorico, le cui proposte progettuali non hanno trovato un riscontro reale perché la sperimentazione non lo richiedeva.



## 5.3 Progetti alla scala del sistema tecnico

Un'altra linea di progetti mira al contenimento dei consumi energetici tramite una serie di azioni volte al risanamento dei singoli elementi costruttivi, al fine di mettere a punto una serie di tipologie di intervento reversibili in grado di richiamare componenti edilizi tradizionali, neutralizzare e mitigare l'impatto visivo e volumetrico. L'inserimento quindi di questi espedienti

Il progetto TABULA (Typology Approach for Building stock energy Assessment, 2009-2012) è stato rivolto a creare struttura armonizzata delle tipologie edilizie e ad analizzare le potenzialità di risparmio energetico delle tipologie edilizie residenziali europee. Gli edifici-tipo sono stati utilizzati in ciascun paese come mezzo per rendere nota la prestazione energetica ed i potenziali di risparmio energetico raggiungibili attraverso azioni di riqualificazione dell'involucro edificio e degli impianti termici. Si sono analizzati due livelli di riqualificazione dell'edificio tipo: "tipica", ovvero realizzata mediante l'applicazione di misure comunemente utilizzate per il risparmio energetico, "avanzata", attraverso l'introduzione di interventi che riflettono le migliori tecnologie disponibili. Il progetto si è rivolto ai tecnici del settore che lavorano su analisi di scenario e a chi prende svolge un ruolo decisionale (regionale, nazionale, comunitario), che possono sfruttare le tipologie sistematizzate nei risultati del progetto per le fasi iniziali di una consulenza<sup>30</sup>.

È stata sviluppata una struttura comune per le tipologie edilizie sulla base dei caratteri costruttivi e degli impianti termici tipici del parco edilizio residenziale nazionale.

La tipologia edilizia viene classificata secondo le seguenti categorie:

- Regione/zona climatica
- Classe di epoca di costruzione
- Classe di dimensione edilizia

Gli elementi che concorrono a classificare la tipologia edilizia costituiscono gli assi della cosiddetta "Matrice della Tipologia Edilizia". Ogni area climatica è contraddistinta da una matrice ed ogni

<sup>30</sup>. Fonte <http://areeweb.polito.it/ricerca/episcope/tabula/>

matrice è costituita da righe, che rappresentano le classi di epoca di costruzione, e da colonne, che rappresentano le classi di dimensione edilizia. Ogni cella della matrice è sede di un "edificio-tipo" da considerarsi rappresentativo di quella specifica condizione (area climatica/epoca di costruzione/dimensione). La "Matrice della Tipologia Edilizia" italiana è stata sviluppata per la zona climatica E (area climatica media) che comprende 4250 comuni italiani su un totale di 8100.

La struttura della tipologia edilizia è stata completata con i dati nazionali di ciascun partecipante:

- Valori geometrici tipici (volume lordo climatizzato, superficie disperdente, etc.)
- Parametri termo-fisici dei componenti d'involucro edilizio
- Prestazioni degli impianti termici
- Distribuzione statistica dei diversi tipi di edificio ed impianto nel parco edilizio nazionale
- Possibili interventi di risparmio energetico, distinti in due livelli: "tipico" e "avanzato"

I risultati sono stati pubblicati e divulgati attraverso la pubblicazione di un fascicolo e di uno speciale Webtool delle tipologie edilizie. Il fascicolo illustra la struttura tipologica sviluppata all'interno del progetto TABULA con particolare riferimento alla tipologia edilizia nazionale. Sono inoltre presentati i dati relativi alla tipologia costruttiva e impiantistica italiana. Una sezione specifica del fascicolo, organizzata in forma di schede illustrative, è dedicata all'analisi energetica degli edifici-tipo, con l'indicazione del risparmio energetico conseguibile a seguito di interventi di riqualificazione sull'involucro edilizio e sull'impianto termico.

Il Webtool è invece servito per raccogliere i dati relativi alle tipologie edilizie elaborati nel corso del progetto. Per ogni paese partecipante, la tipologia nazionale è presentata in forma di matrice con fotografie degli edifici-tipo, organizzata secondo il periodo di costruzione e le dimensioni dell'edificio.

Selezionando un edificio-tipo si ha accesso a schermate contenenti informazioni sui dati dimensionali, costruttivi ed impiantistici. Per ogni edificio-tipo di ogni paese può essere effettuato un calcolo online per valutare la prestazione energetica dell'edificio nel suo stato originario e il risparmio energetico ottenibile mediante l'applicazione di uno o più interventi selezionabili dall'utente. È possibile

inoltre effettuare confronti tra le prestazioni energetiche di edifici-tipo di paesi diversi.

Il progetto 3Encult (Efficient Energy for EU Cultural Heritage), conclusosi nel 2013, aveva come obiettivo perseguire il miglioramento dei consumi energetici in edifici storici che svolgono funzioni pubbliche. Finanziato dall'UE, ha coinvolto 22 partner sia pubblici che privati, di cui il capofila è stato l'Istituto per le Energie Rinnovabili dell'EURAC (European Academy di Bolzano). Il progetto ha portato avanti su 8 di casi studio<sup>31</sup> operativi e rappresentativi dei diversi climi, tre dei quali in Italia (uno a Bolzano e due a Bologna), studi e sperimentazioni operative, che in alcuni casi hanno avuto il ruolo di dimostrare la validità di interventi in Italia ancora poco perseguiti, come l'isolamento dall'interno delle murature storiche, dall'altra hanno portato a termine dei veri e propri interventi di riqualificazione energetica sfruttando complessi sistemi di monitoraggio e domotica uniti insieme. In particolare, sono state quindi sviluppate e applicate soluzioni per il risanamento energetico dell'involucro, fornendo un quadro dettagliato delle scelte che via via motiveranno il processo di riqualificazione, con la consapevolezza che ogni edificio storico rappresenta un caso a parte.

Alla base di ciascun progetto di riqualificazione sta un'approfondita analisi strumentale. Tali azioni vengono studiate anche dal punto di vista dell'impatto sociale ed ambientale all'interno del contesto urbano di riferimento e in considerazione della funzione storica e attuale degli edifici considerati. Le decisioni operative sono state prese sulla base di dati quantitativi risultati dai test effettuati in fase conoscitiva, in modo tale da poter sfruttare al meglio non solo le potenzialità, ma anche le debolezze degli edifici.

A oggi gli interventi sui casi studio sono completati anche se i sistemi di monitoraggio in molti casi sono ancora in funzione per cercare di validare i risultati anche sul lungo termine. 3Encult rimane uno dei pochi progetti che non ha avuto solo il fine di mettere a sistema delle linee guida, nonostante uno degli obiettivi fosse sicuramente dare delle indicazioni procedurali che fossero riapplicabili così come dimostra la pubblicazione di *Energy Efficiency Solution for Historic Buildings. A Handbook*. Per avere un valido supporto al dialogo e al confronto tra gli specialisti dei diversi settori, durante la progettazione si è deciso di creare uno strumento che integrasse la documentazione storica ed energetica dell'edificio. È stato così sviluppato un database che raccoglie informazioni sulla storia di ogni stanza, sulle originali destinazioni d'uso e sul comportamen-

31. I casi studio sono: - Public Weigh House, Bolzano: edificio del XIII secolo destinato a commercio e residenza; - Palazzo d'Accursio, Bologna: edificio storico di proprietà comunale utilizzato come museo e sede della pubblica amministrazione; - Palazzina della Viola, Bologna: edificio del XV secolo è oggi la sede dell'università; - The Material Court of the Fortress, Copenhagen: riportato alle sue forme settecentesche dopo il restauro degli anni '90 l'edificio ospita uffici pubblici; - Monumental School, Innsbruck: realizzato nei primissimi anni '30, l'edificio rappresenta uno dei più importanti esempi di architettura moderna in Tirolo; - Warehouse City, Potsdam: l'edificio, appena sottoposto a restauro, oltre ad ospitare mostre è destinato a residenza e uffici; - Industrial Engineering School, Salamanca (Spagna): sede della scuola di ingegneria, è un edificio del 1968 realizzato in cemento armato; - Strickbau, Appenzell (Svizzera): edificio in legno del XVII secolo tipico delle regioni alpine della Svizzera

to energetico. Il "Raumbuch" (letteralmente "libro delle stanze") è uno strumento comunemente utilizzato dai conservatori in Germania per raccogliere le informazioni sugli aspetti di conservazione in pianta distributiva. Dal punto di vista informatico, ciò permette di creare un collegamento diretto tra spazi e informazioni tecniche. Il concetto è stato poi esteso agli aspetti energetici, permettendo di visualizzare in maniera strutturata la descrizione della stanza, la pianta, le fotografie, il disegno di alcuni dettagli, il risultato delle prove non distruttive e del monitoraggio, i calcoli energetici ed il relativo modello. In questo modo, ci si può muovere all'interno dell'edificio con diversi livelli di dettaglio, avendo a portata di mano tutte le informazioni. Questo facilita il dialogo multidisciplinare.

Nell'Appendice 2 vengono viene approfondito il tema degli interventi a livello del sistema tecnico tramite sei casi studio selezionati per le particolari scelte operate direttamente sull'involucro. Il Monastero Bendettino e il Waaghaus (o Casa della Pesa) hanno sperimentato una coibentazione interna su edifici vincolati le cui radici risalgono a circa il 1200; Palazzo D'Accursio e la Palazzina della Viola, per motivi legati agli intonaci di pregio hanno deciso di lavorare esclusivamente sul potenziamento delle aperture finestrate. Infine Palazzo Pallavicini e l'Oratorio di Santo Stefano, quest'ultimo un sito monumentale completamente affrescato, installano, con la supervisione scientifica del Politecnico di Milano, il temperierung, un sistema a parete completamente invisibile, ma invasivo e non del tutto reversibile.

Didascalia alle immagini.

10. Pagina esempio del Weebtool progetto TABULA. <http://weebtool.building-typology.eu/#hm>

11. 12. Due pagine esempio del portale creato nel progetto 3Encult. Il portale non è accessibile da chi non è parte del progetto

10.

11.

12. 

Construction element	Area	U-value [W/m²K]	U-value [W/m²K]	Comment	Entered by	Entry date
001_Yolo_1stFloor_1stFloor	200	0.88	1.743 W/m²K	Case Study 2	Uagner Exner	2013-02-02 14:02:40
001_Yolo_1stFloor_2ndFloor	200	0.88		Case Study 2	Dagner Exner	2013-03-15 22:44:21
001_Yolo_1stFloor_3rdFloor	200	0.88		Case Study 2	Dagner Exner	2013-03-15 22:45:13
001_Yolo_1stFloor_4thFloor	200	0.88		Case Study 2	Dagner Exner	2013-03-17 01:00:06



## 5.4 Nuovi scenari. NZEHB. Opportunità progettuali e tecnologiche

In risposta alla problematica dell'elevato impatto degli edifici sui consumi energetici globali e sull'emissione dei gas serra si sta stanno man mano elaborando nuovi concetti di sostenibilità legati al consumo energetico.

Negli ultimi anni l'attenzione nei confronti dei fabbricati e delle loro prestazioni è salita notevolmente tanto è che la stessa Unione Europea ha fissato l'ambizioso obiettivo secondo cui tutti gli edifici pubblici costruiti dopo il 31 dicembre 2018 dovranno ricadere all'interno della definizione di Net Zero Energy Building, considerati come quegli edifici dove, come risultato di un livello molto alto di rendimento energetico dell'immobile, il consumo totale annuale di energia primaria è uguale o inferiore alla produzione energetica ottenuta in loco con le energie rinnovabili. Una descrizione di per sé non completamente esplicativa in merito a quelle che sono le prestazioni che l'edificio dovrà soddisfare. Con l'emanazione della direttiva EPBD 2010/31/EU (Energy Performance Building Directive) sono stati riformulati ed ampliati i contenuti della precedente 2002/91/CE, introducendo il concetto di NZEB per gli edifici di nuova costruzione sia pubblici che privati. Quello che però la direttiva nuovamente non chiarisce è cosa si intende di preciso per questo tipo di edifici, poiché tale termine deve essere identificato dai singoli paesi membri, ognuno dei quali ha recepito la direttiva in base alle proprie esigenze e situazioni locali. Quello che è chiaro è che si parla di edifici ad altissima prestazione energetica che minimizzano i consumi utilizzando energia da fonti rinnovabili ed elementi passivi in accordo con le caratteristiche architettoniche dell'edificio. Analizzando la letteratura a disposizione ci si rende anche conto di quanti approcci differenti ci siano al problema e di quante definizioni differenti siano state azzardate nel tempo. C'è chi ritiene che non si possa parlare veramente di NZEB senza tenere in considerazione tutte le fasi della lavorazione che hanno portato alla realizzazione dell'edificio, né tantomeno l'impatto che la produzione dei materiali da costruzione utilizzati ha avuto e avrà sull'ambiente. Infatti nella maggior parte dei progetti il focus ricade sul fabbisogno energetico,

32. Dl. 63 del 4 giugno 2013

"Disposizioni urgenti per l'attuazione di obblighi comunitari e per il recepimento della direttiva 2010/31/UE in materia di prestazione energetica nell'edilizia"  
33. L'articolo 9 della direttiva EPBD ha imposto agli Stati membri non solo di impostare una definizione nazionale di NZEB, ma anche di promuovere attivamente la diffusione sul mercato di tali edifici. Per questo motivo gli Stati Membri a partire dal 2012 sono stati obbligati a preparare e presentare alla Commissione Europea i piani nazionali d'azione indicanti le misure (ad esempio politiche ed incentivi) per la promozione dei nZEBs. Questi piani nazionali comprendono, tra l'altro, obiettivi intermedi per migliorare il rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione entro il 2015 e devono essere aggiornati ogni 3 anni.

Secondo lo stesso articolo (comma 5), la CE, entro il 31 dicembre 2012 e successivamente ogni tre anni, deve valutare i progressi dei paesi per aumentare il numero di nZEBs ed eventualmente suggerire misure in questa direzione.

Il Piano d'Azione Nazionale per le energie rinnovabili (NREAP) è un documento che prevede il percorso dettagliato che uno Stato membro deve intraprendere per raggiungere il suo obiettivo - giuridicamente vincolante - per il 2020, relativo alla quota destinata alle energie rinnovabili nell'ambito del consumo totale di energia, come previsto dall'articolo 4 della Direttiva sulle fonti rinnovabili.

senza tenere in considerazione il processo produttivo e l'impatto che si avrà sull'ambiente sui cui si va ad operare.

Si può quindi evincere che Net Zero Energy Building è un concetto complesso che necessita ancora di molta chiarezza sia a livello di definizione che di applicabilità.

L'obiettivo primario della Direttiva 2010/31/UE e quindi del Dl.63/2013<sup>32</sup> è la trasformazione dell'intero comparto edilizio in "Edificio ad Energia Quasi Zero" (Near Zero Energy Building - NZEB), imponendo a tutti gli stati membri di fissare i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici esistenti e nuovi, garantire la certificazione energetica e disciplinare i controlli sugli impianti. La EPBD prevede che dopo il 31 Dicembre 2020 tutti i nuovi edifici saranno nZEBs, mentre per gli edifici pubblici il termine è fissato per il 31 dicembre 2018<sup>33</sup>, quindi a partire dal 1 gennaio 2021 anche gli immobili privati dovranno soddisfare le medesime condizioni richieste.

Nei documenti e nella proposta legislativa presentata dalla Commissione europea per la politica di coesione 2014-2020 è contenuto l'invito rivolto a ciascun paese membro di dotarsi di una "ambiziosa Agenda Urbana", che permetta alle amministrazioni cittadine di essere direttamente coinvolte nell'elaborazione delle strategie di sviluppo. La proposta di nuovo regolamento del Fondo europeo dello sviluppo regionale (FESR) prevede, di conseguenza, che almeno il 5% delle risorse assegnate a livello nazionale debba essere destinato ad Azioni Integrate per lo Sviluppo Urbano Sostenibile delegate alle città.

I cinque punti fondamentali che costituiscono il nucleo dell'Agenda Urbana:

1. Limitazione del consumo di suolo e riqualificazione urbana;
2. Infrastrutture dei trasporti e mobilità sostenibile;
3. Riduzione dei consumi (20% in meno delle emissioni di gas a effetto serra, 20% in più di efficienza energetica di cui almeno il 20% di energia da fonti rinnovabili entro il 2020);
4. Cultura, Università e Smart Cities;
5. Lavoro e benessere.

Queste tematiche si collegano al più ampio discorso della riduzione dei suoli, che sposta automaticamente il discorso dai nuovi edifici al recupero di quelli esistenti, discorso non di recente acquisizione, ma che pone le sue radici in altri periodi storici.

Erano infatti gli anni settanta quando di affacciavano le prime riflessioni inerenti l'efficienza energetica e il corretto utilizzo delle risorse a nostra disposizione. Gli stessi anni in cui si cerca di ristabilire un rapporto costruttivo con il territorio e si inizia a parlare di recupero e riqualificazione come azioni volte alla conservazione del patrimonio esistente e del volto delle città storiche e dei tessuti consolidati. Le azioni però non erano legate ad un piano organizzativo e predisposto in modo organico, ma facevano riferimento a tendenze più o meno diffuse sul territorio: "(...) all'assenza di indicazioni programmatiche in alcune Regioni corrispondono tentativi stimolanti di utilizzare gli interventi di recupero come fattori di riequilibrio territoriale (Toscana) o di concepirli entro un quadro complesso di quantificazione e analisi dell'intero patrimonio esistente (Liguria), di estendere gli interventi dal centro storico alla cintura periferica (Bologna) o di iniziare ad operare bilanci insediativi e programmi razionalizzati (Venezia)" (Battista, 2006).

Differente è il clima negli anni '80 in cui importanti manifestazioni nazionali cercano di ampliare il panorama del riuso e della riqualificazione sottolineando le ricadute delle singole azioni sul contesto urbano consolidato. Durante il Convegno Nazionale "Riuso e dintorni", promosso dal Comune di Milano e dalla Facoltà di Architettura del Politecnico di Milano, intervengono figure come Dezzi Bardeschi a sottolineare i limiti e le modalità in cui portare avanti un intervento sul patrimonio esistente che sia rivolto prima di tutto alla sua conservazione.

In quegli anni molte saranno le iniziative in questa direzione: si alternano seminari e convegni di studio e approfondimento sui temi legati alla progettazione della città esistente<sup>34</sup>. Nasce in questi anni il concetto di "progettare l'esistente", che fa all'"attuale" il nuovo paradigma della speculazione architettonica in cui operano conservazione insieme a miglioramento, riqualificazione e gestione.

L'approccio alla conservazione è chiaramente coerente con l'obiettivo della sostenibilità dal punto di vista di un intervento contemporaneo finalizzato alla trasmissione di identità culturale e patrimonio universale alle generazioni future.

Le azioni previste si concentrano sui criteri della non invasività, la compatibilità materica ed estetica con il supporto ed il contesto che renda l'intervento riconoscibile e armonico al tempo stesso, la reversibilità, l'uso di materiali tipici dell'area geografica di appartenenza del manufatto, la manutenibilità e la durabilità nel tempo. Tutto questo con il fine di realizzare degli interventi che abbiamo un bas-

Nel piano lo Stato membro stabilisce obiettivi settoriali, le varie tecnologie che saranno utilizzate, la traiettoria che verrà seguita e le misure e le riforme messe in campo per superare gli ostacoli. I Piani riguardano: i singoli obiettivi di energia rinnovabile per il settore elettrico, per i sistemi di riscaldamento e raffreddamento, e per i trasporti, il diverso assortimento di tecnologie rinnovabili, le misure politiche per raggiungere gli obiettivi nazionali, compresa la cooperazione tra le autorità locali, regionali e nazionali, eventuali trasferimenti statistici e /o progetti comuni promossi con altri paesi, le politiche nazionali per lo sviluppo delle risorse della biomassa, le misure per garantire che i biocombustibili utilizzati per raggiungere gli obiettivi di energia rinnovabile siano conformi ai criteri di sostenibilità dell'Unione Europea.

34. ANCSA-INU, "La città esistente", Alessandria; ANCSA, "Bilancio e prospettive per il riuso dei centri storici: oltre il recupero del patrimonio edilizio esistente", Gubbio, 1981; ANCSA, "Per una progettualità del riuso", Lucca, 1982; ANCSA, "Progettare la città esistente", Lucca, 1983; Convegni Nazionali "Tecniche e Tecnologie del recupero" e "Informazione per il recupero", Genova 1984 e 1985.

so impatto sulla preesistenza e che siano al tempo stesso flessibili ed adattabili alle sue caratteristiche.

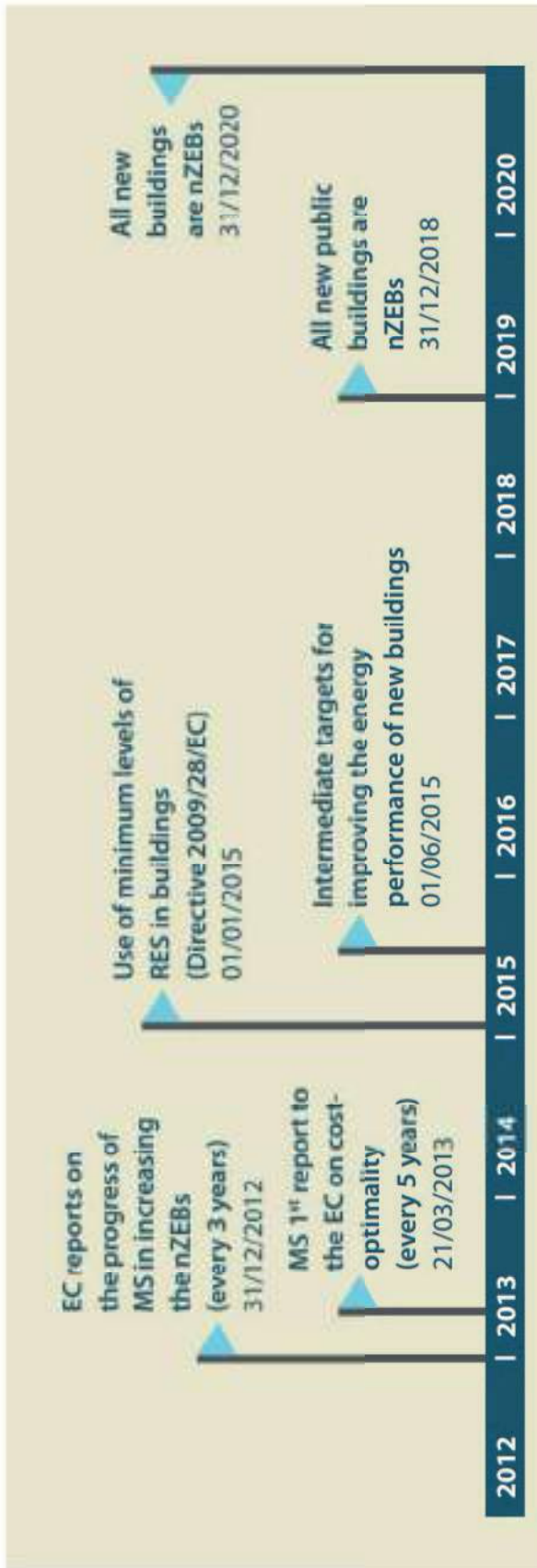
Il concetto di intervento energetico sostenibile associato ad un bene dal valore storico e culturale cerca di coniugare in se le istanze di recupero/riqualificazione e raggiungimento degli obiettivi fissati dall'Unione Europea. Come abbiamo visto, nel corso dei vari programmi quadro che si sono succeduti fino ad oggi (Horizon 2020) l'attenzione verso il patrimonio storico costruito è stata sempre presente e di volta in volta aumentata. Questo perché cresce l'attenzione verso l'antico, visto come testimonianza vivente di un passato a cui dobbiamo il presente, e verso la questione ambientale, la cui risoluzione necessita di un approccio olistico e interdisciplinare.

Se a questo uniamo il rispetto dei livelli di prestazione in materia di efficienza energetica imposto agli Stati Membri dall'UE negli edifici, non solo relative a edifici autonomi di energia, ma anche e soprattutto, per gli edifici in un contesto urbano, si capisce come l'edificio storico, vincolato o no, inizia ad assumere un ruolo rilevante

Per promuovere delle pratiche virtuose è necessario stabilire obiettivi di compatibilità ambientale: flessibilità, integrazione e controllo bioclimatico definiscono quindi, l'approccio più corretto per una definizione innovativa delle modalità di intervento sul "esistente". Per impostare il progetto è necessario prima di tutto comprendere che uno sviluppo sostenibile fa capo ad una realtà in divenire, di cui vanno studiate a fondo le dinamiche e trasposte in un approccio dinamico che comprenda il ciclo di vita degli interventi e quindi dei materiali di cui si compone. Il calcolo del ciclo di vita di un edificio esistente è incentrato sull'applicazione del metodo LCA (Life Cycle Assessment). Al fine di ottenere un ridotto impatto ambientale è infatti necessario comprendere che la problematica energetica, e quindi ambientale, è strettamente legata alla vita dell'edificio dal momento in cui viene progettato fino alla fine del suo ciclo, ovvero lo smantellamento. Il carico ambientale sarà calcolato sulla base dei componenti e dei materiali che lo costituiscono e dei loro singoli cicli di vita.

Didascalia alle immagini.

13. Quadro riassuntivo delle scadenze poste dalla Commissione Europea in merito all'efficienza energetica e al raggiungimento degli obiettivi nZEBs





## Appendice Capitolo 5. Schedatura dei casi studio virtuosi selezionati

L'Appendice 2 nasce dall'analisi di 13 esempi di riqualificazione energetica realizzati, che hanno lavorato principalmente o esclusivamente sul sistema involucro e che sono stati presi come casi studio nella presente tesi.

Di questi, 11 sono stati schedati in modo più sintetico, presentando l'edificio e descrivendo gli interventi realizzati in due pagine. Al termine di tutte le schede è presentata una valutazione comparativa finale, in cui, sulla base di una serie di parametri scelti, si mette in luce la tendenza conservativa o innovativa del progetto. In questa scheda è, quindi, prima indicato il tipo di intervento, poi quale sistema tecnologico coinvolge e infine viene effettuata una valutazione, non di tipo quantitativo o qualitativo, ma sul metodo e sulle scelte compiute in fase di progetto per capirne anche le ricadute potenziali.

Gli ultimi casi studio vengono invece schedati in modo più complesso e approfondito in quanto sono stati oggetto di una sperimentazione pratica di tipo strumentale e progettuale. Per questo motivo era necessario proporre una lettura diversificata rispetto ai primi, al fine di comprendere in modo chiaro quanto esposto nei paragrafi del capitolo 2.3, in cui verranno esposte le scelte operate in fase sperimentale e i risultati che sono stati raggiunti.

Le schede saranno composte da 5 pagine in cui verrà presentato l'edificio dal punto di vista storico, territoriale, delle fasi costruttive, del sistema costruttivo e degli interventi a cui è stato sottoposto, al fine di poter comparare la condizione ante e post operam.

# CASI STUDIO

## INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

ESEMPI VIRTUOSI

- Serravalle, Comune di Vittorio Veneto
- Palazzo d'Accursio, Bologna
- Palazzina della Viola, Bologna
- Wilhelminian Villa, Dresda
- Castello di Zena, Carpaneto Piacentino
- Monastero Benedettino, Bamberg
- Villa Klofer, Bolzano
- Villa Amalia, Ferrara
- Palazzo Pallavicino Ariguzzi, Cremona
- Oratorio di Santo Stefano, Levante sul Seveso

LETTURA DEGLI INTERVENTI AL FINE DI INDIVIDUARE E VALUTARE:

- TIPOLOGIA INTERVENTI
- OBIETTIVI PREFISSATI
- METODOLOGIA DI PROGETTO APPLICATA
- RISULTATI RAGGIUNTI
- BUONE PRATICHE RIAPPLICABILI

SPECULAZIONE SCIENTIFICA

- Casa della Pesa, Bolzano
- Villa sul Lago di Como, Bellano
- Casa Gioioso, Frigento

SPERIMENTAZIONE PRATICA AL FINE DI VERIFICARE E VALUTARE:

- APPLICABILITA' DEGLI INTERVENTI
- CORRETTEZZA DEL PROCESSO PROGETTUALE
- MONITORAGGIO ANTE E POST OPERAM
- SUPPORTO DELLA SIMULAZIONE VIRTUALE DINAMICA

### LETTURA DEI CASI STUDIO: Esempi Virtuosi



PRESENTAZIONE EDIFICIO



DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

CASI STUDIO	INTERVENTI	APPLICAZIONE	VALUTAZIONE																												
Serravalle Vittorio Veneto	-Rinno e Ripara Finita -Riscaldamento a pannelli radianti -Sostituzione serramenti -Sostituzione isolamento		<table border="0"> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
Palazzina della Viola Bologna	-Rinno e Ripara Finita -Riscaldamento a pannelli radianti -Sostituzione serramenti -Sostituzione isolamento		<table border="0"> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
Monastero della Valle Bologna	-Rinno e Ripara Finita -Riscaldamento a pannelli radianti -Sostituzione serramenti -Sostituzione isolamento		<table border="0"> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
Wilhelminian Villa Dresda	-Rinno e Ripara Finita -Riscaldamento a pannelli radianti -Sostituzione serramenti -Sostituzione isolamento		<table border="0"> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
Castello di Zena Carpaneto Piacentino	-Rinno e Ripara Finita -Riscaldamento a pannelli radianti -Sostituzione serramenti -Sostituzione isolamento		<table border="0"> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									
50	0	0	0	0	0	0																									

VALUTAZIONE FINALE COMPARATIVA

# Serravalle (Vittorio Veneto)



Serravalle è un quartiere di Vittorio Veneto e ne rappresenta la porzione settentrionale. Un tempo cittadina ben distinta dagli altri sobborghi della città, tra i quali spicca Ceneda, in seguito all'unione con quest'ultima (1886) è divenuta parte integrante dell'odierno comune.

Caratterizzato dalla forma allungata, parallela alla strada e al fiume Meschio, il nucleo di Serravalle nasce infatti costretto all'interno della valle formata dai monti Cucco e Marcantone.

La città, però, deve la sua fortuna proprio a tale collocazione geografica, che rendeva obbligatorio il transito delle merci dalla zona del Cadore, attraverso la Val Lapisina, verso Venezia.

Allo stesso modo, la presenza del fiume Meschio, lungo il cui corso si sono sviluppate numerose e diverse attività artigianali (mulini, fonderie, lavorazioni di lame) ha avuto pari importanza nello sviluppo economico della città.

Gli interventi sono stati effettuati nell'ambito dei Contratti di Quartiere II, Bando emesso da Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e Regione Veneto, con la finalità di riqualificare ambienti urbani degradati, carenti di servizi e con marcato disagio abitativo e migliorare la qualità della vita della comunità locale. L'obiettivo è stato il recupero conservativo di alcuni edifici vincolati - insediamenti ERP e la realizzazione di interventi sostenibili ad alto grado di innovazione.

La pianificazione degli interventi è stata la conseguenza dall'analisi del costruito nella sua interezza e delle emergenze storico-architettoniche. Dopo aver individuato gli elementi da salvaguardare e quelli da riqualificare si è scelto quali criteri utilizzare sia a scala urbana che alla scala dell'edificio.

Qualità morfologica, qualità ecosistemica e qualità fruttiva hanno determinato la messa a sistema del sistema della qualità degli interventi.

## Localizzazione

Serravalle (Vittorio Veneto), Veneto

## Anno di costruzione

Fondato in epoca romana, il nucleo storico risale al primo Medioevo (1196)

Nel 1886 si unisce al vicino nucleo con il nome di Vittorio

## Progettista

Vari

## Ultimi interventi

2012

## Tipologia di progetto

Riqualificazione energetica

## Partners di progetto

-Regione Veneto

-Ministero per le infrastrutture e i trasporti

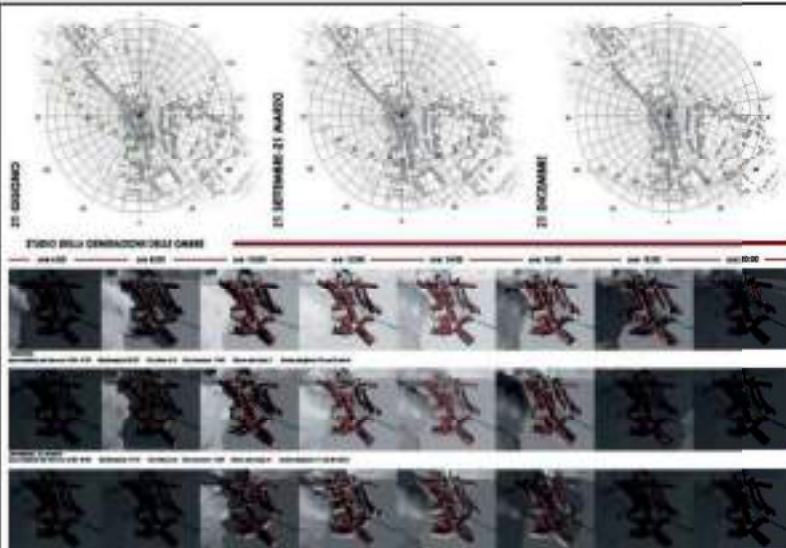
-ENEA, agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

## Destinazione d'uso

Diversificate

## Proprietà

Pubblica e privata



Analisi del percorso solare



Analisi termografica e rilievo materico e delle criticità



Sistema di controllo degli impianti e dei sistemi di monitoraggio installati

I requisiti che si è voluto raggiungere sono stati: miglioramento degli effetti del day lighting, ottimizzazione della qualità dell'aria interna, installazione di sistemi elettrici e illuminotecnici efficienti e a basso consumo, scelta di materiali a basso impatto energetico-ambientale, scelta di materiali trasparenti con alte prestazioni di isolamento, minimizzazione dell'uso di energia massimizzando la resa degli impianti di climatizzazione (caldo/freddo), controllo e monitoraggio degli impianti. La prima fase si è divisa in due momenti: uno diagnostico e di monitoraggio e uno di elaborazione e messa a sistema dei dati estrapolati dagli strumenti conoscitivi. Sono state quindi portate avanti analisi ambientali, sul manufatto architettonico, analisi strumentali, energetiche e dei consumi.

Questo ha permesso di avere a disposizione elementi riguardo il micro-macro clima, i materiali, i fabbisogni energetici e di indirizzare il progetto verso la fase ideativa. Sono state verificate le escursioni termiche e la relazione tra temperatura e umidità relativa media, al fine di ottenere degli indicatori di stato (outdoor e indoor) per la conservazione delle strutture architettoniche di pregio.

Le analisi ambientali hanno consentito di definire il profilo climatico del centro storico di Serravalle e i giorni utili per determinare il fabbisogno energetico degli edifici e per individuare soluzioni tecniche di intervento idonee. Il progetto ha tenuto conto dello stretto rapporto tra contesto e manufatti e tra un manufatto e l'altro.

Per quanto riguarda l'involucro edilizio è stato controllato lo scambio termico edificio-ambiente e lo stato delle masse murarie degli edifici che essendo spesso discontinue possono avere delle prestazioni energetiche ridotte. A tal fine sono state condotte indagini non distruttive come la termografia.

Ciò ha reso possibile la classificazione del degrado superficiale spesso non visibile ad occhio nudo e unite ad un'approfondita indagine storica hanno fornito la lettura dello stato attuale delle strutture rispetto le modifiche subite nel tempo. Affianco al recupero conservativo degli edilizi è stato installato un sistema di automazione integrata per inserire e controllare le varie funzioni dell'edificio e permettere un miglior funzionamento degli impianti. I nuovi impianti sono stati opportunamente alloggiati in cavedi esistenti o inseriti in moda da essere non visibili e non danneggiare la struttura. Infine sono stati applicati vetri selettivi e basso emissivi o elettrocromici e dove possibile sostituiti i serramenti con quelli a taglio termico.

# Palazzo D'Accursio



Il Palazzo Comunale è costituito da un insieme di edifici che nel corso dei secoli sono via via stati uniti ad un nucleo più antico acquisito dal Comune alla fine del Duecento. Fu inizialmente destinato a conservare le pubbliche riserve granarie e ad ospitare alcuni uffici municipali; da quando nel 1336 divenne residenza degli Anziani, la massima magistratura di Governo del Comune, è la sede del governo della città. Rinnovato e ampliato nella prima metà del Quattrocento con l'intervento dell'architetto Fioravante Fioravanti, fu poi arricchito di un orologio nella torre d'Accursio. La facciata fu arricchita a metà Cinquecento con il portale, sopra il quale nel 1580 fu posta la grande statua in bronzo di papa Gregorio XIII. Gli ambienti della Sala Urbana erano oggetto di un'approfondita indagine microclimatica nell'ambito del Progetto Musa (Musei e Ambiente) nato dalla collaborazione tra l'IBACN, l'Istituto dei Beni Culturali dell'Emilia Romagna ed il CNR ISAC (Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima) di Bologna, già prima del progetto europeo 3EnCult, di cui è un caso studio. La scelta di un monitoraggio finalizzato all'analisi costante dei parametri di temperatura e umidità relativa ha tenuto in considerazione le caratteristiche di alcune sale, la cui esposizione risulta particolarmente vulnerabile a causa delle variabili ambientali esterne ed interne che rischiano di provocare danni ingenti. L'opportunità di usufruire dei dati relativi al suddetto monitoraggio, congiuntamente allo studio che si è condotto nell'ambito dell'innovativo progetto europeo 3EnCULT volto al miglioramento energetico ed al monitoraggio del patrimonio culturale europeo, all'interno del quale Palazzo d'Accursio è stato uno dei casi studio, ha permesso di scegliere le soluzioni più idonee per migliorare le condizioni di benessere indoor della sala (temperatura e umidità relativa), mediante una riqualificazione energetica rispettosa dei principi di conservazione che il manufatto impone. Frutto di numerose e complesse considerazioni e verifiche svolte nel corso di più di un anno di lavori sono il nuovo sistema di illuminazione e l'impianto di domotica. Si è inoltre proceduto allo studio di una tipologia di serramento ad alta efficienza e grazie al finanziamento del progetto europeo GovernEE si è provveduto alla fornitura dei nuovi infissi performanti.

## Localizzazione

Bologna, Emilia Romagna

## Anno di costruzione

1200/1300

## Progettista

Vari

## Ultimi interventi

2013

## Tipologia di progetto

Restauro conservativo

Riqualificazione energetica

Caso studio italiano: ricerca 3EnCult

## Partners di progetto

-EURAC Research

Instituto per le Energie Rinnovabili

-The Royal Danish Academy of Fine Arts, Schools of Architecture, Design and Conservation

-Institut für Diagnostik und

Konservierung an

Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

-Technical University Dresden

Chair of Heritage Conservation and Design

-Passivhaus Institut Darmstadt

-Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

-Remmers Baustofftechnik

-Universität Stuttgart

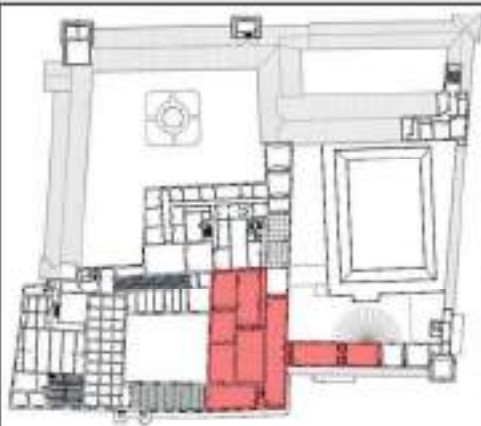
-University of Innsbruck - AB Bauphysik

## Destinazione d'uso

Palazzo Comunale

## Proprietà

Comune di Bologna

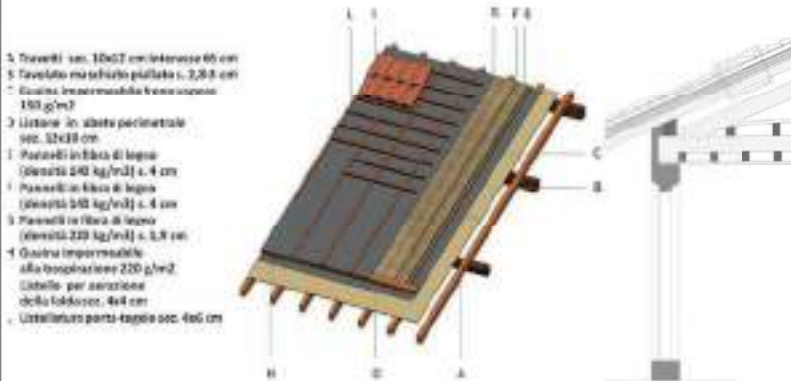


Solar axonometric 21/05/2012



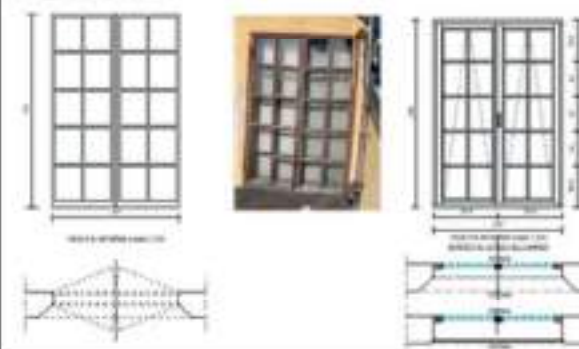
Solar axonometric 21/12/2012

- Individuazione area di intervento
- Analisi microclimatiche esterne nei diversi periodi dell'anno per verificare gli scambi termici e le potenzialità dell'edificio



- 1 Travetti cm. 10x7 cm interasse 66 cm
- 2 Tavole in abete piallate c. 2,2x3 cm
- 3 Cuscini in armeria da frangivento 100 g/m<sup>2</sup>
- 4 Listone in abete piallato sec. 32x33 cm
- 5 Pannello in fibra di legno (densità 240 kg/m<sup>3</sup>) c. 4 cm
- 6 Pannello in fibra di legno (densità 240 kg/m<sup>3</sup>) c. 4 cm
- 7 Pannello in fibra di legno (densità 220 kg/m<sup>3</sup>) c. 5,8 cm
- 8 Quadro impermeabile alla lacerazione 220 g/m<sup>2</sup>
- 9 Telaio per aerazione della falda sec. 4x4 cm
- 10 Listellatura porta-tegole sec. 4x6 cm

Intervento di riqualificazione della copertura



- Individuazione degli infissi da sostituire
- Rilievo degli infissi esistenti e realizzazione di un abaco di riferimento
- Realizzazione dei nuovi infissi

Le azioni principali sono state rivolte alla Sala Urbana, anche detta Sala degli Stemmi. I lavori si sono focalizzati prima di tutto sulla recupero del tetto che era in pessime condizioni, poi sulla sostituzione delle finestre esistenti, sul sistema di illuminazione e sulla messa a punto di un impianto di domotica. Nella fase di realizzazione di questi interventi è stato introdotto l'aspetto energetico con l'obiettivo di prevenire le perdite di energia attraverso l'involucro e i componenti dell'edificio.

L'utilizzo della domotica è stato un ulteriore passo in questa direzione.

I lavori sono stati svolti con la supervisione della Soprintendenza essendo questo un edificio storico sottoposto a tutela.

Per quanto riguarda il tetto, il sistema di ventilazione della copertura è stato realizzato posizionando un'orditura secondaria costituita da travetti di abete di sezione cm. 10 x 12 posti ad interasse 66 cm, di un "pacchetto" di copertura altamente performante costituito da più strati di materiali coibenti e isolanti, in particolare pannelli in fibra di legno, e da una di listellatura lignea bidirezionale (di aerazione e porta-tegole).

Sono stati sostituiti i serramenti esistenti con nuovi infissi in legno con rivestimento in alluminio nelle facciate esterne, per garantire minori interventi di manutenzione, in quanto la posizione delle finestre è talmente difficile da raggiungere che è complicato eseguire la manutenzione esterna di infissi in legno.

Il sistema è collegato all'impianto di domotica della sala, che permetta l'apertura automatica delle finestre e delle tende in base al livello di illuminamento esterno, alla temperatura e all'umidità presenti all'interno della sala. L'obiettivo principale del nuovo sistema di illuminazione, posto in stretta correlazione con un sofisticato impianto di domotica per la corretta e puntuale rilevazione e gestione delle condizioni di temperatura e umidità della sala anche mediante la movimentazione motorizzata dei nuovi serramenti e delle nuove tende e la regolazione dell'intensità luminosa è quello di assicurare un buon comfort visivo ed una ottimale conservazione delle ricche decorazioni pittoriche.

# Palazzina della Viola



La Palazzina della Viola fu fatta costruire da Giovanni II Bentivoglio per il figlio Annibale. La Palazzina è nota per le viole che fiorivano nei prati del giardino. Il monumento ha pianta quadrangolare. I tre prospetti sono alleggeriti da un duplice loggiato, le cui preziose decorazioni, realizzate nel XVI secolo, sono opera di Innocenzo da Imola. Di interesse è il salone del primo piano, affrescato da Prospero Fontana. Molto belle sono le scene con le storie dell'imperatore Costantino e Papa Silvestro. I putti del fregio nello stesso salone sono stati realizzati dal Nosadella. La Palazzina della Viola, nelle descrizioni dell'epoca, viene descritto soprattutto per gli esterni. Nel 1540 la Palazzina divenne un collegio per gli studenti piemontesi, mentre nel 1803 ospita la facoltà di Agraria della locale università, con un bellissimo orto botanico. Durante i primi decenni del 1900 l'Orto Botanico fu separato dalla Palazzina della Viola e, al suo interno, venne costruito dall'architetto Edoardo Collamarini, l'Istituto Botanico (attualmente sede del Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale dell'Università degli Studi di Bologna) e vennero realizzate tre serre per ospitare piante tropicali. La struttura, di proprietà dell'Università Alma Mater, con una superficie di 1.150 metri quadrati è diventata oggi il quartier generale delle relazioni internazionali dell'ateneo. Caso studio italiano del progetto europeo 3encult, è stata oggetto non solo di un restauro conservativo, ma anche di un intervento di riqualificazione energetica che vede l'installazione di una rete di rilevamento costituita da circa 40 "nodi" distribuiti su tutti i livelli del complesso. Ad ogni nodo corrispondono dei sensori che rilevano e memorizzano continuamente i dati ambientali e strutturali, i movimenti degli impiegati e del pubblico, la distribuzione della luce, la temperatura interna e l'umidità relativa. Un sistema di valutazione della condizioni e della funzionalità dell'edificio che opera in profondità e dall'interno, rendendo la struttura un vero e proprio laboratorio "vivente".

## Localizzazione

Bologna, Emilia Romagna

## Anno di costruzione

1497

## Progettista

Sconosciuto

## Ultimi interventi

201

## Tipologia di progetto

Restauro conservativo

Riqualificazione energetica

Caso studio italiano: ricerca 3EnCult

## Partners di progetto

-EURAC Research

Instituto per le Energie Rinnovabili

-The Royal Danish Academy of Fine Arts, Schools of Architecture, Design and Conservation

-Institut für Diagnostik und

Konservierung an

Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

-Technical University Dresden

Chair of Heritage Conservation and Design

-Passivhaus Institut Darmstadt

-Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

-Remmers Baustofftechnik

-Universität Stuttgart

-University of Innsbruck - AE

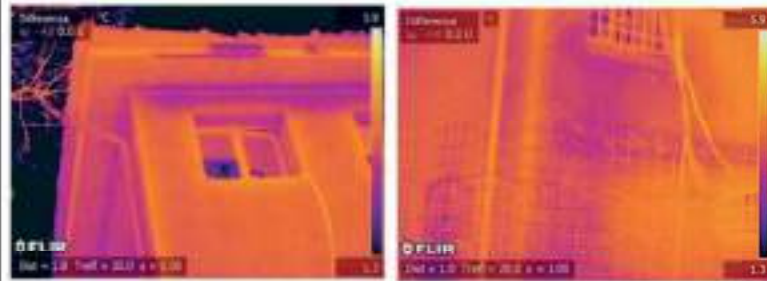
Bauphysik

## Destinazione d'uso

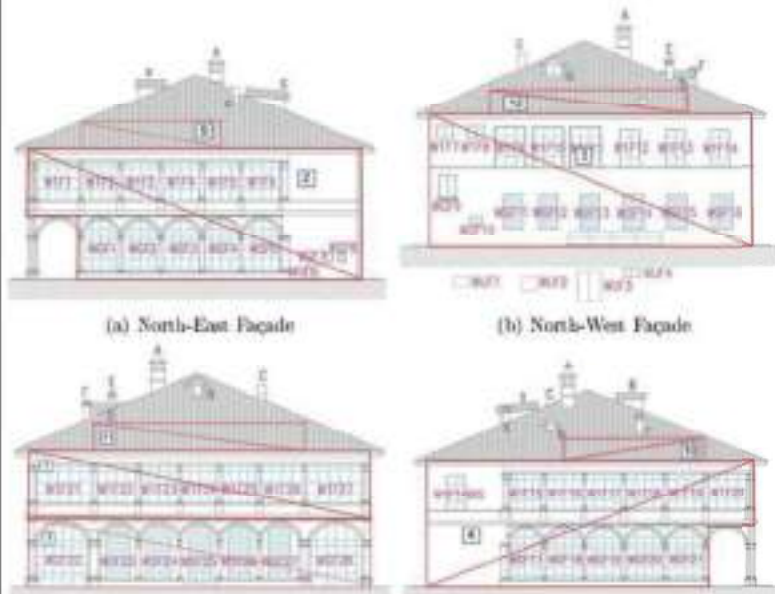
Edificio monumentale

## Proprietà

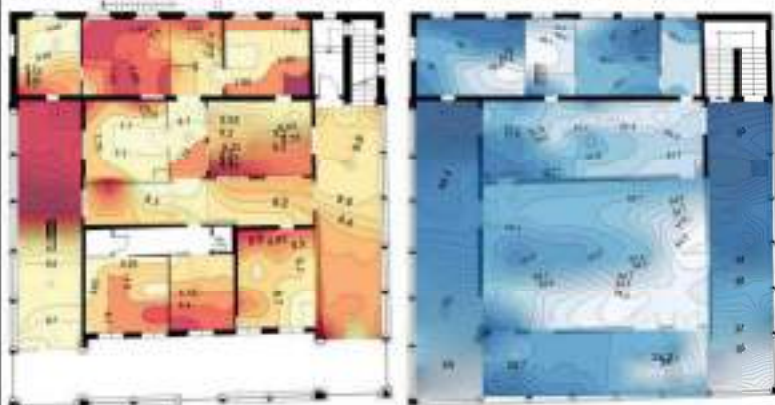
Università Alma Mater



Indagini termografiche: conoscenza muratura e confronto dati di archivio



Indagini per la conoscenza dell'involucro e per le verifiche strutturali



A sinistra diagramma psicometrico della temperatura, a destra dell'umidità relativa

La palazzina si compone di 3 piani di circa 400 mq a piano, per un volume totale di circa 4240 mc.

La palazzina presenta tre facciate vetrate, che fino agli anni 20 del 900 erano chiuse solo in parte, per il resto fungevano dal logge; la facciata principale (sud-est) al piano terra è porticata. La struttura del tetto in legno è in parte originale, in parte stata sostituita da elementi nuovi.

Per il sistema di riscaldamento viene usata una caldaia a gas, mentre il sistema di raffreddamento non è presente.

Gli interventi realizzati hanno riguardato: restauro conservativo e riqualificazione funzionale, realizzazione di un sistema di monitoraggio e controllo del sistema edificio a livello di qualità ambientale, modellazione e simulazione delle potenzialità energetiche tramite il sistema PHPP, messo a punto dal Passive House Institute.

Tutti gli interventi realizzati sono stati preceduti da una fase di monitoraggio approfondita volta a conoscere lo stato di fatto dell'edificio, al fine di progettare degli interventi calibrati sulle effettive necessità dell'edificio. L'utilizzo della macchina termografica ha permesso anche di rilevare degli accumuli di umidità nelle pareti, non solo le dispersioni di calore.

Il sistema di monitoraggio prevede un controllo del microclima esterno, interno e delle superfici murarie.

Esternamente viene misurata la radiazione solare, la temperatura e l'umidità relativa; internamente la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, l'intensità luminosa per ogni piano e la temperatura superficiale di ogni punto critico dell'involucro (es. le finestre). per quanto riguarda la muratura viene misurata la temperatura superficiale, le vibrazioni murarie e il microclima prossimo alla parete.

I momenti monitorati sono stati 4: lo stato di fatto, durante la realizzazione degli interventi, dopo gli interventi e in seguito durante l'utilizzo delle stanze restaurate.

Nel rispetto della conservazione delle facciate si è cercato di mantenere gli infissi originali andando, dove possibile, a sostituire solamente il vetro o il meccanismo di apertura.

# Wilhelminian Villa



La villa di stile neo-rinascimentale è stata uno dei casi studio della Germania nel progetto di ricerca 3enCult. Costruita nel 1870 è stata successivamente rinnovata nel 1912 e ancora nel 2010. Quando la struttura è stata scelta come oggetto di analisi era disabitata e le principali problematiche affrontate hanno riguardato le lesioni della struttura, la presenza di degrado superficiale, umidità, finestre rotte, tetto lesionato e muffa cresciuta in prossimità dei ponti termici.

Sono state quindi portate avanti una serie di analisi per effettuare una diagnosi completa dello stato di fatto e delle criticità da affrontare, al fine pianificare delle soluzioni adeguate e installare un sistema di monitoraggio del microclima interno ed esterno. In fase di analisi sono state effettuate anche una serie di simulazioni dinamiche per la verifica termoigrometrica.

Le soluzioni hanno mirato tutte quante ad aumentare le prestazioni energetiche generali dell'edificio, nello specifico si è deciso di isolare le pareti internamente con dei pannelli di poliuretano microforato.

Interventi sostanziali hanno anche riguardato il tetto e le finestre.

Uno degli obiettivi che si era fissato fin da principio riguarda la trasferibilità degli interventi pensati per la villa alla scala urbana; nella zona in cui sorge la struttura ve ne sono altre simili sempre in stile neo-rinascimentale che necessitano di una serie di interventi di conservazione e riqualificazione energetica a cui potrebbero essere applicati gli stessi principi progettuali pensati per questo caso nello specifico. Sono stati inoltre organizzati dei seminari per divulgare i risultati di questa sperimentazione in modo tale che architetti, ingegneri, costruttori e clienti potessero essere sensibilizzati sulla necessità di riqualificare energeticamente gli edifici storici e informati della possibilità di intervenire in modo analogo in altre strutture dello stesso tipo.

## Localizzazione

Dresda, Germania

## Anno di costruzione

1870

## Progettista

Sconosciuto

## Ultimi interventi

2013

## Tipologia di progetto

Restauro conservativo

Riqualificazione energetica

Caso studio tedesco: ricerca 3EnCult

## Partners di progetto

-EURAC Research

Instituto per le Energie Rinnovabili

-The Royal Danish Academy of Fine Arts, Schools of Architecture, Design and Conservation

-Institut für Diagnostik und

Konservierung an

Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

-Technical University Dresden

Chair of Heritage Conservation and Design

-Passivhaus Institut Darmstadt

-Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

-Remmers Baustofftechnik

-Universität Stuttgart

-University of Innsbruck - AB

Bauphysik

## Destinazione d'uso

Residenza

## Proprietà

Privata



Prospetto principale dell'edificio e pianta con individuati i punti in cui è stato posizionato il sistema di monitoraggio e lo strato isolante



Durante e dopo l'installazione dei pannelli isolanti. Come si può vedere dalla foto, l'inserimento di uno strato di materiale modifica in parte la connotazione geometrica delle superfici, che in questo caso si riesce ancora a leggere anche se in modo diverso dall'originale.



Grafico relativo al monitoraggio di temperatura ed umidità relativa di un punto scelto tra il muro e l'isolante.

Dal momento che l'edificio è composto da differenti blocchi, le analisi sono state suddivise per aree funzionali, in base ai materiali e alla tecnologia costruttiva utilizzata.

Sia esternamente che internamente sono state misurate: temperatura, umidità relativa delle stanze e temperatura superficiale. La stazione meteo installata ha permesso di tenere sotto controllo non solo temperatura ed umidità relativa, ma anche radiazione solare, direzione del vento e velocità e le precipitazioni.

Il sistema di monitoraggio continuo, ovvero in fase di analisi, durante gli interventi e a lavori ultimati (per una durata di tre anni), è servito soprattutto di supporto alle scelte che sono state effettuate per l'isolamento interno.

Per l'intervento di isolamento interno sono stati utilizzati i pannelli in poliuretano espanso microforato a capillarità attiva della Remmers (IQTherm). la scelta è ricaduta su questo materiale perché la sua conformazione lo rendeva particolarmente adatto al profilo d'umidità riportato dalla parete in fase di analisi.

Nonostante questi accorgimenti e le simulazioni preventive, si è scelto di inserire nei nodi critici dei sensori per monitorare l'andamento del profilo dell'umidità per cinque anni dall'installazione dei pannelli.

Per quanto riguarda le simulazioni, sono stati utilizzati due metodologie differenti: il PHPP, un sistema messo a punto dal Passive House Institute e il software dinamico Delphin, della Bauklimatik Dresden.

Le finestre sono state ricostruite con un telaio in legno appositamente pensato per l'edificio in modo da mantenere l'integrità delle facciate. Sono stati inoltre ricostruiti secondo le indicazioni ricavate dalle fonti storiche gli scuri per le finestre in modo da schermare il soleggiamento estivo e diminuire il riscaldamento interno.

Il tetto in legno è stato completamente rifatto perché troppo danneggiato ed è stato inserito uno strato isolante di 20 cm in cellulosa.

# Castello di Zena



Non si conosce la data della fondazione del castello, benché sia accertato che parti della cantina risalgono all'epoca romana. Le prime notizie relative alle sue vicende storiche risalgono al 1216.

Altri riferimenti certi sono il 1494, quando il castello fu acquistato da Francesco Sforza di Santa Fiora, ed il 1531, quando divenne residenza di Costanza del Carretto, vedova di Galeazzo Sanseverino.

Nel XVIII sec. il castello fu venne acquistato dalla famiglia Allegri, di origine parmense. Da Luigi Allegri fu trasmesso alla figlia Eneidina Badanelli-Donati, e da questa, ancora in linea materna, alla figlia Mercedes.

Fu il figlio di Mercedes, Gian Mario Perotti, a curarne con molto amore il restauro iniziato negli anni '70; le operazioni di recupero e riqualificazione sono state portate avanti fino al 2011 grazie all'opera di suo figlio Emanuele, attuale proprietario.

Il Castello è stato oggetto di ricerca per il progetto europeo Securba (2011).

Il progetto SECHURBA Sustainable Energy Communities in Historic Urban Areas finanziato dalla UE all'interno del Programma "Intelligent Energy - Europe" (2007/2011 - 2011/2013), è stato lanciato per dimostrare che i centri storici giocano un ruolo importante nella società contemporanea, che possono contribuire ad aiutare i cittadini e i luoghi che abitano a ridurre le emissioni di carbonio e diventare quindi più sostenibili. Il progetto ha messo in luce i possibili interventi verso la sostenibilità che possono essere realizzati rispettando e mantenendo il patrimonio culturale.

Per prima cosa è stata fatta un'analisi storica e strutturale dell'edificio e poi una climatica per comprendere le caratteristiche del luogo in cui ci si trovava ad operare. A fronte dei risultati ottenuti si è proceduto ad un'analisi energetica per avere un quadro completo della situazione su cui andare ad intervenire.

## Localizzazione

Carpaneto Piacentino, Emilia Romagna

## Anno di costruzione

1200/1400 (data incerta)

## Progettista

Vari

## Ultimi interventi

2007/2011

## Tipologia di progetto

Restauro conservativo

Riqualificazione energetica

Caso studio italiano: ricerca Securba

## Partners di progetto

-CNR Itabc (Italia)

-ÉMI Nonprofit Kft. (Ungheria)

-Marches Energy Agency (MEA) (UK)

-CENERGIA (Danimarca)

-UBBSLA (Bulgaria)

-CRES (Grecia)

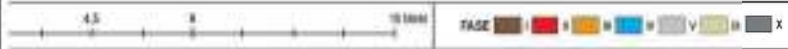
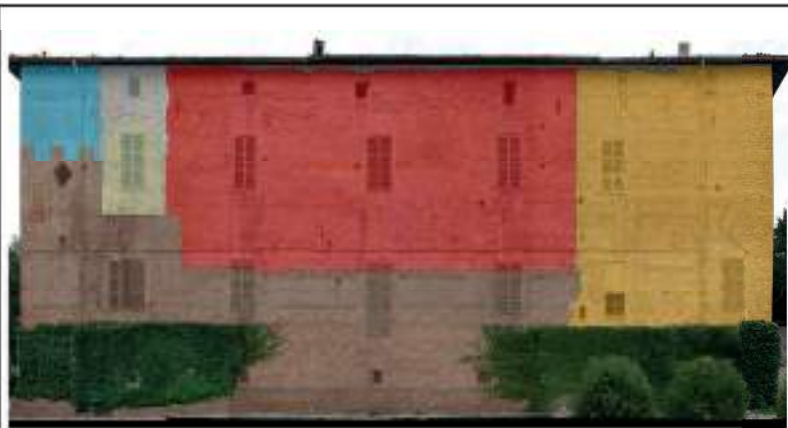
-TECNALIA (Spagna)

## Destinazione d'uso

Residenza, albergo, luogo per eventi

## Proprietà

Privata (Emanuela Perotti)



Ricostruzione delle fasi costruttive per comprendere la natura della struttura



4. ENERGY DATA				Analysis of weak point											
Cat.	Element	Material	Area (m <sup>2</sup> )	Energy efficiency			Insulation			Responsibility					
				Thermal transmittance	U-value	U-value	U-value	U-value	U-value	U-value	U-value	U-value	U-value	U-value	
Vertical	Vertical external walls	Brick	2,812.0												
	Vertical internal walls	Brick	8,070.0												
	Vertical exterior walls	Brick	221.5												
	Other (brick)														
Floors	Ground floor (sub-grade)	Brick	5,043.0												
	Roof	Brick	700.0												
	Basement floor (interior wall)	Brick	700.0												
	Typical floor	Brick	8,950.0												
	Other floor s.1														
Windows	External doors	Wood													
	External doors	Wood													
	Other (door)														

5. BUILDING ENERGY BALANCE (if available)			
Surfaces	Total General area (vertical surface) CA (m <sup>2</sup> ) = 4450.0	External walls area EA (m <sup>2</sup> ) = 1,102.0	
Volumes	Total Volume V (m <sup>3</sup> ) = 1200.0	Heated Volume VV (m <sup>3</sup> ) = 6300.0	
Energy efficiency category		High Energy performance U-value: 0.10 (W/m <sup>2</sup> /K) Standard U-value: 0.47 (W/m <sup>2</sup> /K)	Low - Energy efficient U-value: 0.10 (W/m <sup>2</sup> /K) U-value: 0.10 (W/m <sup>2</sup> /K) U-value: 0.10 (W/m <sup>2</sup> /K)
Heat transfer (Q-Value) W/(m <sup>2</sup> /h)	External Wall =	Roof =	Ground floor =
Energy index	Energy exchange - heat transfer Q1 (W/m <sup>2</sup> /h) Energy disposal - ventilation Q2 (W/m <sup>2</sup> /h) Energy exchange - radiation (solar gain) Q3 (W/m <sup>2</sup> /h) Energy from external supply (energy from requirement in building) Q4 (W/m <sup>2</sup> /h)		
Building Energy Balance	Q1 + Q2 + Q3 + Q4 = Q5 = Q6 =		
Notes	Information concerning 'Energy efficiency category', 'Heat transfer', 'Energy index' and 'Building Energy Balance' are not available		

Schede di Analisi Multicriteria

Il castello di Zena è un edificio storico con un superficie totale di 4000 mq, situato in una area verde di circa 4 ettari. Il complesso è costituito da 6 edifici edificati in epoche differenti e con destinazioni d'uso cambiate più volte nel tempo. L'edificio principale, il castello stesso, è il più antico e il più grande delle strutture del complesso.

La pianta quadrata con una corte centrale interna, presenta oggi una forma a C poiché un'ala è andata distrutta.

Dopo un accurata ricerca storica finalizzata alla ricostruzione delle fasi costruttive del castello, che sono state molteplici e risalenti ad epoche differenti, si è mappata la situazione in modo tale da comprendere con che tipo di struttura si aveva a che fare. Infatti la sovrapposizione di tecniche costruttive e materiali differenti crea delle discontinuità nella struttura che possono essere alla base delle dispersioni termiche nell'involucro.

Un accurato rilievo è stato il punto di partenza per poter poi svolgere le successive analisi multicriteria che sono composte da una serie di schede che andranno a contenere ed incrociare i vari dati relativi all'edificio.

Un approccio multidisciplinare per la successiva progettazione degli interventi di riqualificazione energetica.

Il modello proposto si basa, in prima istanza, Sulla definizione e valutazione di RES (Renovable Energy System) e RUE (Rational use of Energy) secondo due livelli principali di azione:

- 1) identificando le alternative di risparmio energetico, ottenute considerando le caratteristiche fisiche ed ambientali dell'edificio;
- 2) tramite l'implementazione di una metodologia di analisi multicriteria (MCA) per il confronto delle alternative di intervento secondo criteri relativi all'impatto visivo, alla rispondenza alle caratteristiche fisiche ed alla importanza storica dell'edificio, alla efficienza energetica, alle risorse finanziarie ed economiche disponibili tramite l'uso di un panel di indicatori appositamente selezionati.

L'impostazione metodologica del tool è innovativa, in quanto il team di progettazione valuta in maniera integrata tutte le componenti edilizie nonché i parametri tipologici e funzionali del complesso architettonico al fine di identificare le migliori alternative per risparmiare energia e al contempo, rispettare i caratteri storici, tipologici, morfologici dell'edificio (o del complesso di edifici) e del suo contesto ambientale.

# Monastero Benedettino



Il Monastero di Benediktbeuern è una delle costruzioni più antiche dell'Alta Baviera. Le sue radici risalgono all'VIII° secolo d.C. L' "Alte Schöfflerei" del monastero, così è chiamato l'edificio de complesso oggetto di ricerca, appartiene alla corte degli ex artigiani del monastero. L'edificio ha due piani con muri in pietra di elevato spessore e possiede un tetto barocco, con una costruzione particolare che vede una colonna a cui è "appeso" il primo piano, in questo modo si ricava una zona al piano terra a pianta libera.

L'edificio è il caso studio presentato dalla Germania nel progetto europeo Effesus. EFFESUS è un progetto di ricerca focalizzato sull'efficienza energetica dei distretti urbani storici europei e sullo sviluppo di tecnologie e sistemi per il suo miglioramento. Il termine "centro storico urbano" nel contesto di EFFESUS, è definito come un raggruppamento significativo di edifici "vecchi" costruiti prima del 1945 e rappresentanti del periodo della loro costruzione o della loro storia, non necessariamente vincolati puntualmente dalla legislazione dei Beni Culturali.

La struttura è stata selezionata in quanto rispondente a requisiti specifici come lo scarso livello di isolamento, la condizione dei serramenti, le condizioni di degrado, al fine di poter valutare meglio le prestazioni della malta isolante che si è deciso di utilizzare sia internamente che esternamente.

Il fine del progetto è stato quello di valutare l'applicabilità, lavorabilità e la reversibilità del prodotto in condizioni reali e misurare i miglioramenti energetici della struttura. Più poroso sarà il materiale del substrato, migliore l'aderenza del prodotto.

## Localizzazione

Bemberg, Germania

## Anno di costruzione

1758/1759

## Progettista

Vari

## Ultimi interventi

2013

## Tipologia di progetto

Recupero conservativo

Riqualificazione energetica

Caso studio tedesco: ricerca EFFESUS

## Partners di progetto

-TECNALIA Research & Innovation

-The Fraunhofer Institute for Building Physics IBP

-SAMPAŞ Nanotechnology

-D'Appolonia S.p.A

-The Institute for Renewable Energy at EURAC

-ISAC, CNR, Istituto per le scienze atmosferiche e climatiche

-Materials Testing Institute – MPA University Stuttgart

-Norwegian University of Science and Technology

-Historic Environment Scotland

-SAS GOUAS company of heritage restoration

## Destinazione d'uso

Convento Benedettino

## Proprietà

Ordine dei Monaci Benedettini di Bamberg



A sinistra la stanza in cui la malta è stata provata prima dell'intervento sul caso studio e a destra la camera climatica in cui sono state fatte ulteriori prove.



Nell'immagine possiamo vedere come si presenta la muratura dopo l'applicazione del prodotto e del sistema di monitoraggio che ne controlla il comportamento

Il progetto nasce dal fatto che l'applicazione di un pacchetto isolante (sia esso esterno o interno) è sempre mal visto se si parla di un edificio storico.

Tuttavia, le superfici di molti edifici europei sono rifiniti con rivestimenti internamente e spesso anche esternamente con malta, uno strato che a volte, si ritiene possibile sostituire.

L'idea è quindi stata quella di applicare uno strato di intonaco con delle prestazioni termiche migliori, ma di aspetto molto simile.

Per EFFESUS il partner olandese Bofimex ha sviluppato un nuovo tipo di malta isolante a base di calce, seguendo quindi la formulazione delle malte storiche.

Questo tipo di scelta ha avuto due vantaggi: da una parte il realizzare un materiale che fosse fisicamente e chimicamente compatibile con quelli di epoche passate, dall'altra, considerando le proprietà intrinseche della malta di calce, si è ottenuto un prodotto con maggiore permeabilità al vapore e assorbimento di umidità rispetto alle malte cementizie.

Questo la rende quindi particolarmente adatta alla muratura storica con proprietà isolanti carenti. La malta Bofimex, ISOCAL, si basa sulla naturale calce idraulica, combinata con perle di polistirene estruso, come isolante, e altri additivi.

Il nuovo materiale è stato sperimentato prima nei laboratori del partner tedesco di Stoccarda, (istituto di controllo del materiale dell'Università di Stoccarda). Una prova campo è stata poi condotta dall'Istituto per la fisica delle costruzioni di Fraunhofer, presso un sito di prova a Holzkirchen.

Il caso studio ha dimostrato l'applicabilità del prodotto isolante sia per l'uso esterno che internamente, come intonaco. Il vincolo imposto era il ripristino della situazione di partenza a fine ricerca, quindi l'intervento doveva essere reversibile. Quindi prima dell'applicazione è stato utilizzato un substrato di protezione.

Se la parete non è piana, la malta deve essere applicato in due cicli. Il sistema di monitoraggio comprende temperatura dell'aria e di superficie, umidità relativa, flusso di calore, al fine di valutare in modo comparativo consumo energetico e condizioni ambientali prima e dopo l'intervento.

# Palazzo Kofler



## Localizzazione

Bolzano, Trentino Alto Adige

## Anno di costruzione

Costruito nel 1746 e ampliato nel 1925 per essere trasformato in edificio residenziale

## Progettista

Ignoto

## Ultimi interventi

2006/2008

## Tipologia di progetto

Restauro e riqualificazione energetica

## Partners di progetto

-Arch. Manuel Benedikter  
-Energytech Bolzano  
-Eurac Research

## Destinazione d'uso

Residenze, uffici

## Proprietà

Privata

Realizzato a Bolzano nel 1746 e posto sotto tutela architettonica, l'edificio ospita la sede dell' Ecoistituto ed alcuni alloggi privati. La committenza ha voluto realizzare un intervento che fosse esemplare dal punto di vista degli obiettivi energetici, abbassando il fabbisogno di energia da 505 a 30 kWh/mqanno (CasaClima A+), privilegiando materiali naturali per la ristrutturazione.

L'ala ovest dell'edificio (130 mq) nacque come una serra per limoni ed aranci. Le pareti esterne, in pietra, avevano uno spessore compreso tra i 55 e i 65 cm ed erano rivestite di intonaco in calce.

Il solaio sotto tetto era composto di travi portanti di legno con una sezione di 26 x 12 cm e un interasse di circa 70 cm. La struttura, ventilata, presentava una coibentazione per coperture di 4 cm in polistirene estruso messa in opera nel 1984.

Per avere un feedback riguardo gli interventi messi in opera l'ala della limonaia è stata sottoposta a monitoraggio energetico da parte dell' Eurac Research di Bolzano. Un sensore misurava l'intensità della radiazione solare e la velocità del vento e ogni 10 minuti i dati erano inviati direttamente al centro di raccolta. La rilevazione del vento è utile al fine di ricavare criteri di valutazione sulle condizioni del tempo atmosferico e di verificare se c'è un'influenza sulla ventilazione controllata. Sono presenti termostati in ogni locale, e anche in molte pareti, in particolare in presenza di nodi termici difficili.

In fase di esecuzione lavori sono stati effettuati due Blower Door test per verificare il livello di tenuta dell'edificio.



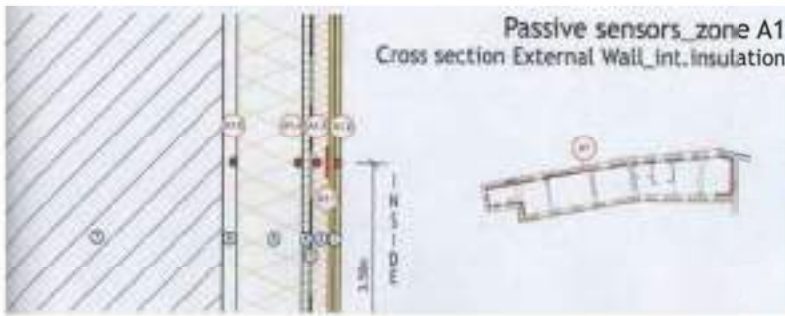
Pianta, sezione e prospetti dell'edificio



Applicazione del cappotto isolante esterno a sinistra e di quello interno a destra



Applicazione dell'isolante interno



Per poter risanare l'ala dell'edificio della li-monaia, in accordo con la Ripartizione Beni Culturali dell'Amministrazione Provinciale, sono state ricostruite le originarie aperture che caratterizzavano la struttura, compromesse nel tempo.

Questo ha permesso in via del tutto eccezionale di poter eseguire un cappotto esterno, cosa che non è stata concessa per le altre facciate dell'edificio, dove si è provveduto a realizzare un cappotto interno, cercando di risolvere il più possibile i nodi tra coibentazione interna ed esterna.

Per evitare il rischio di condensa, dovuto all'elevato spessore dell'isolamento, è stata realizzata ovunque una barriera al vapore.

La coibentazione interna-esterna è stata realizzata in lana di roccia con spessore di 18 cm.

La rasatura, per volere della Soprintendenza, è stata realizzata con rasante a base di calce, arricchito con resine, mentre per la finitura è stato utilizzato un intonaco a calca.

La zoccolatura alla base delle murature prevede una coibentazione in polistirene estruso, rasato con una finitura idrorepellente a base di cemento.

I serramenti vetrati sono stati realizzati in legno verniciato da un artigiano, con un telaio in gradi di contenere un triplo vetro. Per garantire la continuità dell'isolamento, i serramenti, montati solitamente nel cappotto, sono dovuti arretrare in prossimità del cappotto interno e spostare verso l'esterno quelli posti sulla parete con l'isolamento esterno. Visivamente la differenza di posizione del serramento non disturba poiché le facciate interessate dell'edificio sono opposte.

Per la posa è stato realizzato un falso telaio ad "L" che permette il sormonto quasi completo del telaio, agganciato sopra la muratura, nastrato con la parete e giuntato con un nastro autoespandente. Le cornici sono state spessorate con isolante (il cappotto in quel punto raggiunge i 26 cm) e questo ha consentito di nascondere alla vista i frangisole e abbattere il lieve ponte termico che viene a crearsi tra serramento e cappotto.

La parte più complicata è stata la coibentazione delle travi in legno del tetto verde. Il rischio era che le travi si danneggiassero, dal momento che appoggiano su una parete calda (cappotto esterno) e una fredda (cappotto interno), si è realizzato un tetto ventilato in modo da smaltire velocemente l'umidità.

Tra il tavolato su cui poggia il tetto verde e quello che copre lo strato di coibentazione è stata ricavata un'ampia camera di ventilazione.

# Villa Amalia



## Localizzazione

Ferrara, Emilia Romagna

## Anno di costruzione

1905

## Progettista

Ingegnere **Ciro Contini**

## Ultimi interventi

2007/2008

## Tipologia di progetto

Riqualficazione energetica

## Partners di progetto

-Arch. Luisa Bruzzo e arch. Andrea Mantovani, Archenergy s.r.l, Ferrara  
-Arch. Andrea Mantovani

## Destinazione d'uso

Residenza

## Proprietà

Privata

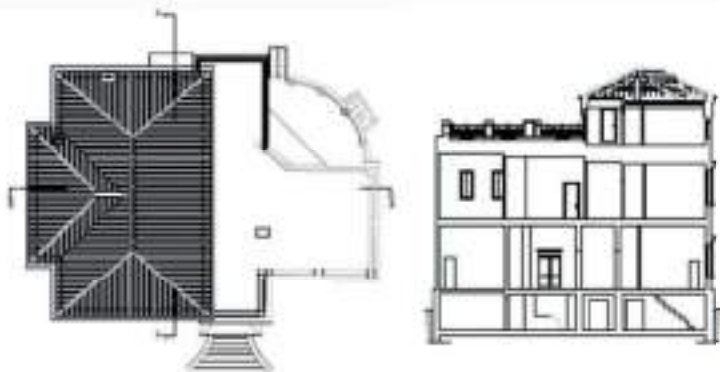
L'edificio oggetto di ristrutturazione, noto come villino Santini, dal nome del committente, è stato completato nell'agosto del 1905 su progetto dell' Ing. **Ciro Contini** di Ferrara. La denominazione di "Villa Amalia" deriva da un omaggio ad **Amalia Torri**, moglie del proprietario **Paolo Santini**, committente della villa e proprietario di una fabbrica metallurgica. Il villino presenta una pianta molto articolata e sviluppata su quattro piani con ampia terrazza al secondo piano.

La struttura portante è in muratura di mattoni pieni a due teste in elevazione e a tre nella parte basamentale con rivestimenti ad intonaco; le cornici, le paraste, i bancali ed i marcapiani sono in cemento così come il cornicione con mensole decorate che orna l'ultimo piano.

Le finiture interne, porte e pavimenti originali, conservati in gran parte, sono stati restaurati e recuperati, compresi il soffitto ligneo cinquecentesco proveniente da una casa di via A. Lollo a Ferrara e la sottostante fascia di pinta dal pittore **Augusto Pagliarini**; i suggestivi pavimenti in battuto "alla veneziana" sono stati interamente restaurati e parzialmente completati nelle parti danneggiate dal passaggio dei vecchi impianti di riscaldamento e da modifiche interne succedutesi negli anni.

L'intervento ha previsto un progetto di adeguamento impiantistico ed insieme un intervento di consolidamento strutturale e risanamento energetico per una riduzione del fabbisogno di energia primaria.

L'edificio in oggetto prima dell'intervento presentava un fabbisogno energetico dovuto alle scarse prestazioni dell'involucro pari a 404,49 kWh/mq anno ed un impianto di riscaldamento centralizzato a bassa efficienza; complessivamente la classe energetica dell'involucro lo poneva in una classe G. Il miglioramento delle prestazioni energetiche è stato possibile solo in alcune parti dell'edificio a causa di vincoli oggettivi quali le finiture interne e gli elementi architettonici e decorativi esterni da salvaguardare; pur non riuscendo a raggiungere una classe energetica soddisfacente, si è calcolato, dopo il risanamento, un fabbisogno energetico specifico dell'involucro nel suo complesso pari a circa 245 kWh/mqanno che dimezza i consumi precedenti.



Pianta delle coperture e sezione trasversale dell'edificio



Posizionamento pannelli isolanti su struttura in legno



Sostituzione infissi e finitura superficiale delle pareti perimetrali

Al piano seminterrato vi erano problemi di umidità di risalita con distacco dell'intonaco e dispersioni termiche attraverso il solaio controterra. L'intervento ha previsto il risanamento e la coibentazione del basamento e delle pareti perimetrali portanti. Nel solaio controterra sono stati realizzati un vespaio a secco in ghiaia, una soletta in c.a. e pannelli isolanti in polistirene estruso, un massetto in alleggerito per gli impianti e il sottofondo per il pavimento. Il risanamento delle pareti perimetrali esterne è stato realizzato con una controparete interna in pannelli di calcio silicato. Al piano rialzato e al piano primo, dove maggiori erano i vincoli dati dagli elementi di pregio, l'intervento di miglioramento delle prestazioni energetiche ha riguardato l'integrale sostituzione degli infissi esistenti, già particolarmente compromessi, con serramenti di disegno e materiali analoghi a quelli originali ma ad alto isolamento con vetri basso-emissivi e vetrocamera con gas Argon. Il risanamento energetico più completo è stato possibile nel sottotetto usato come locale di servizio. L'isolamento della copertura è stato realizzato all'intradosso della struttura. Sono stati utilizzati dei pannelli in fibra di legno, fissati alla struttura lignea esistente, e successivamente sono stati posti in opera un freno al vapore ed il cartongesso, lasciando a vista la struttura lignea principale. Tutti i passaggi impiantistici verso l'esterno sono stati sigillati con apposite nastrature di tenuta all'aria. Dall'analisi energetica risultava che il piano primo, in corrispondenza della terrazza sovrastante, presentava notevoli dispersioni termiche. L'intervento ha previsto un isolamento all'estradosso della terrazza con cm 8 di pannelli in polistirene estruso, massetto alleggerito e, per una maggiore tenuta all'acqua, guaina impermeabile in poliestere. Dove sono stati restaurati i pavimenti originali la progettazione impiantistica ha previsto il mantenimento del sistema tradizionale con terminali in ghisa e la sostituzione delle vecchie caldaie con generatori ad alta efficienza e valvole termostatiche. La produzione di acqua calda sanitaria è ottenuta mediante collettori solari e relativi serbatoi di accumulo. Nel piano sottotetto è stato predisposto un sistema a pannelli radianti con bassa inerzia termica, integrati con l'impianto a collettori solari. Nel sottotetto si è utilizzato un pacchetto di sottofondo integrato con l'impianto a pannelli radianti a pavimento completamente a secco costituito da granulato, pannelli di isolamento e anticalpestio e pannelli sagomati per l'alloggiamento delle tubazioni dell'impianto radiante.

# Palazzo Pallavicino Ariguzzi



**Localizzazione**  
Cremona, Lombardia

**Anno di costruzione**  
Metà XV secolo

**Progettista**  
Faustino Rodi

**Ultimi interventi**  
2012

**Tipologia di progetto**  
Riqualficazione energetica

**Partners di progetto**  
-LADC Laboratorio Analisi e Diagnostica del Costruito  
-Politecnico di Milano  
-Comune di Cremona

**Destinazione d'uso**

Istituto Professionale Internazionale per l'Artigianato Liutario e del Legno

**Proprietà**  
Sede di Liuteria e del Liceo Musicale

Il complesso noto come Palazzo Pallavicino a Cremona, deve l'attuale conformazione a un lungo processo di aggregazione di lotti medievali, parti sei-settecentesche e aggiunte moderne; consta di circa 5000 mq di superficie utile e un volume di 20.000 mc. L'impianto *Temperierung* è stato eseguito fra il 2002 e il 2005 ed è in esercizio dall'autunno del 2010, quando nel palazzo si è insediato l'Istituto Professionale Internazionale per l'Artigianato Liutario e del Legno.

Il progetto in corso ha lo scopo di valutare un sistema di *Temperierung* posto in Palazzo Pallavicino Ariguzzi a Cremona, un palazzo costruito tra il 14° e il 19° secolo. I dati raccolti attraverso il monitoraggio del clima interno sono accoppiati e confrontati con più specifico tipo di analisi, come termografia e mappatura psicrometrica.

Il *Temperierung* consiste nell'installazione al di sotto della superficie della parete di tubi circolari in cui scorre acqua calda (40-60 °C), formando una banda riscaldata a altezza d'uomo.

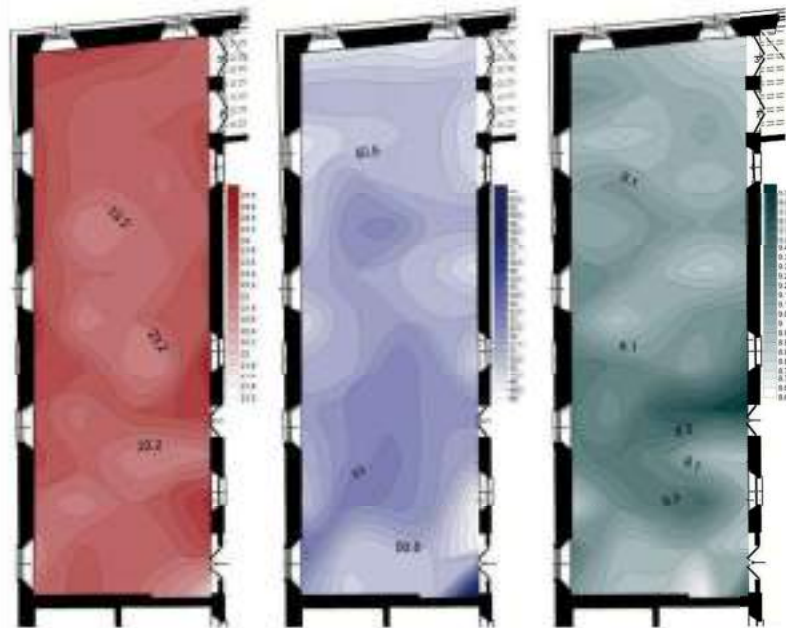
Le analisi effettuate sono: monitoraggio del microclima, mappatura di temperatura e umidità relativa e distribuzione monitoraggio negli interni, analisi termografiche.



Pianta piano primo: aree di intervento e posizionamento sensori monitoraggio



Termografia con individuazione sistema temperierung



Rilevamento delle temperature all'interno di una delle stanze oggetto di intervento

La temperierung è stata progettata come sistema di riscaldamento. Prima di tutto è stato migliorato l'isolamento dell'edificio (finestre, solai, copertura, muratura) dal momento che il palazzo era appunto il risultato dell'unione di tanti edifici pre-esistenti e quindi presentava una struttura eterogenea per età, caratteristiche costruttive e comportamento termico.

L'impianto realizzato consiste in un doppio circuito di tubi riscaldanti: i primi due di 18 mm di diametro sono posizionati vicino al pavimento e circa 20 cm sopra i secondi, di soli 112 mm di diametro, distanti tra loro circa 10 cm, a 85 cm dal pavimento, all'estremità superiore di una fascia di intonaco di calce finito a stucco di calce e polvere di marmo applicato sopra il filo dell'intonaco esistente sulla superficie interna dei muri perimetrali. Nei primi 20 cm dal pavimento, tra i due tubi del circuito inferiore, corre la canalizzazione dell'impianto elettrico, protetta da una piastra di ottone.

La distribuzione avviene con un anello principale interrato lungo le facciate sul cortile interno e da cui si diramano i collettori di zona.

Per evitare perdite di rendimento i circuiti hanno una lunghezza media di 60 m. L'acqua circola a 40-45°C. Per compensare la dispersione dovuta al limitato spessore murario, il tubo forma una serpentina in corrispondenza dei parapetti delle finestre. Un circuito singolo corre anche alla base delle pareti interne, dove queste presentano uno sviluppo rilevante rispetto a quelli perimetrali.

Il percorso dei circuiti è stato progettato dettagliatamente, ottimizzando il rapporto con la struttura muraria i suoi complementi. Per esempio, i telai delle nuove porte interne sono disegnati per accogliere il tubo di rame che, in questo modo, anziché interrompersi, lambisce il perimetro della porta "temperandone" gli spigoli, punti critici dal punto di vista termico.

L'impianto è collegato al teleriscaldamento cittadino. Sebbene previsto, non è presente un sistema di regolazione automatica. E' probabile che, considerate le dimensioni dei locali e l'estensione del complesso, il sistema sia leggermente sottodimensionato, soprattutto nei mesi freddi. Il clima interno di palazzo Palazzo di Pallavicino è attualmente oggetto di un monitoraggio.

Fonte: E.Lucchi, V.Pracchi. (2013) *Efficienza energetica e patrimonio costruito*. Maggioli editore.

# Oratorio di Santo Stefano



## Localizzazione

Lentate sul Seveso, Lombardia

## Anno di costruzione

1369

## Progettista

Sconosciuto

## Ultimi interventi

2012

## Tipologia di progetto

Riqualficazione energetica

## Partners di progetto

-progetto Carlo Manfredi  
-LADC Laboratorio Analisi e Diagnostica del Costruito  
-Politecnico di Milano  
-Comune di Lentate sul Seveso

## Destinazione d'uso

Edificio monumentale

## Proprietà

Ente Pubblico Territoriale

Eretto intorno al 1369 su commissione del nobile Stefano Porro, diplomatico alla corte di Bernabò e Galeazzo Visconti e creato conte palatino da Carlo IV nel 1368, l'oratorio di S. Stefano, una cappella affrescata, sorge accanto alla parrocchiale di Lentate sul Seveso e risulta collegato alle mura di un antico nucleo abitativo fortificato, nonché sopraelevato rispetto all'attuale piano stradale; la scala di collegamento fu realizzata nell'Ottocento.

Edificio in muratura di mattoni pieni con volta a crociera sull'abside e capriate lignee sulla navata unica. L'oratorio ha impianto organizzato in due ambienti spazialmente e architettonicamente ben definiti: un'aula rettangolare, riservata ai fedeli, coperta da un tetto a capriate, e un presbiterio quadrangolare coperto da una volta a crociera.

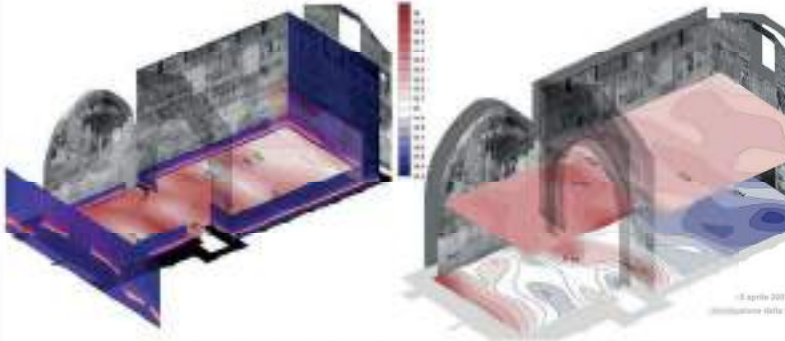
Architettura e tipologia sono semplici, così come è frequente nei numerosi oratori sorti nell'antichità nella campagna lombarda. Sorge accanto alla parrocchiale di Lentate sul Seveso e risulta collegato alle mura di un antico nucleo abitativo fortificato detto Castello dei Porro: una costruzione con molti ambienti, disposti intorno a un cortile centrale, il cui accesso era posto direttamente sulla piazza del paese.

Nonostante le ripetute campagne di risanamento (1936-37; 1962-67), l'oratorio ha subito un notevole degrado soprattutto a causa della forte umidità; la ricca decorazione a fresco, restaurata da Mauro Pelliccioli nel 1952, appare tuttora in cattive condizioni di conservazione, in particolare a causa delle ingenti efflorescenze gessose.

Questo progetto mira a valutare un sistema di Temperierung posto nell'Oratorio di Santo Stefano. La metodologia di ricerca ha incluso diverse tipologie di tecniche non invasive: Psicrometria e termografica, analisi e monitoraggio continuo di temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidità relativa (%).



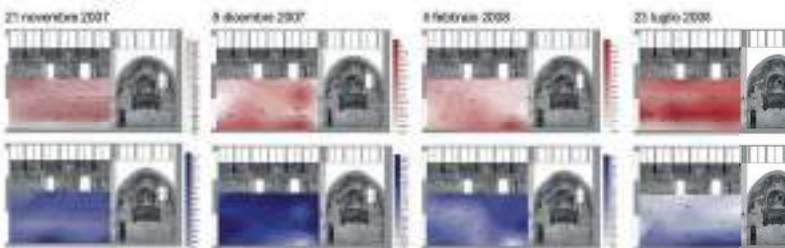
Posizionamento del temperierung



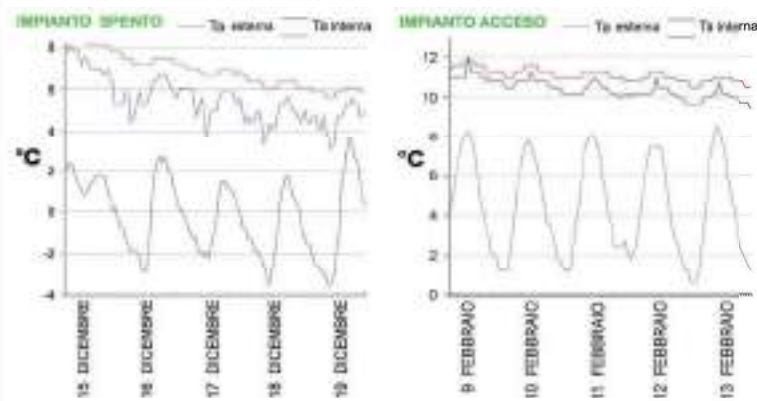
Rilevamento della distribuzione delle temperature alle varie altezze



Monitoraggio flussi aria calda e fredda



Monitoraggio flussi aria calda e fredda in 4 mesi



Monitoraggio della temperatura a impianto spento (sinistra) e acceso (destra)

Un impianto Temperierung è stato installato dopo il restauro degli affreschi che ricoprono le pareti interne con scene figurate dedicate alla vita del Santo.

Il sistema non è stato concepito come un impianto di riscaldamento bensì come un dispositivo di conservazione preventiva per il controllo del clima interno di un edificio storico appena restaurato in cui la conservazione dell'architettura coincide con quella dell'opera d'arte.

Si temeva che l'umidità ancora presente nelle murature lungamente soggette a infiltrazioni, evaporasse troppo rapidamente, determinando incontrollate migrazioni saline ovvero che gli altri valori di umidità ambientale potessero indurre fenomeni di condensazione sulla superficie degli affreschi.

Queste considerazioni sono alla base della scelta del sistema Temperierung che, in questo caso, è perciò finalizzato a regolare le dinamiche di scambio tra ambiente interno e muratura, controllando localmente il rischio di condensazione superficiale e le connesse forme di degrado delle superfici.

L'impianto consiste in un circuito semplice in tubo di rame di 18 mm di diametro circolante acque caldo e posato sotto il filo dell'intonaco esistente, a circa 5 cm di altezza dalla quota del pavimento.

E' stato possibile optare per questo layout dal momento che la decorazione pittorica era completamente assente alla base delle pareti e che lo stesso intonaco si presentava danneggiato lungo l'intero perimetro interno dell'edificio.

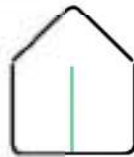
L'acqua è riscaldata da due boiler elettrici con potenza totale pari a 3KW, il volume interno di circa 1000 mc. L'impianto è regolato sulla base della temperatura misurata all'esterno. I boiler vengono spenti quando la differenza tra la temperatura esterna e la temperatura di mandata scende al di sotto di un certo livello.

In questo modo è possibile è prolungarne il funzionamento fino alla tarda primavera, quando all'esterno la temperatura si fa più mite e cresce l'umidità ambientale, mentre le superfici interne conservano il freddo accumulato dalla struttura durante l'inverno.

Fonte: E.Lucchi, V.Pracchi. (2013) *Efficienza energetica e patrimonio costruito*. Maggioli editore.



Interventi dirette alle pareti perimetrali. Possono prevedere azioni di recupero, inserimento di nuovi elementi o semplice monitoraggio.



Interventi indirizzati alle partizioni interne.



Interventi di recupero, sostituzione, coibentazione o monitoraggio della copertura.



Interventi finalizzati al restauro, recupero, sostituzione degli infissi o dei singoli vetri.


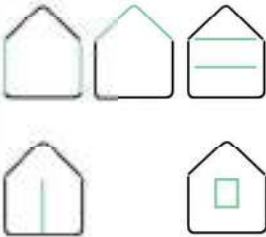

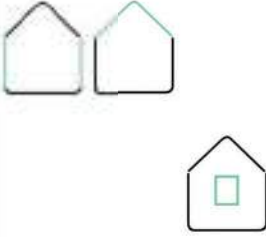

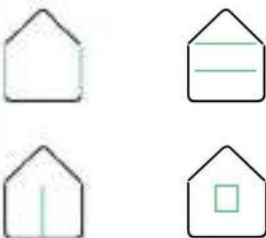

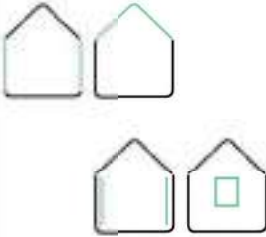

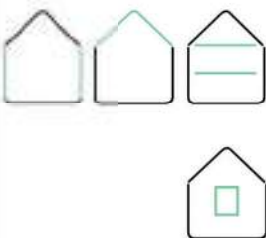





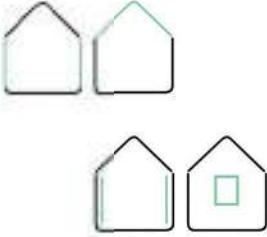

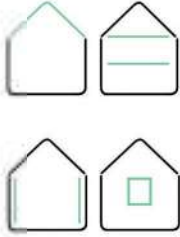




Interventi finalizzati al consolidamento, restauro, coibentazione o monitoraggio degli elementi di chiusura orizzontale.



Interventi mirati al miglioramento del comportamento passivo delle strutture opache verticali.

CRITERI DI GIUDIZIO	ABBREVIAZIONI
SISTEMI ATTIVI - SISTEMI PASSIVI	SA - SP
RITORNO ECONOMICO - COMFORT	EC - CM
MINIMO INTERVENTO - INVASIVITA'	MN - IN
REPLICABILITA' - UNICITA'	RE - UN
SOSTENIBILITA' - COMPATIBILITA' CHIMICO-FISICA	SO - CCF
REVERSIBILITA' - INNOVAZIONE TECNOLOGICA	RV - IT
RAPPORTO CON IL CONTESTO - EDIFICIO	RC - ED
DISTACCO - COMPATIBILITA' ESTETICA	DI - CE
● ○ ○	Prevale il criterio di sinistra
○ ○ ●	Prevale il criterio di destra
○ ● ○	L'inclinazione del progetto cerca un compromesso su entrambi i criteri di giudizio

CASO STUDIO	INTERVENTI	APPLICAZIONE	VALUTAZIONE
<p>Serravalle Vittorio Veneto</p> 	<p>-Enea e Regione Veneto. -Restauro conservativo e riqualificazione energetica del centro storico -Scala del comparto edificato</p>		<p>SA ○ ● ○ SP    SO ○ ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ● CM    RV ○ ○ ● IT</p> <p>MN ○ ● ○ IN    RC ○ ● ○ ED</p> <p>RE ○ ○ ○ UN    DI ○ ● ○ CE</p>
<p>Palazzo d' Accursio Bologna</p> 	<p>-Alma Mater Studiorum Bologna, progetto 3Encult -Restauro conservativo e riqualificazione energetica di un'ala dell'edificio -Scala dell'edificio</p>		<p>SA ○ ● ○ SP    SO ● ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ● CM    RV ○ ○ ● IT</p> <p>MN ○ ● ○ IN    RC ○ ● ○ ED</p> <p>RE ○ ● ○ UN    DI ○ ● ○ CE</p>
<p>Palazzina della Viola Bologna</p> 	<p>-Alma Mater Studiorum Bologna, progetto 3Encult -Restauro conservativo, riqualificazione energetica e monitoraggio -Scala dell'edificio</p>		<p>SA ○ ● ○ SP    SO ● ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ● CM    RV ○ ○ ● IT</p> <p>MN ○ ● ○ IN    RC ○ ● ○ ED</p> <p>RE ○ ● ○ UN    DI ○ ● ○ CE</p>
<p>Wihelminian Villa Dresda</p> 	<p>- Progetto 3Encult, proprietà privata -Restauro conservativo, riqualificazione energetica e monitoraggio -Scala dell'edificio</p>		<p>SA ○ ○ ● SP    SO ○ ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ● CM    RV ○ ● ○ IT</p> <p>MN ○ ● ○ IN    RC ○ ● ○ ED</p> <p>RE ○ ● ○ UN    DI ○ ● ○ CE</p>
<p>Castello di Zena Carpaneto Piacentino</p> 	<p>-CNR Itabc, progetto SECHURBA -Restauro conservativo, riqualificazione energetica e analisi conoscitive -Scala dell'edificio</p>		<p>SA ○ ● ○ SP    SO ● ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ● ○ CM    RV ○ ○ ● IT</p> <p>MN ○ ● ○ IN    RC ○ ● ○ ED</p> <p>RE ● ○ ○ UN    DI ○ ● ○ CE</p>

CASO STUDIO	INTERVENTI	APPLICAZIONE	VALUTAZIONE
<p>Monastero Benedettino Bamberg</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Progetto EFFESUS</li> <li>-Restauro conservativo, riqualificazione energetica e monitoraggio</li> <li>-Scala dell'edificio</li> </ul>		<p>SA ○ ○ ○ SP    SO ○ ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ○ CM    RV ○ ○ ○ IT</p> <p>MN ○ ○ ○ IN    RC ○ ○ ○ ED</p> <p>RE ○ ○ ○ UN    DI ○ ○ ○ CE</p>
<p>Palazzo Kofler Bolzano</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Intervento richiesto dal proprietario</li> <li>-Restauro conservativo, riqualificazione energetica e monitoraggio</li> <li>-Scala dell'edificio</li> </ul>		<p>SA ○ ○ ○ SP    SO ○ ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ○ CM    RV ○ ○ ○ IT</p> <p>MN ○ ○ ○ IN    RC ○ ○ ○ ED</p> <p>RE ○ ○ ○ UN    DI ○ ○ ○ CE</p>
<p>Villa Amalia Ferrara</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Intervento richiesto dal proprietario</li> <li>-Restauro conservativo, riqualificazione energetica e monitoraggio</li> <li>-Scala dell'edificio</li> </ul>		<p>SA ○ ○ ○ SP    SO ○ ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ○ CM    RV ○ ○ ○ IT</p> <p>MN ○ ○ ○ IN    RC ○ ○ ○ ED</p> <p>RE ○ ○ ○ UN    DI ○ ○ ○ CE</p>
<p>Palazzo Pallavicino Ariguzzi, Cremona</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Politecnico di Milano</li> <li>-Inserimento temperierung e monitoraggio</li> <li>-Scala del sistema tecnico</li> </ul>		<p>SA ○ ○ ○ SP    SO ○ ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ○ CM    RV ○ ○ ○ IT</p> <p>MN ○ ○ ○ IN    RC ○ ○ ○ ED</p> <p>RE ○ ○ ○ UN    DI ○ ○ ○ CE</p>
<p>Oratorio di Santo Stefano Levante sul Seveso</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Politecnico di Milano</li> <li>-Inserimento temperierung e monitoraggio</li> <li>-Scala del sistema tecnico</li> </ul>		<p>SA ○ ○ ○ SP    SO ○ ○ ○ CCF</p> <p>EC ○ ○ ○ CM    RV ○ ○ ○ IT</p> <p>MN ○ ○ ○ IN    RC ○ ○ ○ ED</p> <p>RE ○ ○ ○ UN    DI ○ ○ ○ CE</p>






# CASI STUDIO

## INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

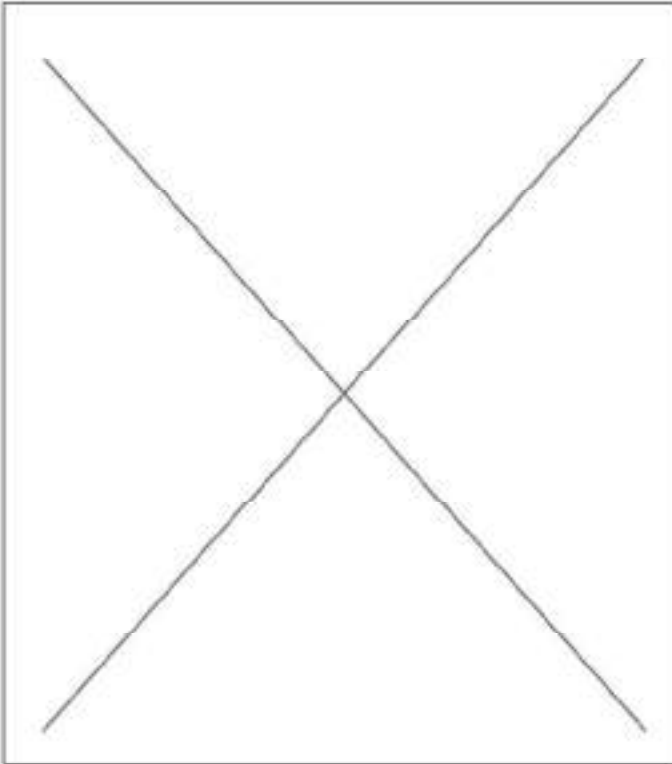


## CASI STUDIO > SPERIMENTAZIONE PRATICA

### INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

EIDIFICIO	INTERVENTO	CONTRIBUTO	
 <p>CASA DELLA PESA Bolzano (BZ)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Parziale isolamento interno</li> <li>-Progetto di Ricerca 3Encult (Eurac Bolzano)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Verifica del software di simulazione termoigrometrica dinamica Delphin sulla base di monitor-</li> </ul>	<p>TRASPOSIZIONE DI STRUMENTI PER EDIFICI DI NUOVA COSTRUZIONE SU EDIFICI STORICI</p>
 <p>VILLA SUL LAGO DI COMO Bellano (LC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Totale isolamento interno</li> <li>-Progetto di riqualificazione architettonica ed energetica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Analisi <i>post operam</i> del livello di comfort degli ambienti tramite un sistema di monitoraggio</li> </ul>	<p>VALUTAZIONE DEL MICROCLIMA INTERNO E DEGLI SCAMBI CON L'AMBIENTE ESTERNO</p>
 <p>CASA GIOIOSO Frigento (AV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ipotesi di riqualificazione energetica</li> <li>-Progetto di Ricerca Metrics (CNR Itabc Montelibretti)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sperimentazione progettuale in contesto di edilizia residenziale minore per la valutazione dei limiti e delle</li> </ul>	<p>VALUTAZIONE DI REPLICABILITA' E ADATTABILITA' DELL'INTERVENTO</p>

# Caso studio



Localizzazione

...

Anno di costruzione

...

Progettista

...

Ultimi interventi

...

Tipologia di progetto

...

Partners di progetto

...

Destinazione d'uso originaria

...

Destinazione d'uso attuale

...

Destinazione d'uso futura

...

Proprietà

...

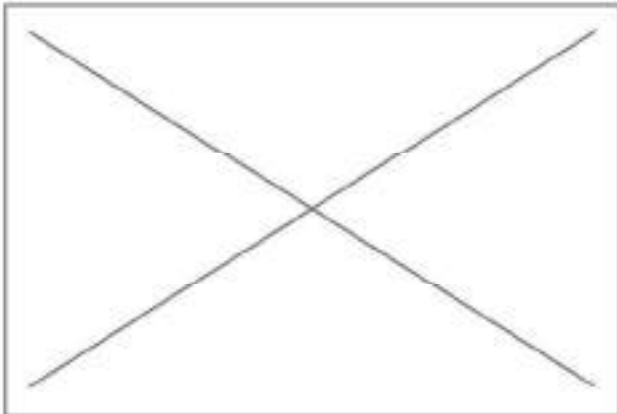
Viene fornita una breve descrizione dell'edificio, relativamente a quelle che sono le informazioni di base, come la collocazione geografica, l'epoca di costruzione e gli attori che hanno avuto un ruolo fondamentale nella sua storia.

Una breve presentazione per far capire quale è l'argomento oggetto di studio e capire cosa aspettarci dalle analisi successive.

## INQUADRAMENTO

### Localizzazione e tessuto edilizio

### Letture morfo-tipologica (fonte rilievo metrico)

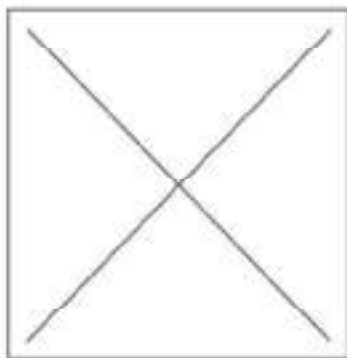


### Stratificazione del tessuto edilizio

Viene fornita una descrizione storica della nascita e crescita del nucleo urbano per comprendere la presenza di determinate tipologie edilizie e caratteri architettonici. Capire come un tessuto edilizio si sia evoluto e perché abbia mantenuto o meno determinati caratteri è fondamentale per comprendere il ruolo dell'edificio oggetto di studio all'interno del contesto in cui si inserisce. L'importanza che un'architettura svolge nel contesto urbano è data anche da come essa viene percepita nella coscienza del cittadino che la vive nella sua quotidianità.

I centri storici con cui ci confrontiamo oggi sono la sommatoria di tanti interventi che li hanno trasformati nei secoli, per cui conoscere la stratificazioni di tali interventi, spesso anche poco documentati, ci permette di intervenire in modo più consapevole e corretto nei confronti delle preesistenze.

Anche la stessa individuazione della tipologia edilizia e dell'epoca di costruzione sono un primo passo fondamentale soprattutto nel caso di scarse informazioni riguardanti il caso di studio. Ragionare per analogie lì dove non si hanno dati certi aiuta a ricostruire il quadro e a non azzardare delle ipotesi di intervento potenzialmente dannose.



#### Tipologia Edilizia

- Casa isolata
- A corte
- A schiera
- Pseudoschiera
- Palazzetto
- Palazzo
- Villa urbana
- Villa extraurbana
- Stalle e fienili
- Edificio di culto
- Edificio produttivo

## Analisi spazi urbani circostanti

Partendo dal presupposto che ogni edificio è inserito all'interno di un contesto dal quale è influenzato e che a sua volta influenza, è importante mettere in luce quelli che sono gli spazi che lo circondano e che ruolo hanno nella vita di tutti i giorni dei cittadini. Comprendere il contesto è fondamentale per la progettazione e programmazione degli interventi da eseguire.

Se l'edificio storico rappresenta un caso isolato gli indirizzi da prendere potranno essere differenti rispetto a se si rapporta costantemente con altri fabbricati storici dal valore documentale o monumentale.

Ugualmente anche la presenza o meno di vegetazione è un fattore determinante per numerose scelte progettuali.

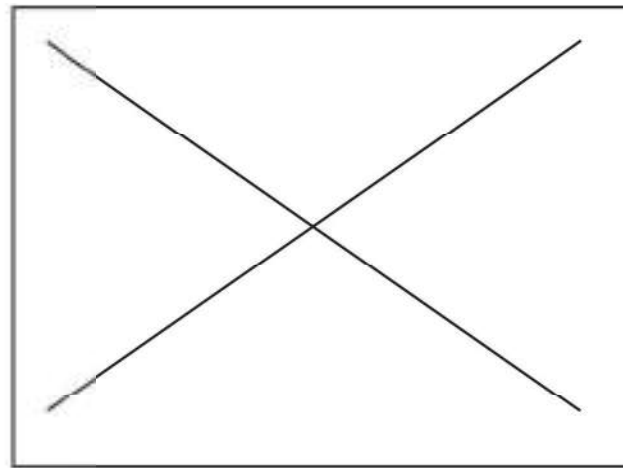
- Edifici di particolare interesse storico-architettonico
- Monumenti
- Attività culturali
- Aree archeologiche
- Piazze/ Vie rilevanti
- Alberature
- Aree verdi
- Parchi
- Corsi d' acqua
- Laghi
- Mare
- Belvedere
- Servizi
- Attività commerciali
- Attività di intrattenimento
- Residenze



## Analisi funzionale

Vengono analizzate le peculiarità dell'edificio a partire dalla sua destinazione d'uso. Vengono individuate le varie funzioni che ospita e in che modo queste contribuiscono o hanno contribuito alla presente conformazione del caso studio. Inoltre si cercano somiglianze con gli edifici adiacenti o della stessa epoca e/o tipologia edilizia.

- Residenza
- Commerciale
- Deposito
- Museo
- Scuola
- Servizi
- Amministrazione



## Vincoli e strumenti urbanistici vigenti



Paesaggistico  
Storico/Artistico  
Archeologico

A fronte di un'indicazione sintetica di quella che è la tipologia di vincolo vigente sull'edificio e le zone circostanti, vengono anche riportate le indicazioni degli Strumenti Urbanistici vigenti.

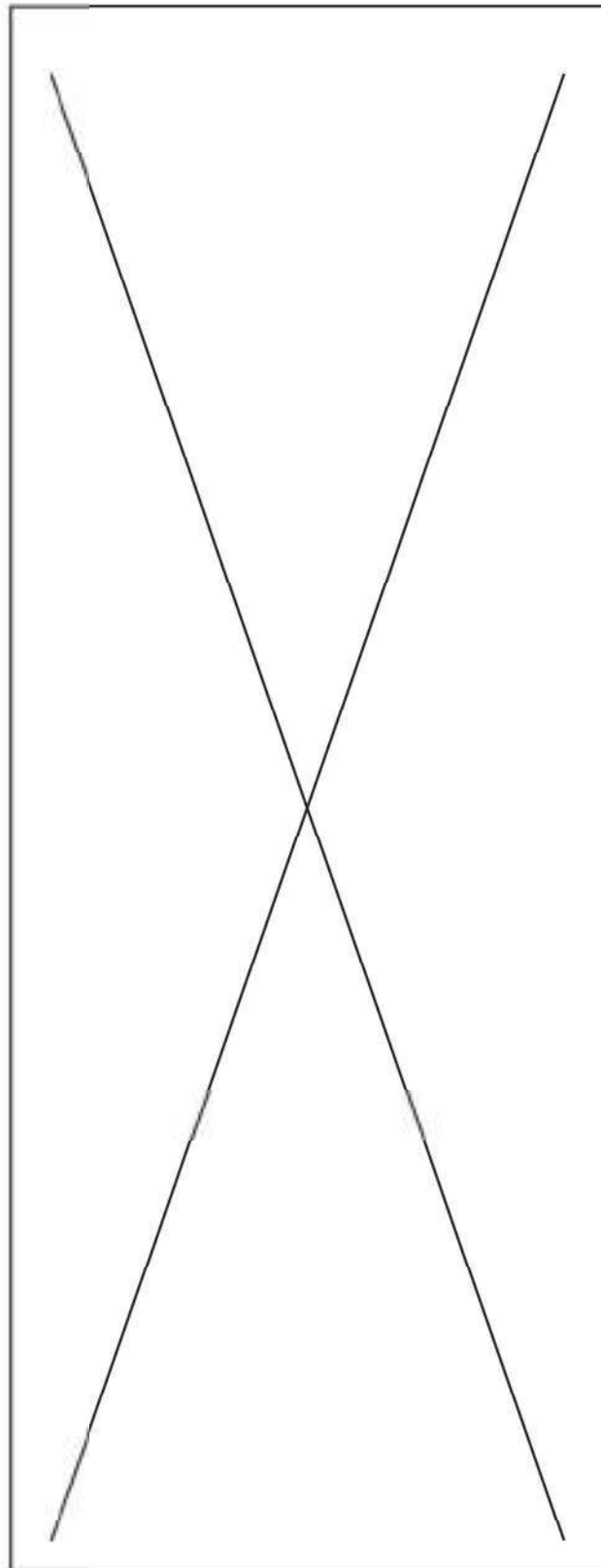
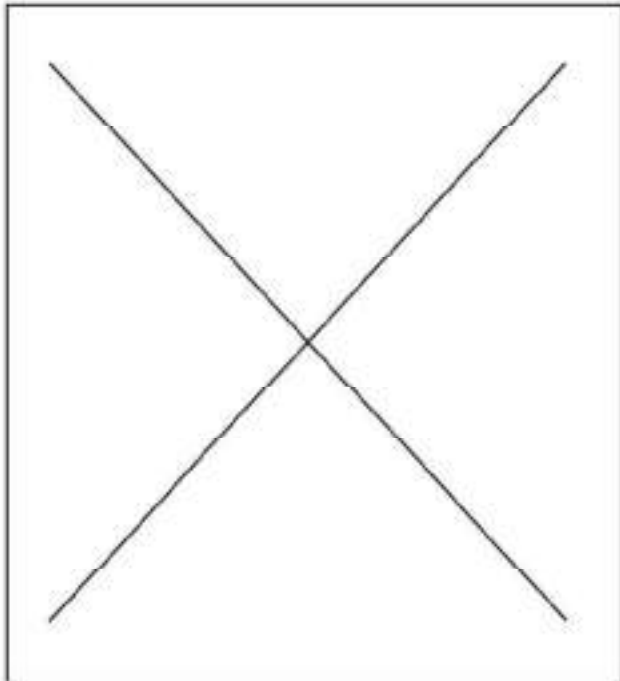
Quindi puntualmente verranno analizzate le tavole di riferimento e quanto riportato nelle rispettive norme tecniche di attuazione dei piani, sia a livello regionale che provinciale che comunale.

Classe sismica	Zona Climatica	Altezza s.l.m
Zona 1	A	
Zona 2	B	
Zona 3	C	
Zona 4	D	
	E	
	F	

## ANALISI CONOSCITIVA

Ricostruzione sincronica  
delle fasi costruttive

Sistema costruttivo



Stato di conservazione

**Pessimo**

Quadro fessurativo evidente; alterazioni superficiali per oltre il 70% dell'involucro; presenza di crolli; assenza di infissi.

**Discreto**

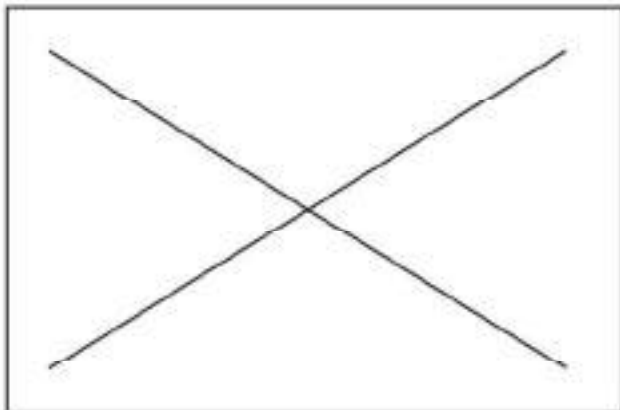
Quadro fessurativo media diffusione; alcune lesioni passanti; alterazioni superficiali per il 50% dell'involucro; assenza di crolli.

**Buono**

Sporadiche lesioni; alterazioni superficiali per il 20% dell'involucro; assenza di crolli.

**Ottimo**

Recenti interventi di consolidamento/restauro/adeguamento sismico.



## SPERIMENTAZIONE PROGETTUALE

### Pianificazione degli interventi

In questa sezione vengono riportate le informazioni relative agli interventi, siano essi stati realmente realizzati o solamente ipotizzati.

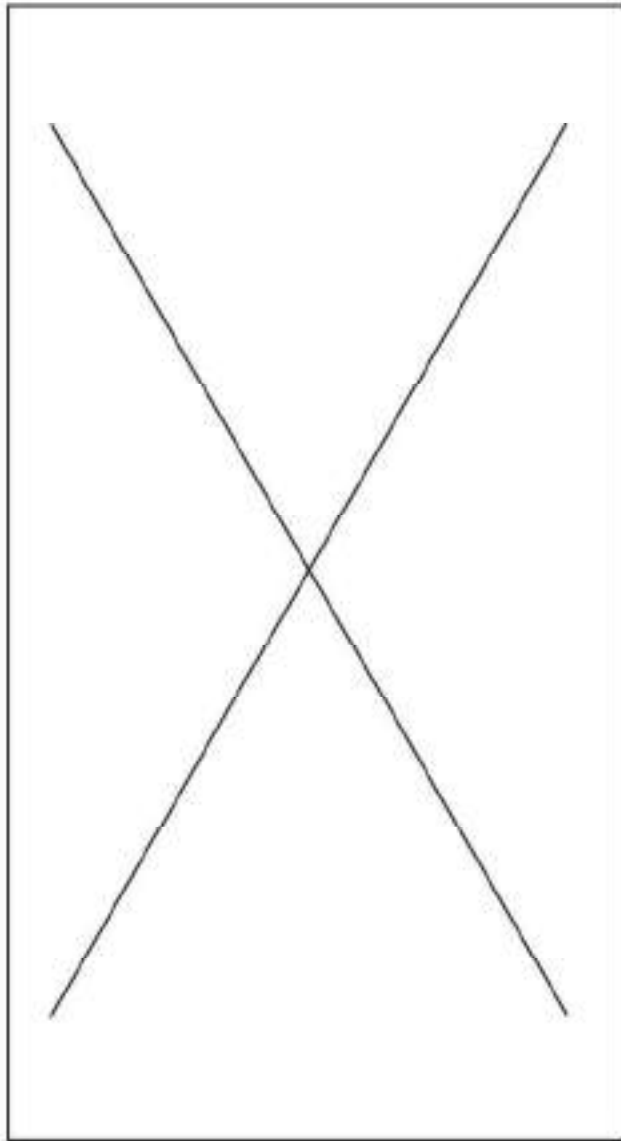
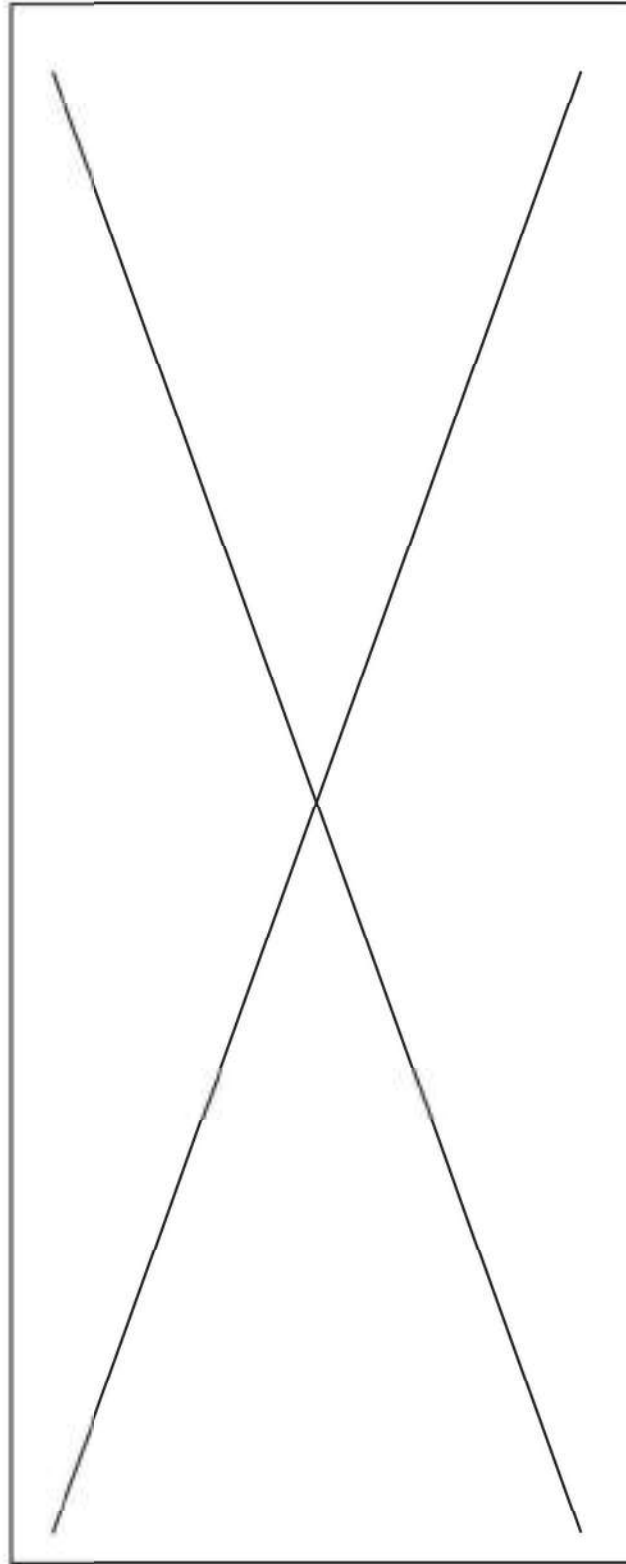
La pianificazione degli interventi è fondamentale per comprendere in che modo si è deciso di affrontare i problemi da risolvere e quale iter si è preferito seguire.

Verranno quindi descritte le analisi preventive, se sono state fatte o se si ritengono necessarie e verranno poi indicati gli interventi pensati e la loro messa in opera.

Importante sono i keyplan con la collocazione degli interventi in quanto è possibile che non tutto l'edificio venga coinvolto e quindi è bene capire quale porzione è stata scelta e in caso motivarlo.

### Sistema costruttivo

### Azioni di miglioramento energetico



# Casa della Pesa (Waaghaus)



## Localizzazione

BOLZANO , Trenti Alto-Adige

## Anno di costruzione

XII - XVIII sec.

## Progettista

Non noto

## Ultimi interventi

1950 - 1960

## Tipologia di progetto

Riqualificazione energetica

Caso studio italiano della ricerca 3EnCult

## Partners di progetto

-EURAC Research

Instituto per le Energie Rinnovabili

-The Royal Danish Academy of Fine Arts, Schools of Architecture, Design and Conservation

-Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

-University of Innsbruck - AB Bauphysik

-Technical University Dresden

Chair of Heritage Conservation and Design

-Passivhaus Institut Darmstadt

-Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

-ARTEMIS Srl

-Remmers Baustofftechnik

-Universität Stuttgart

## Destinazione d'uso originaria

Pesa Pubblica

## Destinazione d'uso attuale

Attualmente non utilizzato

## Destinazione d'uso futura

Attività culturali e sale espositive

## Proprietà

Fondazione Cassa di Risparmio

Edificio di origine romanica, il Waaghaus è situato nel centro storico della città e appartiene al complesso dei portici, costruiti alla fine del XII sec. dal Vescovo di Trento sotto l'impero di Federico Barbarossa.

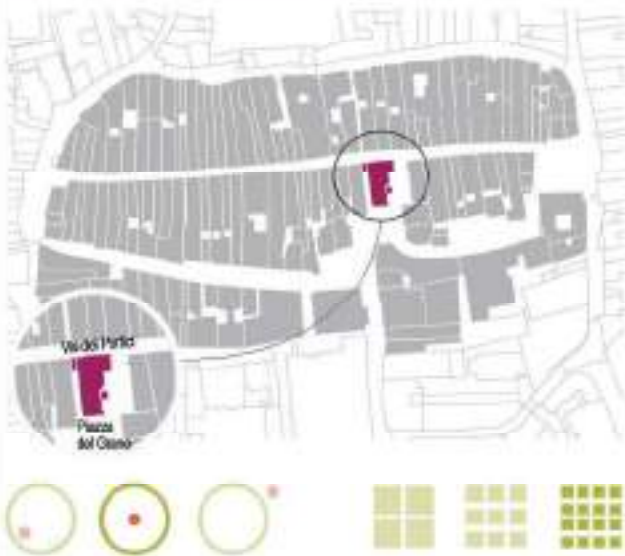
I portici erano il luogo del mercato, quindi al piano terra si trovano le botteghe e ai piano superiore le abitazioni di artigiani e mercanti. Nonostante faccia parte di questo complesso, la Casa della Pesa risulta separata dalle altre abitazioni da uno stretto vicolo.

Fino al 1780 l'edificio ospitava al piano terra la pesa pubblica, una bilancia ufficialmente calibrata per pesare le merci prima del loro ingresso sul mercato.

I locali dei piani superiori probabilmente erano adibiti a scopi commerciali, ma non vi sono notizie certe. Fu trasformata in abitazione nella prima metà del XX sec., mantenendo al piano terra la funzione di negozio. Dal 2009 è proprietà della Fondazione Cassa di Risparmio. È stato dal 2010 al 2013 uno dei casi studio del progetto europeo 3EnCult.

# INQUADRAMENTO

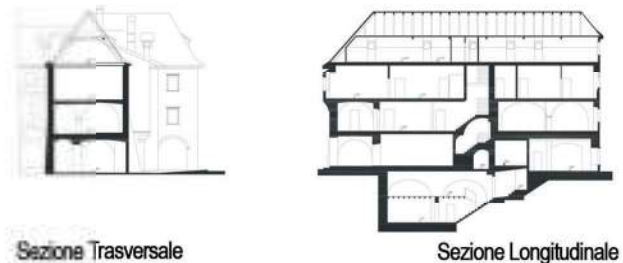
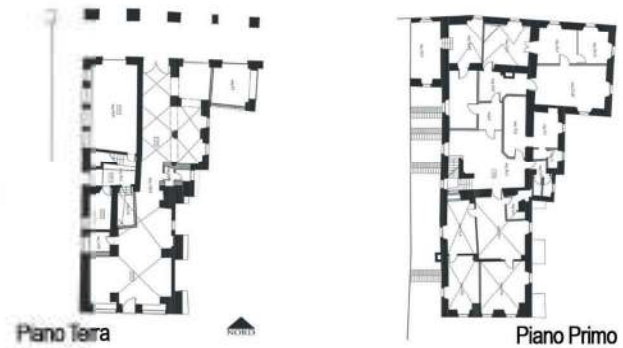
## Localizzazione e tessuto edilizio



## Stratificazione del tessuto edilizio

Via dei Portici è il nucleo originario della Città di Bolzano, sorta per iniziativa del principe vescovo di Trento negli ultimi decenni del XII secolo (1180). La prima strada, centro della città mercantile, arrivata intatta fino ai nostri giorni, fu la via dei Portici. Lunga oltre 300 metri fu orientata in direzione est-ovest al riparo dei gelidi venti da nord. La nuova città, che comprendeva una sede amministrativa vescovile (sul sito dell'odierna Casa della Pesa e della Farmacia Madonna in Piazza del Grano) e le case con portici, veniva a trovarsi proprio lungo la cosiddetta "Strada Imperiale" (Kaiserstrasse) che dal Brennero conduceva a Roma. Le prime case con portico, in stile romanico, constavano di un solo piano con antistante copertura a volta in muratura, mentre sul lato che dava sulla strada le case arrivavano fino a tre piani sottoterra. Gli edifici, oggi visibili nelle forme assunte nei secoli XVII e XVIII, conservano l'originaria struttura medievale su lotto stretto e profondo e la simmetrica disposizione attorno all'asse viario centrale. La tipica casa dei portici è larga "4 passi" (meno di 4 metri) mentre misura circa 50 m in profondità e si articola in tre cortili interni che danno luce ad altrettante sezioni in cui si divide l'edificio. Le case sono strettamente addossate, divise da intercapedini di circa 30 cm.

## Letture morfo-tipologica (fonte rilievo metrico)



Tipologia Edilizia  
Urbana: Palazzetto

Numero di Piani  
3 piani  
1 sottotetto  
1 interrato

Dimensioni totali  
2000 mc

Altezza inter piano  
3 - 4 m

## RAPPORTO CON IL CONTESTO

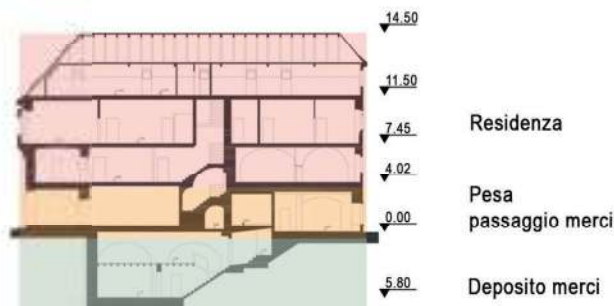
### Analisi spazi urbani circostanti

L'edificio è sito alle spalle della piazza principale (Piazza Walter) su cui si affaccia il Duomo e risulta essere parte integrante del tessuto medievale consolidato del centro storico, interamente vincolato in quanto portatore di particolare interesse storico e architettonico. La facciata principale si rivolge su Piazza del Grano, che ha da sempre svolto un ruolo fondamentale nella vita e nello sviluppo commerciale della città: rappresentava infatti un tramite diretto con la zona dei portici, su cui affaccia il retro dell'edificio, che nel XII Sec. era adibita al commercio e negli anni ha mantenuto la sua conformazione. L'importante ruolo svolto dall'edificio nella vita pubblica è testimoniato anche dagli affreschi presenti nel prospetto a sinistra della facciata principale, dove vi è anche l'ingresso all'edificio.

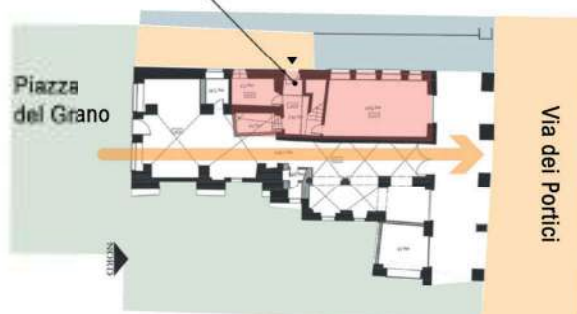


### Analisi funzionale

Gli edifici della parte più antica del centro storico presentano tutti quanti la stessa conformazione. A riprova del fatto che Bolzanna fosse un centro commerciale molto importante vi è la struttura urbana ed architettonica che si consolidata nei secoli. Il piano terra degli edifici era adibito a bottega mentre i piani superiori ospitavano gli alloggi dei proprietari. La pesa pubblica rivestiva un ruolo chiave in quanto stabiliva quali merci potevano essere introdotte sul mercato.



L'ingresso per le stanze private era posto lateralmente e non sul fronte a sottolineare quale era la funzione principale dell'edificio



### Vincoli e strumenti urbanistici vigenti



Il fabbricato è individuato dal Piano Paesaggistico e dal Piano Urbanistico Comunale all'interno di un agglomerato che presenta carattere storico, artistico e di particolare pregio ambientale.

PP\_ Piano Paesaggistico, 2000  
 Norme di attuazione al Piano Paesaggistico  
 d) Zona di particolare valore storico - culturale

PUC\_ Piano Urbanistico Comunale, 2003  
 Zona A Centro Storico  
 Edifici e complessi di rilevante valore storico - artistico  
 (Art. 136 del D.Lgs. 42/2004 e s.m.i ex legge 1089/39)

Classe sismica 4  
 Zona Climatica E  
 Altezza s.l.m. 262 m

Ricostruzione sincronica delle fasi costruttive



1100 d.C.	<span style="color: green;">■</span>	Inizi 1500	<span style="color: orange;">■</span>
1200 d.C.	<span style="color: blue;">■</span>	1600	<span style="color: red;">■</span>
Il metà 1400	<span style="color: purple;">■</span>	1700	<span style="color: yellow;">■</span>

La Casa della Pesa come si presenta oggi è costituita da due edifici differenti, l'edificio su Via dei Portici e l'edificio su Piazza del Grano. Ogni singolo edificio ebbe sviluppi propri (rialzi) e solo in un secondo tempo furono unificati, allineando i piani. Agli edifici preesistenti furono accostati in tempi diversi altri corpi di fabbrica. La Casa della Pesa presenta piani falsati, perciò le decorazioni del primo piano appartengono al secondo piano, prima dell'allineamento seicentesco del livello dell'edificio di Via Portici che ha unificato la casa.

Stato di conservazione

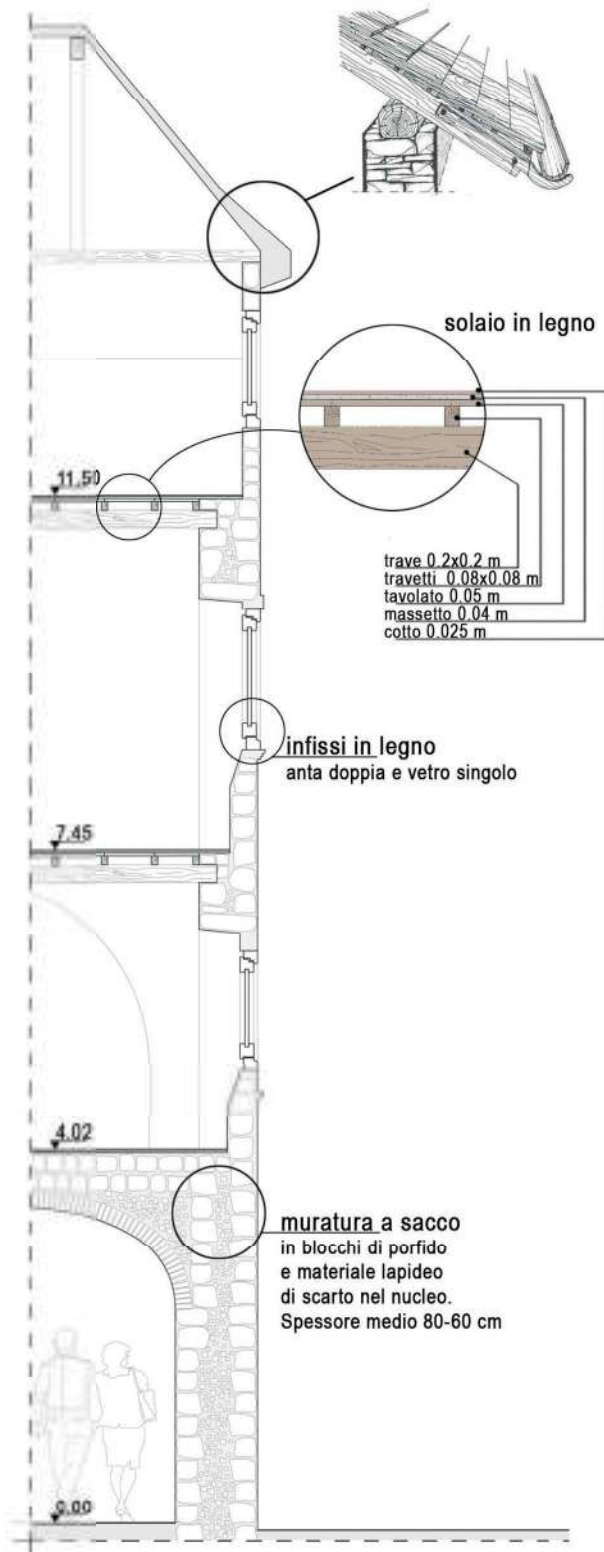
Buono

Sporadiche lesioni; alterazioni superficiali per il 20% dell'involucro; assenza di crolli.

<span style="color: grey;">■</span> Deposito superficiale	<span style="color: lightblue;">■</span> Dilavamento	<span style="color: yellow;">■</span> Degradazione differenziale
---	--	--



Sistema costruttivo



## Pianificazione degli interventi

La Casa della Pesa rappresenta il caso di studio operativo italiano del progetto europeo 3EnCult. In tal senso il progetto di riqualificazione energetica non ha riguardato tutto il fabbricato, ma solamente una zona ben circoscritta: due stanze al piano primo e le corrispondenti al piano secondo.

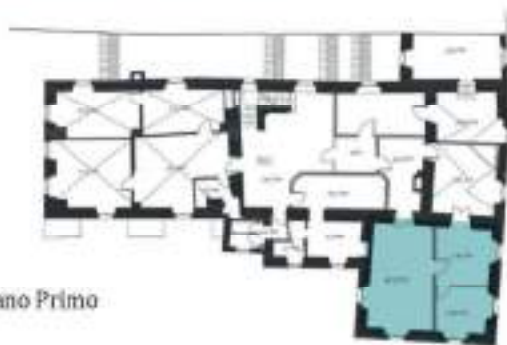
La sperimentazione prevedeva la messa in opera di alcuni sistemi per aumentare l'efficienza energetica che non fossero invasivi e rispettassero la preesistenza e il suo valore storico-architettonico. Quindi non potevano essere in alcun modo alterati i prospetti.

Le scelte fatte sono state essenzialmente due: inserire uno strato di isolamento termico interno e sostituire gli infissi, che risalivano non all'epoca di costruzione, ma agli anni '50-'60 del novecento, quando erano stati fatti dei lavori nell'edificio.

Gli interventi sono stati preceduti da una serie di analisi della struttura, al fine di poter conoscere al meglio le caratteristiche della muratura e non effettuare scelte che potessero danneggiarla, e sono stati costantemente seguiti dalla Soprintendenza che ha affiancato i ricercatori nell'individuazione della metodologia di intervento con lo scopo di realizzare interventi completamente reversibili e poco invasivi.

Infine è stato installato un sistema di monitoraggio degli ambienti che permettesse di verificare non solo le condizioni della muratura, ma anche i parametri di comfort all'interno degli ambienti. Umidità relativa, temperatura dell'aria e temperatura superficiale, sono tutt'ora costantemente tenute sotto controllo per verificare i risultati nel lungo termine.

## Collocazione dell'intervento



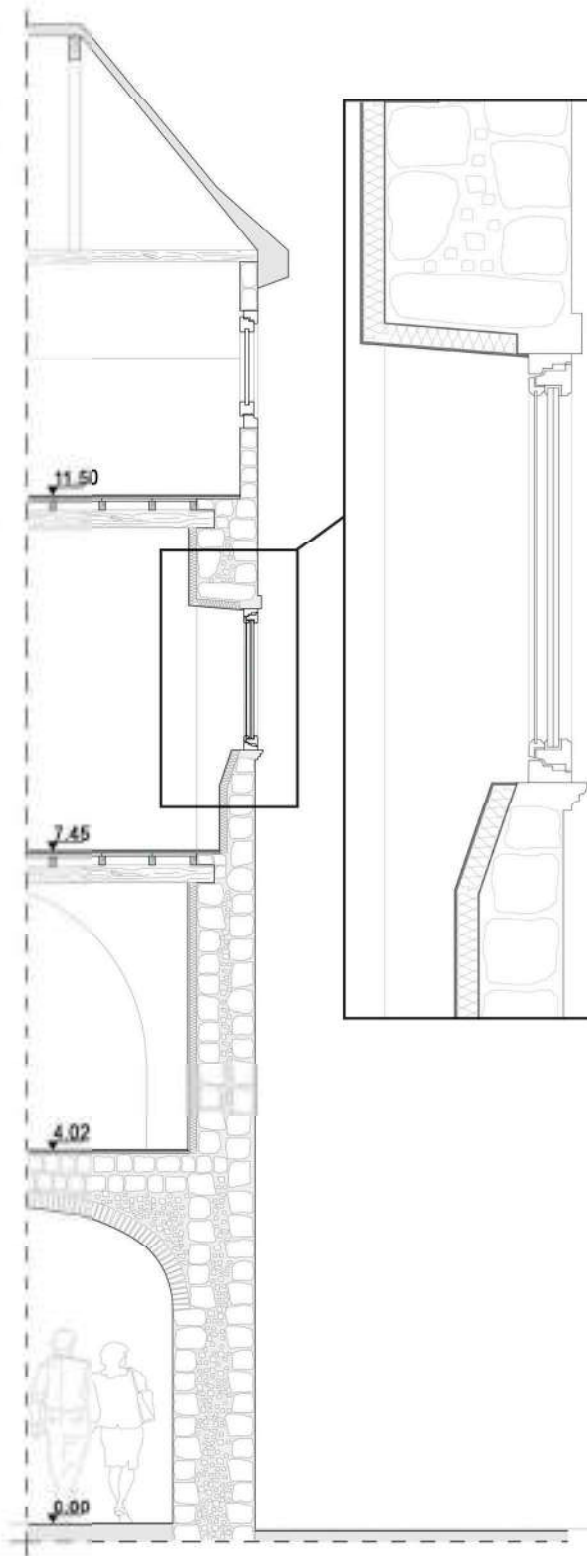
Pianta Piano Primo



Sezione trasversale

## Sistema costruttivo

### Azioni di miglioramento energetico



# Villa sul Lago di Como



## Localizzazione

BELANO (LC), Lago di Como, Lombardia

## Anno di costruzione

1830-1855 costruzione

1925 sostanziale rinnovamento

1939 importante ampliamento

## Progettista

Non noto

## Ultimi interventi

2013-2015

## Tipologia di progetto

Restauro e consolidamento strutturale

Riqualificazione energetica

## Partners di progetto

-Progettista Architetto Valentina Cari

-Energy consulting studio Solar Raum, Bolzano

-Monitoraggio e consulenza scientifica EURAC Research

Instituto per le Energie Rinnovabili, settore Edifici Storici

## Destinazione d'uso originaria

Residenza estiva

## Destinazione d'uso attuale

Residenza

## Destinazione d'uso futura

Residenza/appartamenti

## Proprietà

Privata

Villa Castelli sorge nei pressi di un centro storico sulla riva orientale del Lago di Como, in provincia di Lecco. Questa dimora, risalente al 1830, è stata interessata, nel corso del tempo, da diversi interventi di ampliamento che le hanno pur sempre conferito un'impronta architettonica coerente, tuttora ben leggibile.

L'ambiziosa sfida di questo progetto è stato il miglioramento delle performance energetiche dell'edificio e del comfort interno per gli occupanti, preservando e valorizzando le pregiate caratteristiche architettoniche dell'immobile.

Essendo la Villa tutelata è stato fondamentale il confronto diretto con la Soprintendenza dei Beni Architettonici, al fine di trovare soluzioni progettuali che fossero in grado di integrare esteticamente gli elementi innovativi in un contesto architettonico di pregio. Il recupero conservativo e la riqualificazione energetica sono stati portati avanti seguendo il protocollo CasaClima R.

# INQUADRAMENTO

## Localizzazione e tessuto edilizio



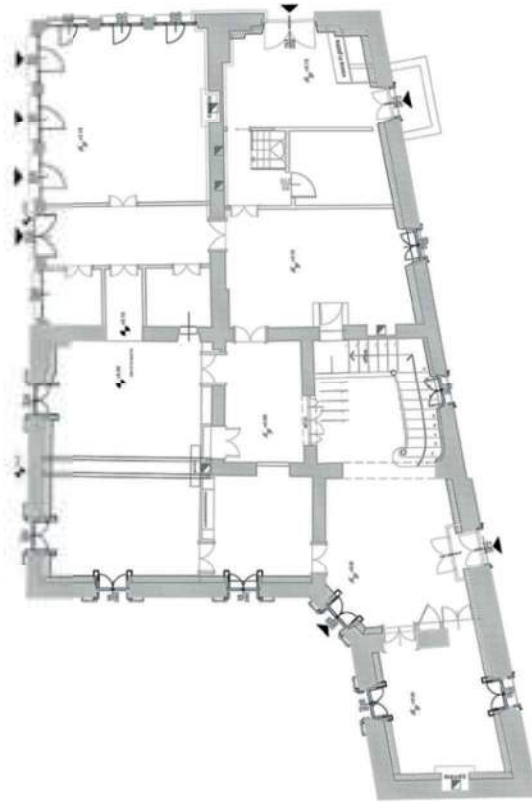
## Stratificazione del tessuto edilizio

Nonostante Bellano sia stato proprietà di numerose famiglie nobili lombarde che ne hanno modificato continuamente l'assetto urbano, è riuscita a conservare un piccolo centro storico di struttura medioevale caratterizzato da strette viuzze dove a malapena filtra la luce.

Camminando nei vicoli del vecchio borgo si scoprono prospettive di case medievali, archi settecenteschi, cortili barocchi sormontati dagli stemmi della nobiltà bellanese. Significativo anche il patrimonio religioso espresso nelle sue chiese. Le testimonianze artistiche più significative si riscontrano nella Parrocchiale dei Santi Nazaro e Celso e nella Chiesa di Santa Marta.

Bellano nell'Ottocento è stato inoltre un vivace centro industriale specializzato nella lavorazione dei tessuti, e centro di commerci e cultura, di cui si trova ancora traccia nell'assetto urbanistico del centro storico e nella fabbrica ormai dismessa appena fuori il nucleo storico.

## Letture morfo-tipologica (fonte rilievo metrico)



Tipologia Edilizia  
Villa Indipendente  
Extraurbana

Numero di Piani  
2 piani  
1 sottotetto

Dimensioni totali  
2606 mc

Altezza interpiano  
3 - 4 m



## RAPPORTO CON IL CONTESTO

### Analisi spazi urbani circostanti

Il centro storico di Bellano sorge sulla sponda orientale del Lago di Como. Ritrovamenti del secolo scorso hanno messo in luce come il territorio fosse utilizzato già in epoca romana. Il nucleo urbano così come si presenta a noi oggi è databile tra la fine del Medioevo e l'inizio del Rinascimento (tre-quattrocento). Le mura, i numerosi palazzi e gli edifici ecclesiastici testimoniano l'importanza della città nella società dell'epoca.

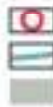
Nei secoli il centro si è mantenuto pressoché invariato, mentre in aree leggermente periferiche e più vicine al lido, sono sorte una serie di Ville, generalmente per la villeggiatura, che hanno reso caratteristico lo skyline della costa del Lago. Villa C. vede la sua facciata principale rivolta verso un giardino il cui cancello dà direttamente su lago.



duomo

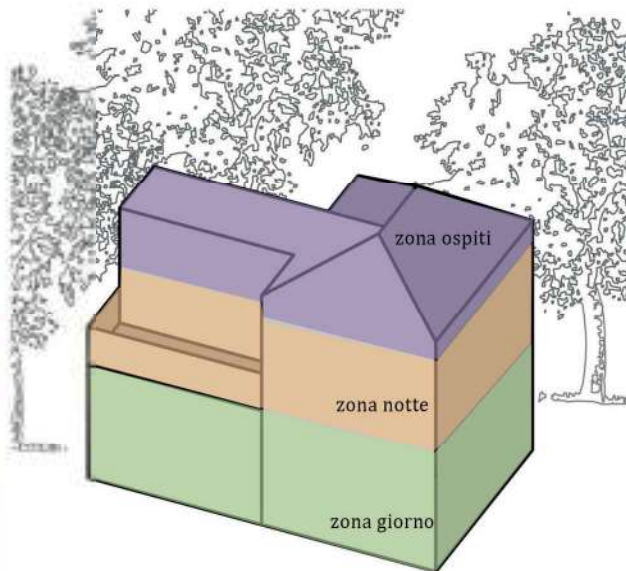
lungolago

Villa C.  
Centro storico  
Corsi d'acqua



### Analisi funzionale

La Villa ha subito una serie di interventi tra cui una riorganizzazione funzionale degli spazi, che la rendesse più adatta allo stile di vita dei nostri giorni. Non sono stati fatti degli stravolgimenti per via di un vincolo sulle strutture interne dell'abitazione e perché si mirava a mantenere il più possibile la memoria della casa che è di proprietà della famiglia da 140 anni. L'articolazione funzionale vede un piano terra diviso in due zone ben distinte, quella dedicata alle attività di servizio, posta sul retro rispetto al fronte principale e in diretto collegamento con l'ingresso secondario, e quella per la rappresentanza, che dialoga direttamente con il lago. Al piano superiore sono state posizionate le camere da letto, così come al sottotetto, pensato per accogliere eventuali ospiti.



### Vincoli e strumenti urbanistici vigenti



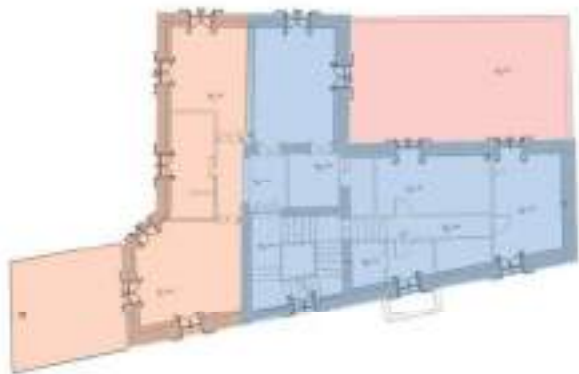
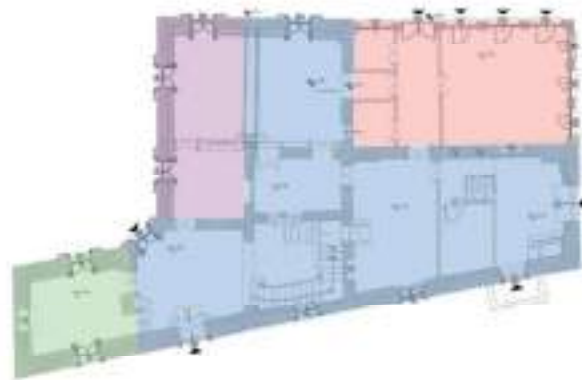
Il fabbricato è individuato dal Piano Paesaggistico e dal Piano di Governo del Territorio.


PPR\_Piano Paesaggistico Regionale  
Tavole I (a b, c, d, e, f, g) - Quadro sinottico tutele paesaggistiche di legge - articoli 136 e 142 del D. Lgs. 42/04

PGT\_Piano di Governo del Territorio  
- Bellezze d'insieme  
- Immobili ed aree di notevole interesse pubblico  
(Art. 136 del D.Lgs. 42/2004 e s.m.i ex legge 1089/39)

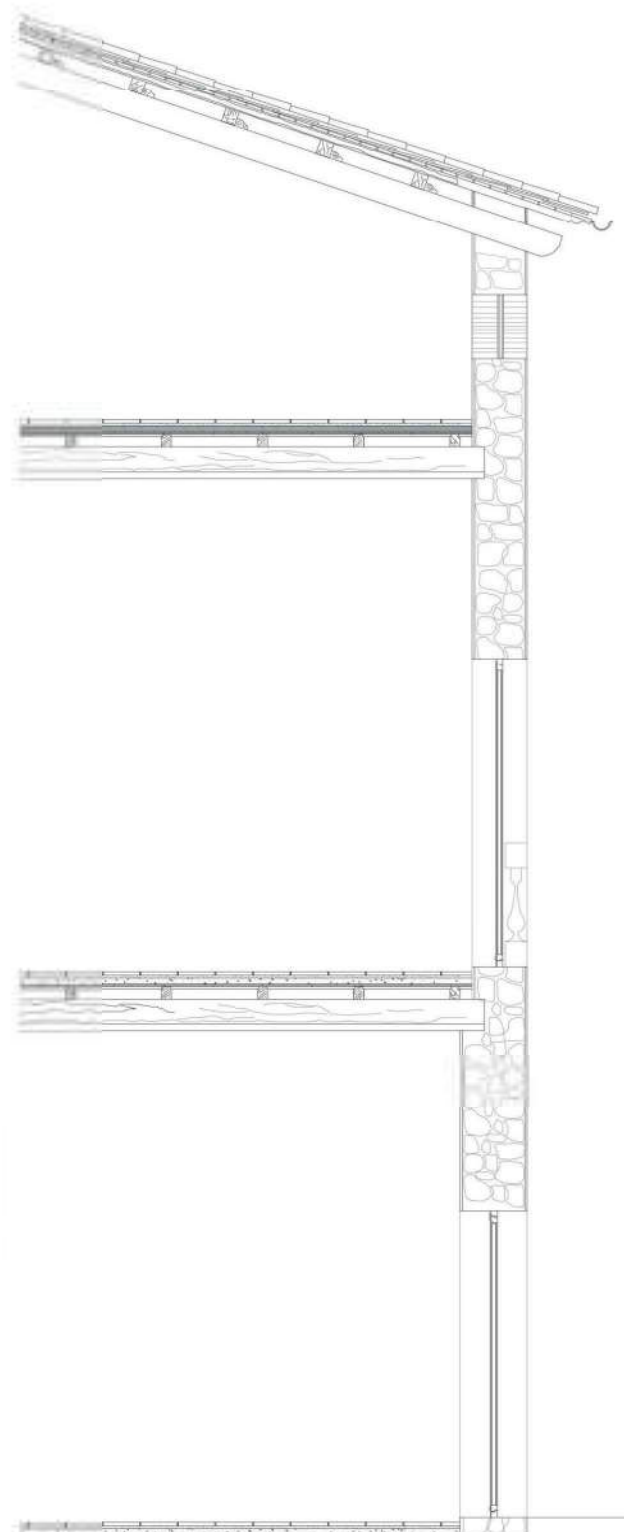
Classe sismica	Zona Climatica	Altezza s.l.m
4	E	202 m

Ricostruzione sincronica  
delle fasi costruttive



prima del 1840		1925	
1840-55		1939	
1910			

Sistema costruttivo



Villa C, oggi è il risultato di vari ampliamenti e rifacimenti che si sono susseguiti in circa 100 anni. Di conseguenza ne deriva un'unione di varie tecnologie costruttive e di conseguenza materiali, che seguono molto quella che era la tendenza architettonica delle varie epoche. Ad ampie murature in pietra di Varenna si contrappongono pilastri in cemento armato.

Stato di conservazione

Ottimo  
Recenti interventi di consolidamento/ restauro/ adeguamento

## Pianificazione degli interventi

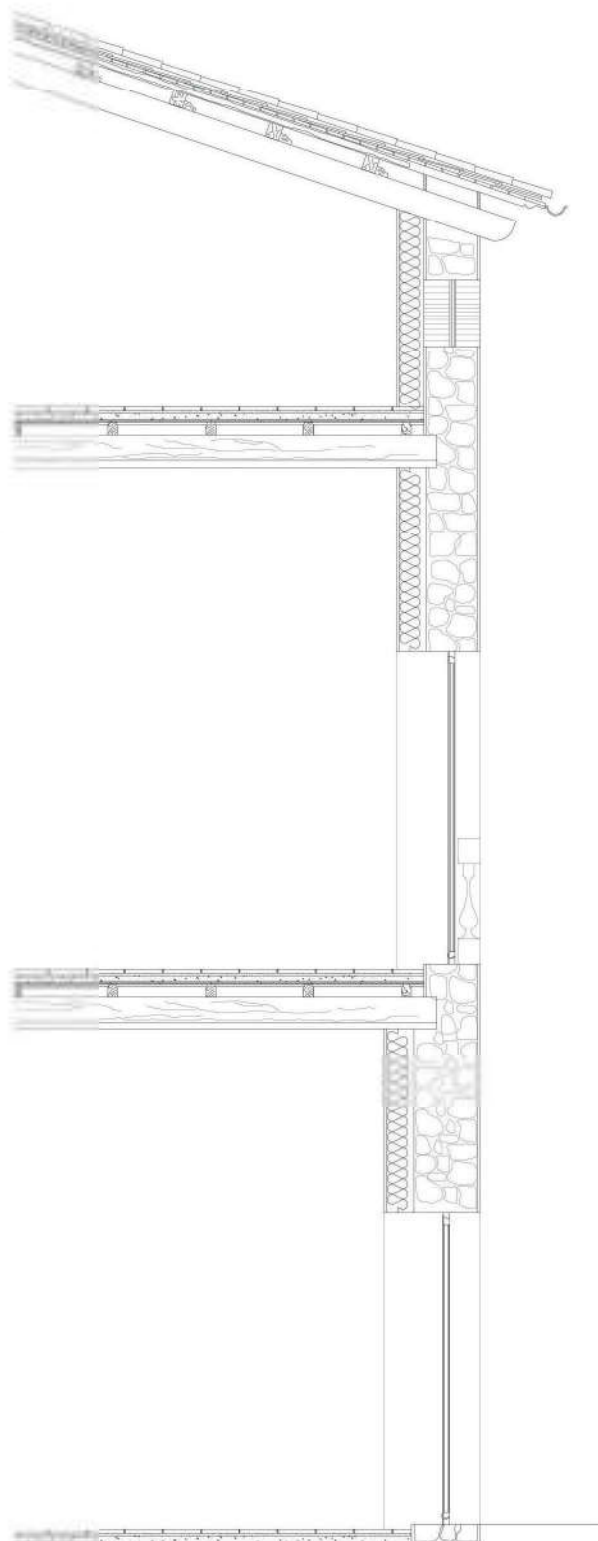
Le porzioni più antiche sono costituite da murature perimetrali ed interne portanti dello spessore variabile tra 42 e 62 cm in pietra locale squadrata. Per gli innalzamenti sono invece stati utilizzati mattoni pieni e in alcuni casi forati. Ne deriva che anche i solai presentano caratteristiche architettoniche molto diverse tra loro. A quelli ottocenteschi composti da travi lignee si uniscono strutture orizzontali in acciaio e soletta in cemento armato risalenti al periodo prossimo alla seconda guerra mondiale.

Vi erano dei vincoli ben precisi di partenza che andavano rispettati in fase progettuale e per i quali si è deciso di optare per un isolamento interno. Le facciate, ben conservate, presentano una serie di elementi decorativi tipici dell'epoca di costruzione che sarebbero venuti meno, cambiando completamente la fisionomia esterna dell'edificio, se si fosse scelto un classico cappotto. Questa scelta ha permesso di mantenere inalterato l'aspetto esterno senza dover rinunciare al risanamento energetico. La consapevolezza delle difficoltà di un intervento del genere e dell'impossibilità, a priori, di poter eliminare tutti i ponti termici, ha portato i progettisti ad effettuare delle scelte di volta in volta diverse a seconda della differente struttura muraria con cui si aveva a che fare.

Prima di intervenire dal punto di vista energetico è stato necessario portare avanti delle opere di consolidamento delle murature. Fondamentale è in questi casi assicurarsi dello stato di conservazione delle strutture preesistenti al fine di evitare l'insorgere di altre problematiche ex post. A tale proposito è stato sostanziale occuparsi in primis dell'umidità di risalita.

## Sistema costruttivo

### Azioni di miglioramento energetico



■ Isolante



# Casa Gioiso



**Localizzazione**  
FRIGENTO (AV), Campania

**Anno di costruzione**  
Prima del 1700

**Progettista**  
Non noto

**Ultimi interventi**  
1980

**Tipologia di progetto**  
Ipotesi di riqualificazione energetica  
Caso studio del progetto di ricerca Metrics

**Partners di progetto**  
-STRESS (capofila)  
-ATP s.r.l. CALCESTRUZZI IRPINI S.p.a.  
-Consorzio TRE D'APPOLONIA S.p.a.  
-GEOSLAB s.r.l., ICIE Soc. Coop.  
-TECNOSISTEM S.p.a.  
-UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"  
-UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DEL SANNIO

**Destinazione d'uso originaria**  
Residenza

**Destinazione d'uso attuale**  
Residenza

**Destinazione d'uso futura**  
Residenza

**Proprietà**  
Privata

Casa Gioiso è un edificio residenziale di edilizia minore sito nel centro storico di Frigento.

Lo studio tipologico definisce la struttura come una casa a schiera con affio. Si trova nel cuore del centro storico non distante dalla piazza principale, Piazza Duomo, su cui affaccia la Cattedrale Santa Maria Assunta. La stecca di cui fa parte è una delle più antiche per costruzione, databile anteriormente al 1700 così come gli edifici subito limitrofi.

Il lavoro svolto su questo caso studio ricade all'interno del progetto Metrics. Metrics è un progetto di ricerca industriale per lo sviluppo di metodologie e tecnologie innovative per favorire la sostenibilità e la sicurezza nei centri storici delle città.

Il caso di Frigento è molto particolare, infatti il centro, colpito dal terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, è stato in gran parte ricostruito e consolidato, quindi gli edifici con cui abbiamo a che fare non solo completamente in muratura, ma spesso hanno strutture in cui materiali diversi e tecniche costruttive differenti di epoche differenti si legano tra loro.

# INQUADRAMENTO

## Localizzazione e tessuto edilizio



### Morfologia urbana.

In rosso vengono segnati i percorsi principali, uno che circonda il centro storico e rappresenta anche il belvedere; l'altro permette di collegare la parte nuova con quella antica

### Tipologia Edilizia

Casa a schiera

Numero di Piani

2 piani

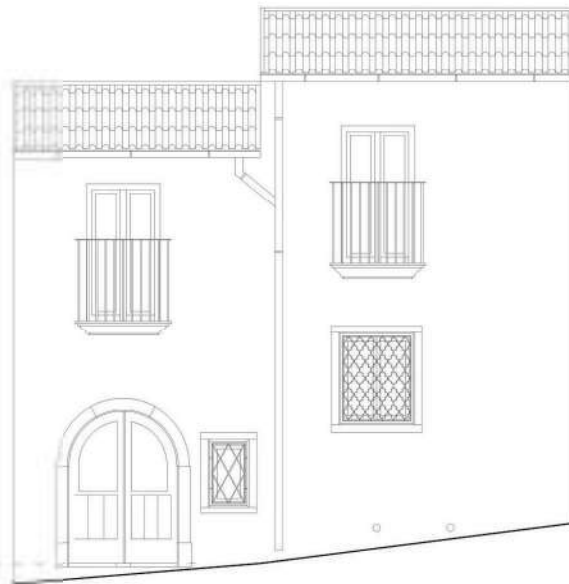
Altezza interpiano

3 - 4 m

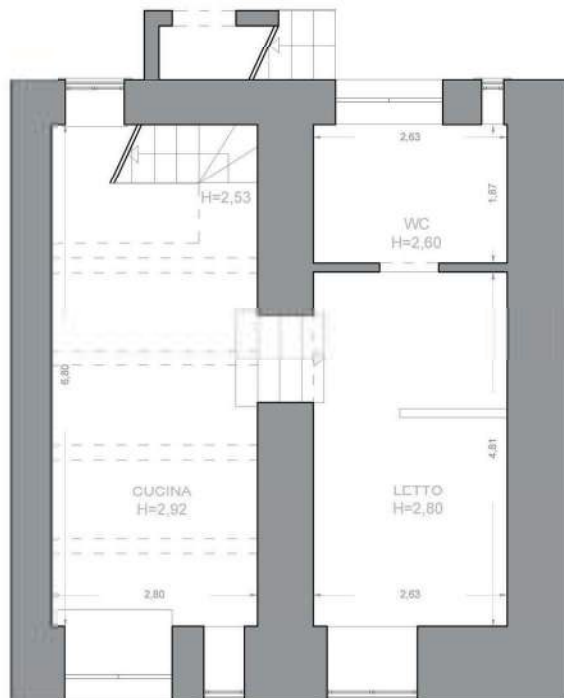


Disposizione tipo centro storico

## Letture morfo-tipologica (fonte rilievo metrico)



Prospetto Principale



Pianta piano terra

## RAPPORTO CON IL CONTESTO

### Analisi spazi urbani circostanti

L'edificio è sito alle spalle della piazza principale (Piazza Walter) su cui si affaccia il Duomo e risulta essere parte integrante del tessuto medievale consolidato del centro storico, interamente vincolato in quanto portatore di particolare interesse storico e architettonico. La facciata principale si rivolge su Piazza del Grano, che ha da sempre svolto un ruolo fondamentale nella vita e nello sviluppo commerciale della città: rappresentava infatti un tramite diretto con la zona dei portici, su cui affaccia il retro dell'edificio, che nel XII Sec. era adibita al commercio e negli anni ha mantenuto la sua conformazione. L'importante ruolo svolto dall'edificio nella vita pubblica è testimoniato anche dagli affreschi presenti nel prospetto a sinistra della facciata principale, dove vi è anche l'ingresso all'edificio.



### Analisi funzionale

Gli edifici della parte più antica del centro storico presentano tutti quanti la stessa conformazione. A riprova del fatto che Bolzano fosse un centro commerciale molto importante vi è la struttura urbana ed architettonica che si consolidata nei secoli. Il piano terra degli edifici era adibito a bottega mentre i piani superiori ospitavano gli alloggi dei proprietari. La pesa pubblica rivestiva un ruolo chiave in quanto stabiliva quali merci potevano essere introdotte sul mercato.



### Vincoli e strumenti urbanistici vigenti



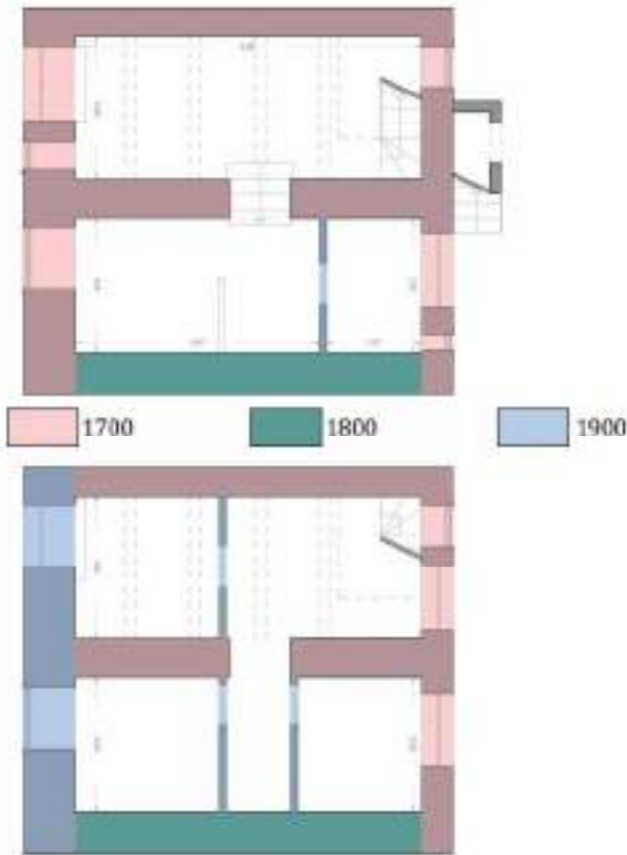
Il fabbricato è individuato dal Piano Paesaggistico e dal Piano Urbanistico Comunale all'interno di un agglomerato che presenta carattere storico, artistico e di particolare pregio ambientale.

PP\_ Piano Paesaggistico, 2000  
Norme di attuazione al Piano Paesaggistico  
d) Zona di particolare valore storico - culturale

PUC\_ Piano Urbanistico Comunale, 2003  
Zona A Centro Storico  
Edifici e complessi di rilevante valore storico - artistico  
(Art. 136 del D.Lgs. 42/2004 e s.m.i ex legge 1089/39)

Classe sismica	Zona Climatica	Altezza s.l.m
4	E	262 m

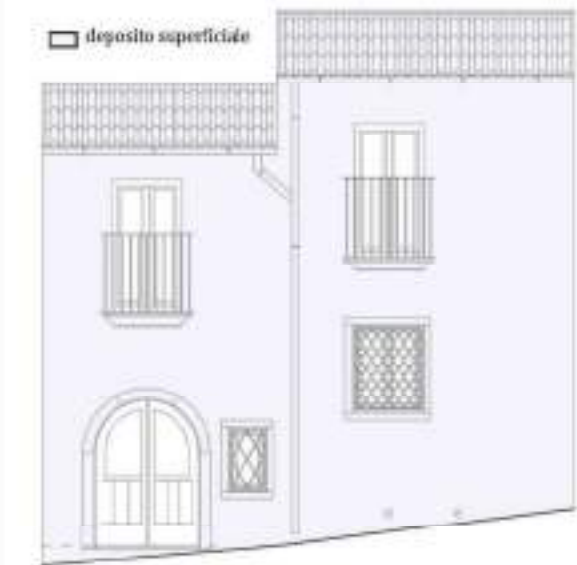
Ricostruzione sincronica delle fasi costruttive



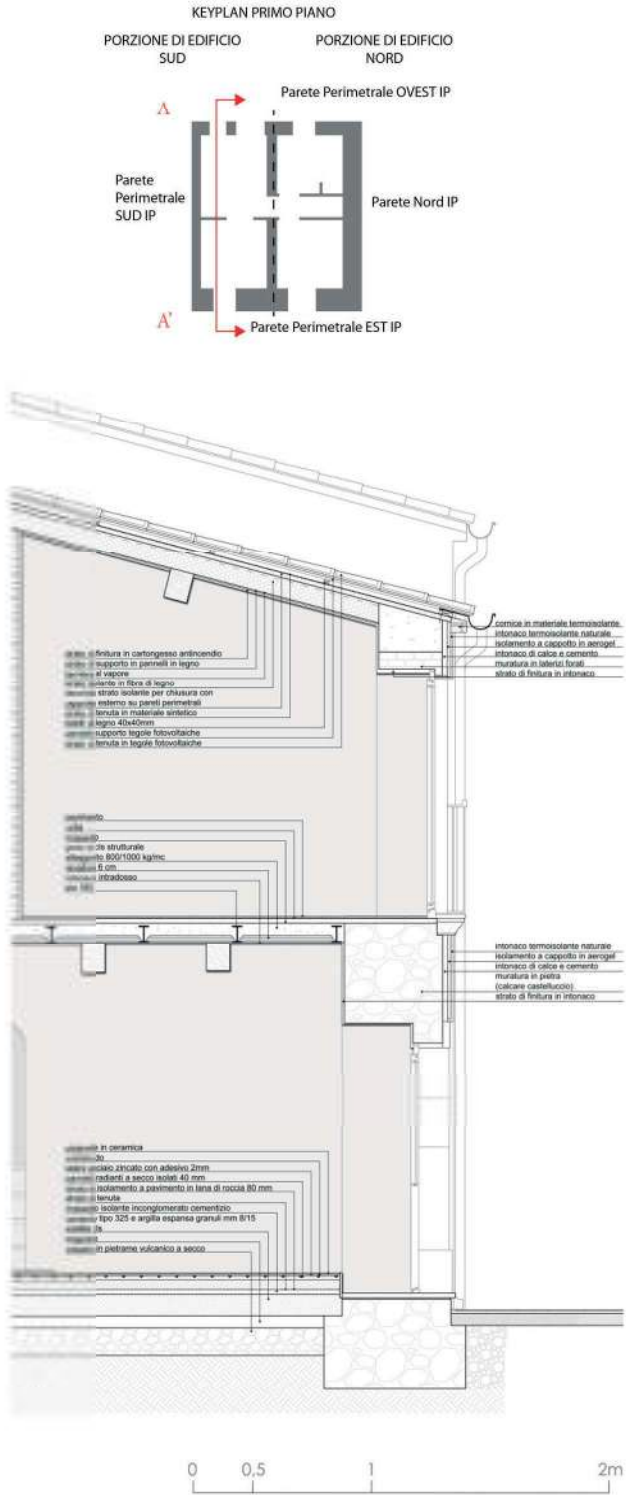
Stato di conservazione

Buono

Sporadiche lesioni: alterazioni superficiali per il 20% dell'involucro; assenza di crolli.



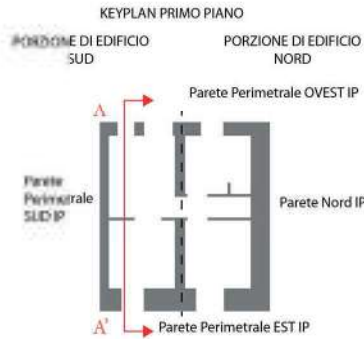
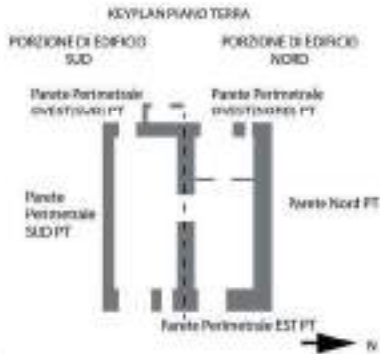
Sistema costruttivo



Sezione dell'edificio a cura dell'arch. Filippo Calcerano e dell'arch. Bruna di Palma

## Pianificazione degli interventi

## Sistema costruttivo Azioni di miglioramento energetico



### ISOLAMENTO SOLAI



1. pannello in cartongesso (20 mm)
2. cartongesso (30 mm)
3. strato acciaio piccolo con collante (2 mm)
4. pannelli isolanti a strato totale (40 mm)
5. strato di isolamento di pavimento in sabbia di quarzo (30 mm)
6. guaina (1 mm)
7. massetto isolante in conglomerato cementizio (40 mm)
8. strato in cemento (100 mm)
9. massone (100 mm)
10. livello in malta di calce e sabbia (20 mm)

Rimozione pavimentazione e sovrapposizione di strato isolante con eventuale guaina antiradiazioni guaina, posizionamento trattamento capillare in lana di roccia tipo ROCKWOOL Dacta-poc (8 cm), strato in polveri di sabbia e sabbia di quarzo (30 mm) da piano sovrastante in acciaio piccolo tipo TBA/TEC D80 (4,2 cm), sovrapposizione a piastrelle.

### ISOLAMENTO INVOLUCRI ESTERNI



1. intonaco termoisolante sabbia (20 mm)
2. intonaco e cappotto in cemento (20 mm)
3. intonaco di calce e cemento (40 mm)
4. strato in malta
5. intonaco di calce e cemento (40 mm)
6. strato di intonaco sabbia (20 mm)

Isolamento della chiusura verticale con applicazione di uno strato di isolamento a cappotto in pannelli di cartongesso da 10 cm posato su rete in fibra di vetro collata in uno strato di intonaco esterno in termoisolante sabbia tipo Dacta-poc Evolution (2 cm), totale 40 cm rispetto al filo d'intonaco.

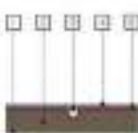
### ISOLAMENTO TETTI



1. strato di impregnazione sabbia in legno lapidario (20 mm)
2. strato in legno (10 mm)
3. intonaco in cemento (40 mm)
4. guaina impermeabile (10 mm)
5. strato in filo d'acciaio (20 mm)
6. strato in filo d'acciaio (20 mm)
7. strato di intonaco sabbia (20 mm)
8. strato di intonaco sabbia (20 mm)

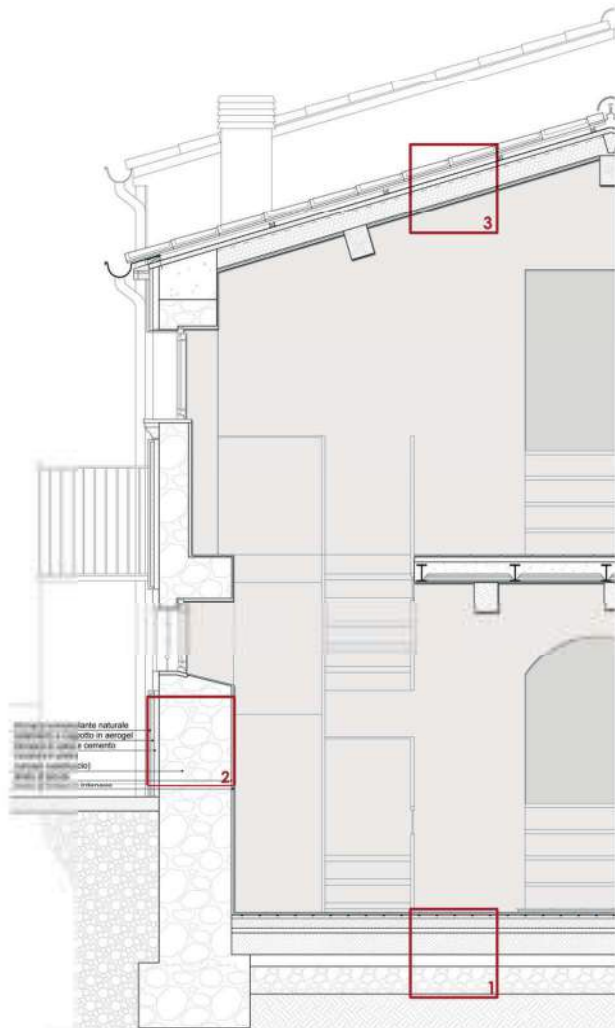
Isolamento del tetto a sud con impalme copertura fissa alle strutture esistenti in legno, sovrapposizione strato di finitura intonaco in pannelli di cartongesso antiradiazioni (1,5 cm) e pannelli tipo QSE (1,2 cm) con barriera al vapore fissa di occlusione delle capriate. Applicazione nell'intercapedine tra le capriate di uno strato di strato isolante ad elevata capacità termica in lana di legno tipo CSD/1000 in filo del cordolo, compresi le fasce da 4 cm in corrispondenza delle capriate (spessore complessivo 14 cm), applicazione di ulteriore strato di isolamento in filo di legno per isolare il ponte termico in base del cordolo ricompletando l'isolamento delle capriate di coperto esterno. Posa in opera guaina impermeabile e sovrapposizione supporto laterale per tegole di copertura lapidario tipo Suedella Sueda con sovrapposizione intonaco sabbia sabbia, sovrapposizione del pannello del cordolo.

### IMPIANTI



1. barriera umidità
2. pannello radiante
3. isolante
4. strato acciaio piccolo con collante
5. strato acciaio piccolo

Installazione di pannelli radianti e installazione di caldaia a condensazione per alimentare anche i radiatori esistenti. Il tutto in un unico strato di 80 cm viene sovrapposto al soffitto, dal quale tutto il SPC è viene permesso per scendere alla temperatura necessaria a fornire i pannelli radianti (20-25°C) su cui poi viene sovrapposto il pavimento in legno. È necessario un sistema di controllo che la temperatura del pavimento radiante resti sempre all'interno della soglia voluta.



Sezione dell'edificio e contenuti a cura dell'arch. Filippo Calcerano e dell'arch. Bruna di Palma



## VERIFICA E APPLICAZIONE DEL METODO DI ANALISI E PROGETTAZIONE SU CASI STUDIO

## ABSTRACT

La necessaria sperimentazione, per la verifica applicata delle ipotesi di compatibilità a lungo termine, è stata operata su tre edifici, analizzati anche tra gli esempi virtuosi, in cui è stato effettuato un sistema di interventi diversi da sottoporre a monitoraggio. Tale fase, portata avanti presso l'EURAC e l'ITABC del CNR, ha permesso di verificare anche le ipotesi conoscitive sviluppate nella prima e seconda parte della ricerca. Gli edifici oggetto di studio sono stati la Casa della Pesa di Bolzano, una Villa privata sul Lago di Como e un edificio a schiera (casa Gioioso) del centro storico di Frigento, classificabile come edilizia minore.

Il primo edificio è stato utilizzato per verificare a posteriori l'effettiva validità dell'intervento proposto nella fase sperimentale della ricerca 3Encult, con il requisito fondamentale della reversibilità.

La prima verifica effettuata ha riguardato la taratura del termoflussimetro per il monitoraggio. Successivamente, i dati del flusso ottenuti sono stati posti come base per poter testare il software di simulazione termo-igrometrica Delphin 5.3.8 e valutare la validità dei risultati.

Le verifiche sono state integrate da uno studio delle possibili semplificazioni geometriche delle sezioni murarie storiche affinché possano essere lette da strumenti di modellazione virtuale che indagano aspetti molto specifici.

Il secondo caso studio ha avuto come obiettivo la valutazione dell'effettivo raggiungimento di livelli di comfort ottimali in seguito ad un intervento di isolamento dall'interno.

Nell'ultimo caso studio la speculazione, puramente teorica, ha permesso di verificare il processo del progetto, dalla fase di conoscenza alla realizzazione. In base allo studio storico, tipo-morfologico e tecnologico dell'edificio, coerentemente con l'analisi del tessuto urbano attuale e dell'evoluzione del comparto edificato, della stratificazione della struttura, si è arrivati a formulare un'ipotesi di intervento di riqualificazione energetica. Le dimensioni ridotte dell'edificio hanno permesso di mettere a confronto diverse possibilità di isolamento.



## 6.1 Casi di studio, monitoraggio e verifica sui sistemi di isolamento dall'interno (EURAC). Waaghaus, Bolzano

Il primo edificio preso in analisi è un palazzetto medievale sito nel centro storico di Bolzano. La scelta di questo caso studio è stata una diretta conseguenza di un periodo di ricerca svolto presso l'Istituto per le energie rinnovabili dell'Eurac Research di Bolzano. In questi cinque mesi di scambio ho potuto confrontarmi con il team che si occupa degli edifici storici il cui capogruppo, Alexandra Troi, è stato anche il coordinatore scientifico del progetto europeo 3EnCult<sup>35</sup>.

3EnCult è stato un progetto pensato e portato avanti con l'intento di sviluppare e testare su casi studio soluzioni innovative per migliorare l'efficienza energetica degli edifici storici in area urbana. Il progetto si focalizza su edifici che svolgono una funzione pubblica o sociale. Obiettivo generale era migliorare la gestione dei flussi di energia in tale tipologia di edifici attraverso soluzioni attive e passive efficienti, convenienti e durature, adeguatamente monitorate e controllate, studiandone l'impatto sociale ed ambientale nel contesto urbano di riferimento ed in considerazione della funzione storica e attuale degli edifici considerati.

La Casa della Pesa, meglio conosciuto come Waaghaus, è stato il caso di studio italiano su cui l'Eurac ha lavorato. La concessione, da parte della Soprintendenza; di quattro stanze (due al piano primo e le rispettive sovrastanti al piano secondo) su cui poter intervenire sperimentalmente ha permesso al centro di ricerca di provare ad azzardare un intervento di isolamento interno tramite pannelli, per verificarne i benefici. Sono state anche sostituite due infissi con delle finestre nuove appositamente pensate e realizzate insieme ad una ditta tedesca specializzata nel settore, per rendere più completo l'intervento.

### OGGETTO DI STUDIO

L'edificio, d'impianto romanico (XIII secolo) ma ristrutturato nel XVII e XVIII secolo, fu fino al 1780 sede della pesa pubblica ("Fronwaage"), simbolicamente raffigurata nell'affresco di Albert Stolz sul volto dell'arco che dà sui Portici. Dell'impianto originario

35. Historic buildings are the trademark of numerous European cities, towns and villages: historic quarters give uniqueness to our cities, they are a living symbol of Europe's rich cultural heritage and reflect society's identity. Yet, this is also an area where the high level of energy inefficiency is contributing to a huge percentage of greenhouse gas emissions. With climate change posing a real and urgent threat to humanity and its surroundings, also to historic buildings, it is necessary to guide an improved approach to all refurbishment actions in historic buildings. <http://www.3encult.eu/en/project/welcome/default.html>



Maria Delago.  
La vecchia Waaghaus a Bolzano Acquaforte



Foto storica dalla mostra "Luce da ombra" alla Casa della Pesa di Bolzano

della casa è visibile un'ampia porzione di muratura romanica, con dei filari molto regolari di pietre di fiume sbazzate sulla faccia a vista, sul lato orientale.

Quest'importante ufficio, fonte di ricchi redditi, venne infeudato verso il 1342 alla famiglia bolzanina dei Vintler e successivamente (1580) ai Wolkenstein, che lo mantennero fino al 1633. Il Waaghaus è situato nel centro storico della città e appartiene al complesso dei portici, una serie di edifici commerciali costruiti alla fine del XII sec. dal Vescovo di Trento sotto l'impero di Federico Barbarossa. I portici erano il luogo del mercato, quindi al piano terra si trovano le botteghe e al piano superiore le abitazioni di artigiani e mercanti. Nonostante faccia parte di questo complesso, la Casa della Pesa risulta separata dalle altre abitazioni da uno stretto vicolo. Fino al 1780 l'edificio ospitava al piano terra la pesa pubblica, una bilancia ufficialmente calibrata per pesare le merci prima del loro ingresso sul mercato. I locali dei piani superiori probabilmente erano adibiti a scopi commerciali, ma non vi sono notizie certe. Fu trasformata in abitazione nella prima metà del XX sec, mantenendo al piano terra la funzione di negozio. Dal 2009 è proprietà della Fondazione Cassa di Risparmio. L'edificio è sito alle spalle della piazza principale (Piazza Walter) su cui si affaccia il Duomo e risulta essere parte integrante del tessuto medievale consolidato del centro storico, interamente vincolato in quanto portatore di particolare interesse storico e architettonico. La facciata principale si rivolge su Piazza del Grano, che ha da sempre svolto un ruolo fondamentale nella vita e nello sviluppo commerciale della città: rappresentava infatti un tramite diretto con la zona dei portici, su cui affaccia il retro dell'edificio, che nel XII Sec. era adibita al commercio e negli anni ha mantenuto la sua conformazione. L'importante ruolo svolto dall'edificio nella vita pubblica è testimoniato anche dagli affreschi presenti nel prospetto a sinistra della facciata principale, dove vi è anche l'ingresso all'edificio.

Si tratta del primo nucleo urbano di Bolzano con il Castello dei principi vescovi di Trento, fondatori della città. Il castello è stato probabilmente demolito da Mainardo II di Tirolo nel corso di una delle sue incursioni per ottenere il controllo dell'importante borgo commerciale (1277).

Piazza del Grano è il cuore del borgo medievale, ospitava il mercato delle granaglie documentato dal 1271. Era ricavata originariamente nell'areale del palazzo fortificato del vescovo di Trento, una delle autorità politiche, oltre che ecclesiastiche, che dominavano la

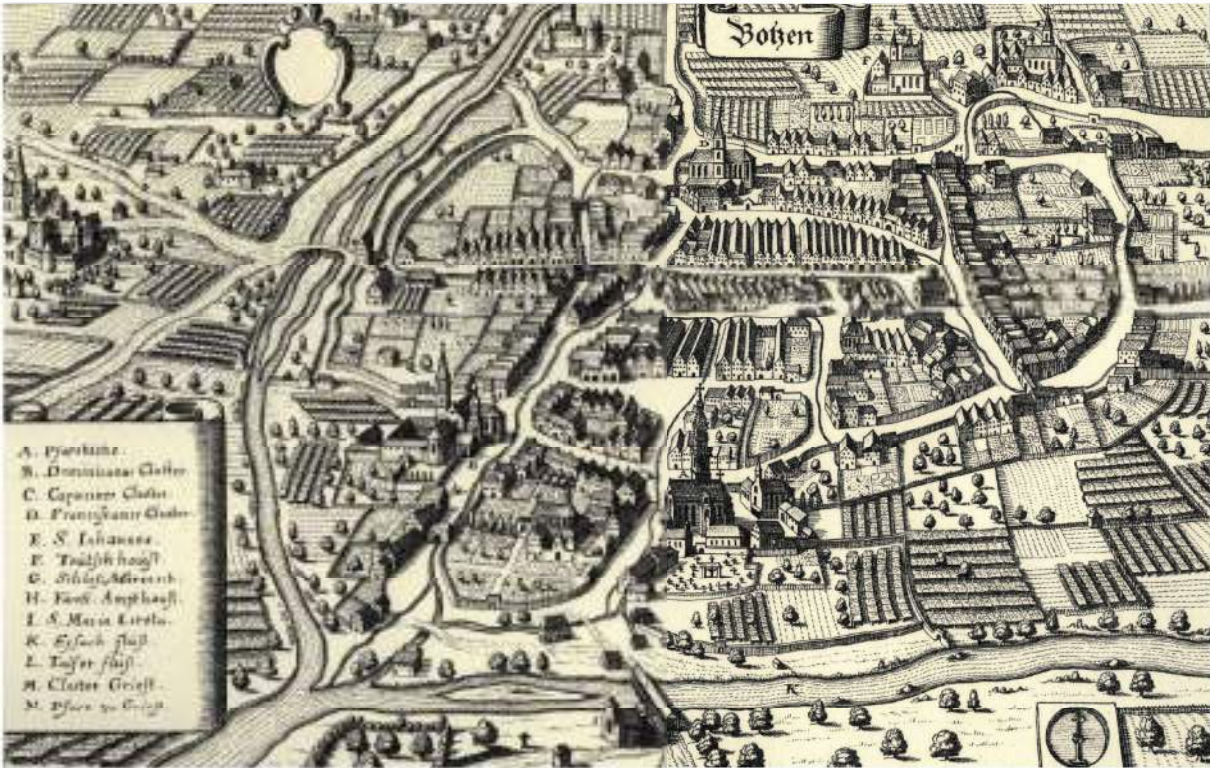
Didascalia alle immagini.

14. Casa della Pesa. Fronte verso Piazza del Grano

15. La Bolzano tardomedievale: e di prima età moderna: incisione di Matthäus Merian del 1649. In rosso viene individuata la Casa della Pesa



14.



15.

nostra terra in età medievale. Del palazzo non si conosce l'esatta collocazione: fu distrutto dal conte di Tirolo Mainardo II durante l'assedio di Bolzano nel 1277; parzialmente ricostruito, cadde nuovamente in rovina nel corso del Quattrocento.

La casa della pesa fa riferimento alla tipologia del palazzetto. Non supera i 3 piani e, sebbene oggi non sia adibito ad alcuna funzione, in passato ha ospitato al piano terra attività commerciali mentre ai piani superiori vi erano una residenza. L'accesso del piano terra è direttamente dalla piazza, mentre per accedere ai piani superiori è necessario prendere il Vicolo della Pesa sul lato destro dell'edificio.

#### INTERVENTI REALIZZATI NELL'AMBITO DEL PROGETTO EUROPEO

Al momento del progetto (2014) l'edificio risultava inutilizzato. Mentre il piano terra aveva ospitato un negozio fino al 2011, i piani superiori erano disabitati da circa 10/15 anni. Lo stato di conservazione generale non era buono, l'edificio presentava problemi di umidità e muffa, finestre danneggiate, sistema impiantistico vecchio e mal funzionante, fenomeni di degrado superficiale diffusi sia esternamente che internamente. Dal punto di vista strutturale sono invece stati riscontrati particolari problemi. I fenomeni di degrado rilevati erano in gran parte dovuti all'essenza di manutenzione e all'essere disabitato.

Come prima cosa sono state quindi portate avanti una serie di indagini per avere una conoscenza completa e approfondita della struttura. Carotaggi e termografia hanno permesso di analizzare in modo dettagliato la stratigrafia muraria, mentre il Blower Door Test e le analisi termoflussimetriche hanno fornito i dati riguardo la dispersione del calore e la conduttività termica delle pareti.

I materiali da costruzione utilizzati sono i tipici materiali che si riscontrano nei palazzi medievali urbani dell'area, in ogni caso tutti provenienti da risorse locali.

La struttura è costituita da una muratura a sacco realizzata con le pietre prossime alla riva del fiume Talvera con giunti in malta di calce. Lo spessore murario dei paramenti esterni è compreso tra i 60 e gli 80 cm e tutti i muri, ad eccezione del basamento, sono rivestiti da intonaco di calce.

L'obiettivo principale era quello di preservare l'integrità originaria di ogni elemento architettonico, artistico e decorativo. Ovviamente nel corso dei secoli l'edificio ha subito delle modifiche che rendono leggibile la biografia della struttura. Dal punto di vista della con-



Pannello isolante utilizzato per l'isolamento: iQ-Therm 80 mm

servazione la superficie interna (in questo caso l'intonaco) di un edificio può essere considerata come la pelle di un essere umano, per questo motivo è stata condotta un'accurata indagine sulle stratificazioni degli intonaci e si è scoperto che molti nascondevano al di sotto delle pitture di epoca barocca.

Gli interventi realizzati sono stati tre: installazione di pannelli isolanti sulla superficie interna della test room al primo piano; sostituzione di due finestre al primo piano; posa in opera di un sistema di monitoraggio del microclima interno prima e dopo l'intervento di isolamento.

L'isolamento interno è stato realizzato con 8 cm di poliuretano espanso ad alta densità microforato al laser (IQ-Therm Remmers;  $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$ ) per garantire un maggiore traspirabilità del muro ed evitare il più possibile problemi legati alla formazione di umidità tra la superficie di contatto tra muro e pannello. Esso infatti permette la risalita capillare dell'acqua attraverso alcuni canali riempiti di materiali porosi, impedendole di accumularsi sulla superficie fredda a contatto con il muro esterno<sup>36</sup>. Al fine di rendere l'intervento reversibile, di concerto con la Soprintendenza si è deciso di apporre uno strato di argilla sulla parete e di usare quella come collante per lo strato isolante. La finitura della nuova parete è stata invece realizzata con intonaco a base di calce.

Ovviamente l'applicazione di uno strato di isolante interno copre la conformazione originaria della parete e in un certo qual modo modifica la percezione dello spazio, ma in alcuni casi risulta essere una delle poche alternative percorribili.

Per quanto riguarda le finestre, la maggior parte di quelle originali erano state sostituite durante gli anni '50 e '60 del '900, quindi ne rimangono poche di età tardo barocca con profili in legno sottili e vetro singolo. Si è andato quindi ad intervenire su due infissi che non avevano un valore storico rilevante, però essendo l'infisso in ogni caso un importante componente qualificante dell'involucro sia per quanto riguarda guadagno solare che perdite di riscaldamento, il prototipo sviluppato è stato discusso con degli esperti. Fattore determinante nello sviluppo del concetto "smartin historic" è stata la necessità di mantenere gli elementi caratterizzanti l'estetica della facciata. Il serramento ripropone le stesse caratteristiche di quelli sostituiti, vale a dire numero e conformazione delle ante, colore ed effetto del vetro prodotto con metodi antichi, unendovi alte prestazioni energetiche, ovvero ridotta trasmittanza ed elevata tenuta all'aria.

36. E.Lucchi, V.Pracchi.  
(2013). Efficienza energetica e patrimonio costruito: La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica. Pag. 229,230.



Immagine della "smartin historic",  
Prototipo di finestra sviluppata

## CONTRIBUTO SPERIMENTALE: PREMESSE

A fronte di un primo studio dell'intervento realizzato, per comprenderne la natura e ciò che ci si aspettava in termini di risultati, insieme alla tutor di riferimento Elena Lucchi, abbiamo deciso di fare delle analisi per assicurarci dello stato di fatto e cogliere l'occasione di testare un software di simulazione dinamica termoigrometrica. Dlephin 5.8.3 è un programma pensato essenzialmente per edifici non storici, come lo sono tutti i software del medesimo tipo presenti sul mercato.

Partendo quindi dal presupposto che per poter intervenire su di un edificio storico è necessario accertarsi dello stato in cui versa la muratura su cui si va ad intervenire, poter avere a disposizione uno strumento in grado di darci dei suggerimenti utili in fase di analisi e poi successiva progettazione può sicuramente essere di supporto al tecnico incaricato. Fondamentale è infatti cercare di preservare le strutture in condizioni ottimali al fine di evitarne o accelerarne il degrado nel tempo. Sappiamo per certo che una muratura esposta continuamente per anni ed anni alle intemperie può incappare in fenomeni di deterioramento che, se trascurati, possono arrivare a compromettere il comportamento meccanico e la solidità della fabbrica. Si pensi per esempio al danneggiamento dovuto ai ripetuti cicli di gelo e disgelo nei paramenti murari a faccia vista o non protetti adeguatamente dall'intonaco. La gelività è una delle prime cause di alterazione del comportamento strutturale perché nel tempo può portare alla frattura degli elementi lapidei o dei laterizi che costituiscono le pareti dell'edificio.

Uguualmente tutte le problematiche legate all'umidità, sia essa di risalita o portatrice di condensa interstiziale, oltre ad arrecare danno alla struttura in se, possono sviluppare dei fenomeni chimico-fisici a lungo andare dannosi per la salute degli utenti ed esteticamente rilevanti.

L'idea è quindi stata quella di provare a sperimentare questo software sviluppato dalla Baulimatik Dresden che calcola il trasporto di acqua, vapore, umidità e sali, per verificare se potesse dare dei risultati attendibili anche nel momento in cui ci confronta con un edificio non di recente costruzione.

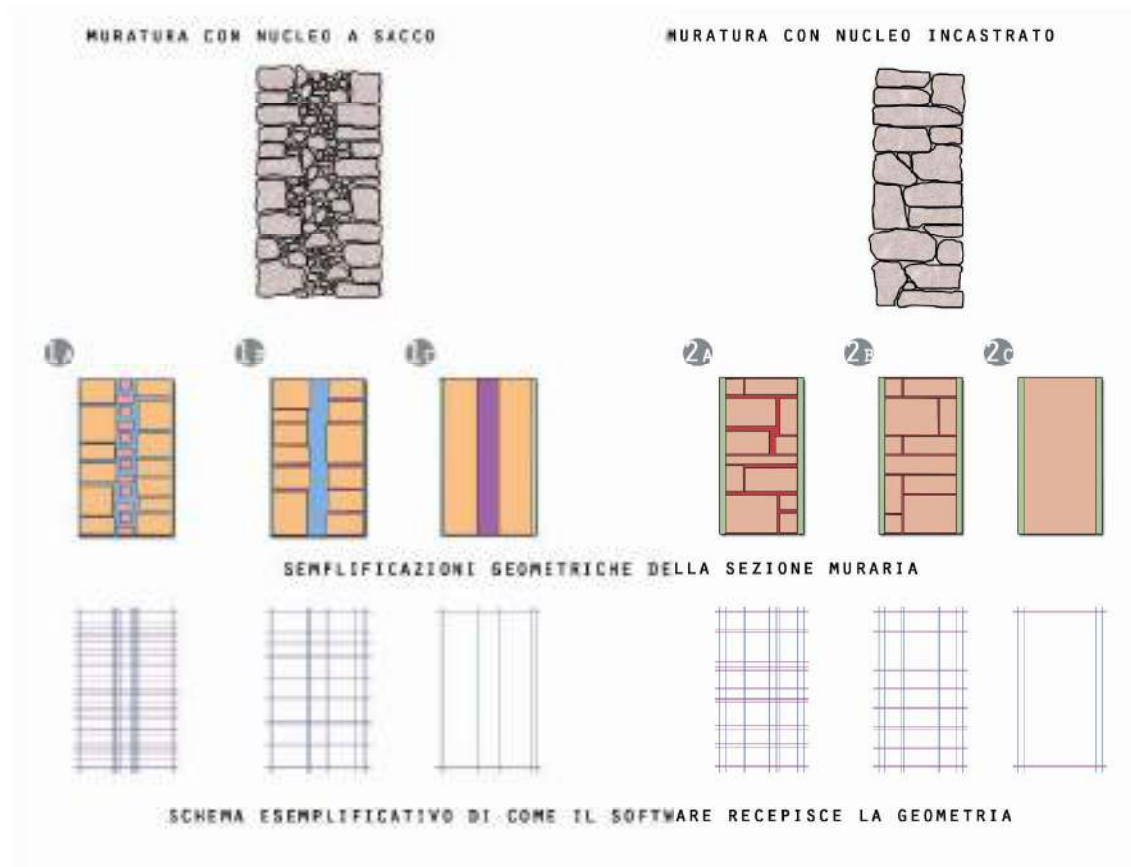
La questione è stata affrontata per gradi. Ovvero non si poteva effettuare alcuna simulazione senza prima avere dei dati certi da cui partire e su cui lavorare. Il problema principale presentatosi fin da principio era relativo alla rappresentazione della sezione muraria

con tutti i suoi elementi all'interno della griglia di riferimento offerta dal programma. Per meglio spiegare la questione è utile fare un confronto tra una struttura in pietra e una in cemento armato. Mentre nel secondo caso possiamo considerare la sezione come un unico blocco, un elemento omogeneo in ogni suo punto, per la pietra non è così. Quindi già la semplice rappresentazione arbitraria di blocchi qualsiasi risulta una foratura, dal momento che non sapremo mai cosa c'è esattamente in ogni singolo punto del nostro edificio. D'altro canto non potremmo nemmeno considerarla alla stregua di un unico elemento strutturale data l'importanza che la malta ricopre come punto debole e più facilmente attaccabile dagli agenti atmosferici e batteriologici.

In questo caso specifico eravamo tra l'altro aiutati dai risultati dei carotaggi che erano stati effettuati durante la ricerca 3EnCult, per cui c'era del materiale di base da cui partire a riflettere, ma bisogna sottolineare che difficilmente si può essere certi del contenuto della parete su cui lavoriamo perché si è impossibilitati a svolgere indagini di tipo invasivo.

A fronte di ciò, come prima cosa è stato necessario cercare di capire quale fosse il modo migliore per rappresentare la muratura con cui dovevamo lavorare, ma per farlo dovevamo avere come risposta dal software un dato attendibile sui cui basare le nostre ipotesi. Quindi è sembrato opportuno partire da un dato misurato in situ, cercare di ricreare le stesse condizioni all'interno del programma di simulazione e vedere quale scelta geometrica desse dei risultati sovrapponibili a quelli reali.

La scelta è ricaduta sulla misura del flusso di calore, dato reperibile facilmente attraverso l'utilizzo di un termoflussimetro. Si è dunque deciso di lasciar lavorare per molti giorni l'apparecchio andando a controllare ad intervalli più o meno regolari l'andamento della simulazione. Come infatti sappiamo, per le pareti pesanti, ovvero ad elevata inerzia termica, la normativa non è in grado di fornire delle indicazioni precise se non che i dati raccolti possono superare anche i 7 giorni. Per questo motivo ogni 3, 5, 7, 10 giorni sono stati scaricati e analizzati i dati senza interrompere la misurazione. Il lavoro è andato avanti per 21 in modo da essere sicuri dei risultati ottenuti, infatti un semplice sbalzo di temperatura potrebbe alterare i valori raccolti fino ad un dato momento e vanificare il lavoro.



16.



17.

## CONTRIBUTO SPERIMENTALE: LA VERIFICA CON TERMOFLUSSIMETRO

La parete selezionata è quella rivolta a Nord verso Via del Portici, dove il sole non batte quasi mai in modo diretto data la poca ampiezza della strada e l'altezza dei palazzi sui due fronti.

Sono stati posizionati contemporaneamente due termoflussimetri in due punti diversi della parete della test room in cui era stato installato lo strato isolante: uno in posizione centrale rispetto alla parete (sezione muraria 64 cm) e uno nella parete che interessa la zona sotto finestra dove la sezione della parete si riduce (26 cm). Si è cercato di posizionare le piastre lontano da ponti termici o elementi che potessero influire negativamente sui risultati.

La conduttività di partenza del muro originario era un dato noto e rilevata sempre tramite termoflussimetro in sede di progettazione dell'intervento di miglioramento energetico, mentre quella che ci aspettavamo come risultato dalle misurazioni era stata semplicemente calcolata sulla base dei valori del pannello isolante utilizzato. Dunque da questo punto di vista il lavoro è stato doppiamente utile: si è potuto anche verificare che il nuovo pacchetto murario lavorasse nel modo previsto.

La fase di installazione è stata preceduta, come richiesto da normativa, da un ricognizione della muratura con macchina termografica. Dal momento che non sapevamo quanto tempo fosse necessario affinché il flusso si stabilizzasse dal momento che ci trovavamo a che fare con un parete pesante, si è scelto di lasciare il termoflussimetro per più giorni e controllare periodicamente l'andamento della misurazione. A verifica completa si è potuto constatare che la parete ha avuto bisogno di ben 10 giorni per poter essere misurata in modo corretto.

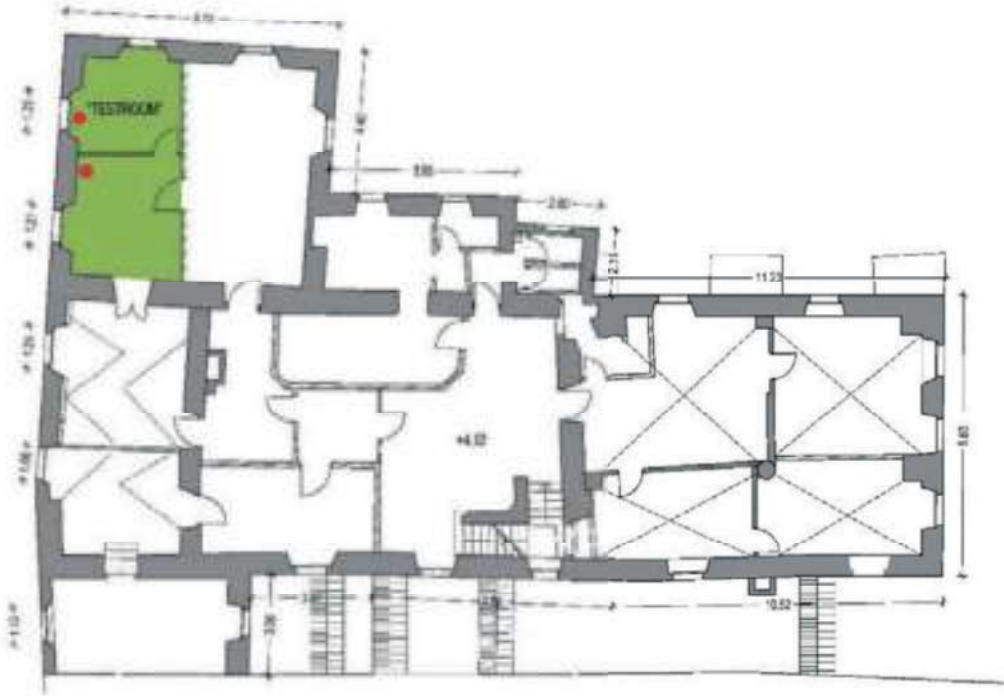
Quelli che vengono riportati di seguito sono i valori relativi al flusso ( $\Phi$ ) e alla conduttività (C) della parete rilevati di volta in volta nei diversi intervalli di tempo scelti. Il primo è a 72h (test generalmente effettuato sulle pareti leggere), il secondo a 5 giorni, poi 7 e infine a 10.

- Intervallo P1 dal 17/03/2016 al 20/03/2016\_72h
- Intervallo P2 dal 17/03/2016 al 22/03/2016\_5 d
- Intervallo P3 dal 17/03/2016 al 24/03/2016\_7 d
- Intervallo P4 dal 17/03/2016 al 27/03/2016\_10 d

Didascalia alle immagini.

16. Numerosi sono i modi in cui una struttura muraria può essere schematizzata a partire dalla sua conformazione reale. Il livello di semplificazione che spesso si raggiunge negli strumenti di simulazione è troppo elevato, ma non è nemmeno facile a che punto fermarsi per rischiare di incorrere in un errore.

17. La conoscenza di un edificio passa attraverso delle fasi conoscitive obbligatorie, senza le quali le ipotesi rimarranno solamente ipotesi. Immagine tratta dal contributo alla conferenza di CAADence in Architecture, 2D-Hygrothermal Simulation of Historical Solid Walls, M.Pascucci, E.Lucchi.



18.



19.



20.

Sappiamo che per gli edifici storici i requisiti minimi di legge vanno in deroga, quindi non avevamo nessun obbligo che ci imponesse di rispettare un valore di  $U$  inferiore o uguale a  $0.30 \text{ W/mqK}$ , ma trattandosi di una sperimentazione scientifica e non di un progetto vero e proprio si è voluto provare a ragionare in termini energetici come si fa per gli edifici non vincolati.

La verifica con il termoflussimetro in questo caso è servita per verificare che le ipotesi fatte in fase di progettazione avessero effettivamente portato ad ottenere i risultati sperati.

La parete A partiva da un valore di Conduttività<sup>17</sup> misurata di  $1.37 \text{ W/mqK}$ . La scelta dell'isolante e del suo spessore sono stati effettuati con la finalità di far raggiungere alla parete un valore di trasmittanza  $U$  pari a quella indicata da normativa per la zona climatica di Bolzano, E.

La scelta di un pannello isolante in PUR di  $8 \text{ cm}$  prevedeva il raggiungimento di una  $U$  pari a  $0.28 \text{ W/mqK}$ .

Per questione di comodità chiameremo la parete libera A e quella sotto finestra B.

Nella Tabella 1 sono riportati i dati relativi la stratigrafia del muro.

STRATIGRAFIA	PARETE A	PARETE B
Intonaco esterno	0.02 m	0.02 m
Blocchi in porfido e malta	0.58 m	0.22 m
Intonaco interno	0.02 m	0.02 m

Nella Tabella 2 i valori di conduttività ( $C$ ), resistenza del muro ( $R_{\text{muro}}$ ), le resistenze superficiali interne ( $R_{\text{si}}$ ) ed esterna ( $R_{\text{se}}$ ), la resistenza totale e la trasmittanza ( $U$ ).

Parete A	SENZA ISOLAMENTO	CON ISOLAMENTO
$C \text{ (W/mqK)}$	1.37	1.37
$R_{\text{muro}} \text{ (mqK/W)}$	0.73	0.73
$R_{\text{se}}$	0.04	0.04
$R_{\text{si}}$	0.13	0.13
$R_{\text{tot}}$	0.90	3.57
$U \text{ (W/mqK)}$	1.11	0.28

A fronte di 10 giorni di misurazione abbiamo rilevato una  $U$  pari a  $0.30 \text{ W/mqK}$ , valore che si discosta da quello di progetto di pochis-

37. La conducibilità termica (o conduttività termica, indicata con  $\lambda$  o  $k$ ) è il rapporto, in condizioni stazionarie, fra il flusso di calore (cioè la quantità di calore trasferita nell'unità di tempo attraverso l'unità di superficie) e il gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore nel caso della conduzione termica (ovvero quando i contributi al trasferimento di calore per convezione e per irraggiamento termico siano trascurabili). In altri termini, la conducibilità termica è una misura dell'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore (vale a dire maggiore è il valore di  $\lambda$  o  $k$ , meno isolante è il materiale). Essa dipende solo dalla natura del materiale, non dalla sua forma.

Didascalia alle immagini.

18. Localizzazione delle due piastre dei termoflussimetri. Pianta piano primo.

19. Posizione dei sensori esterni del termoflussimetro.

20. Posizione delle piastre del termoflussimetro sul paramento interno.

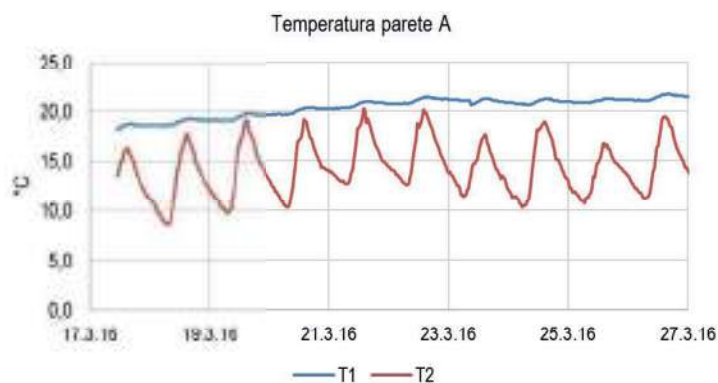
38. Una media progressiva aggiorna continuamente la media di un set di dati in modo da includere tutti i dati presenti nel set fino a quel momento.

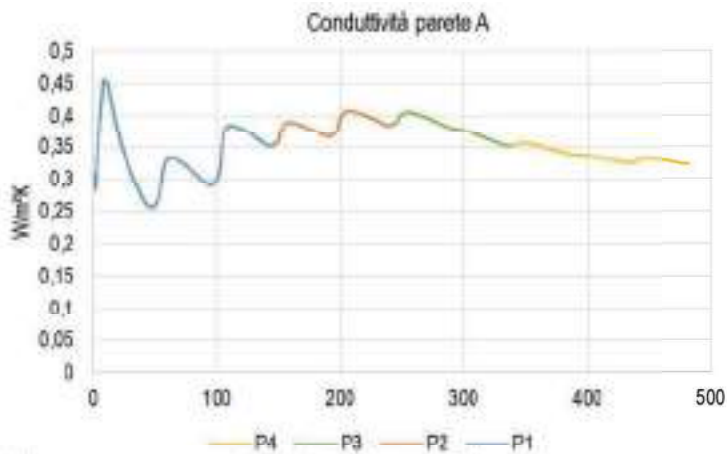
simo e che quindi in linea di massima fa fede alle previsioni. Normalmente si è abituati, talvolta per motivi di tempo e altre volte a causa di una scarsa conoscenza delle strutture e delle proprie caratteristiche, ad attenersi ai limiti imposti da normativa, ovvero 72h.

Parete A	I1	I2	I3	I4
C (W/mqK)	0.35	0.38	0.35	0.32
R <sub>int</sub> (mqK/W)	2.83	2.58	2.84	3.09
R <sub>se</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04
R <sub>si</sub>	0.013	0.013	0.013	0.013
R <sub>tot</sub>	3.00	2.75	3.01	3.26
U (W/mqK)	0.33	0.36	0.33	0.30

Purtroppo, come abbiamo già detto, molti sono i fattori che influenzano la misurazione, senza dimenticare il fatto che gli elevati spessori di una muratura storica e le sue caratteristiche intrinseche non ci permettono di poterla considerare alla stregua di un edificio qualsiasi.

I valori rilevati sono stati puliti, analizzati ed elaborati in excel utilizzando il metodo delle Medie Progressive<sup>38</sup>, mostrano delle effettive differenze tra i vari intervalli di tempo misurati. Il tempo necessario affinché il flusso inizi a stabilizzarsi, supera ampiamente le 72h e non lo vediamo solamente dal valore di U inserito in tabella, ma soprattutto dall'andamento della curva che fino al 7° giorno è altamente instabile.





Nella pagina accanto grafico dell'andamento della temperatura interna ed esterna della parete A misurata con il sensore del termoflussimetro. In questa pagina la curva del flusso di calore della parete A elaborata con il metodo delle medie progressive

Stessa procedura è stata utilizzata per la parete B. Gli intervalli di tempo misurati sono stati i medesimi e anche il risultato è stato lo stesso. La curva inizia a stabilizzarsi intorno al 6° giorno a riprova del fatto che una parete pesante, ancor di più se isolata, necessita di tempi di misurazione più dilatati rispetto ad una parete leggera. Gioca un ruolo fondamentale lo spessore, insieme al materiale di cui la parete è composta. Tra le altre cose sapendo che le murature storiche non sono mai uguali le une alle altre per loro natura, non possiamo aspettarci da queste un comportamento che sia sempre lo stesso e delle tempistiche precise e inequivocabili.

Parete B	SENZA ISOLAMENTO	CON ISOLAMENTO
C (W/mqK)	2.86	2.86
Rmuro (mqK/W)	0.35	0.35
Rse	0.04	0.04
Rsi	0.13	0.13
Rtot	0.52	3.20
U (W/mqK)	1.92	0.31

Parete B	I1	I2	I3	I4
C (W/mqK)	0.39	0.41	0.37	0.35
Rmuro (mqK/W)	2.55	2.43	2.65	2.80
Rse	0.04	0.04	0.04	0.04
Rsi	0.013	0.013	0.013	0.013
Rstot	2.73	2.60	2.82	2.97
U (W/mqK)	0.36	0.38	0.35	0.33

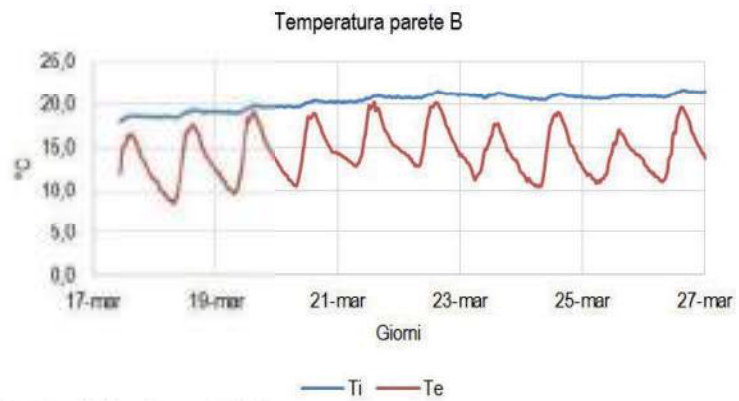
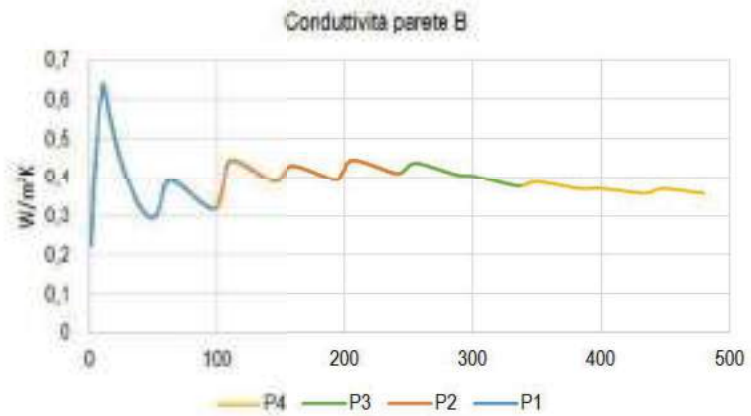


Grafico dell'andamento della temperatura interna ed esterna della parete B misurata con il sensore del termoflussimetro



Curva del flusso di calore della parete B elaborata con il metodo delle medie progressive

## CONTRIBUTO SPERIMENTALE: UTILIZZO DEL SOFTWARE DI SIMULAZIONE

A fronte dei dati ottenuti in fase di monitoraggio post-operam della parete, quattro sono state le semplificazioni geometriche che ho deciso di testare all'interno del programma Delphin 5.8.3.

Sapendo, grazie ai carotaggi, come si componeva la struttura muraria a sacco, la prima ipotesi avanzata è stata quella di ricostruire i due paramenti in pietra ed ipotizzare un nucleo composto della stessa malta dei giunti e di pietre ed elementi più piccoli. La semplificazione è sicuramente molto azzardata e le pietre sono state dimensionate seguendo le indicazioni raccolte tramite dati di letteratura ed indagini termografiche, ma un livello più dettagliato di questo il software non è in grado di leggerlo e soprattutto nessuna delle ipotesi che noi potremo mai fare rispecchierà la realtà a meno di scomporre materialmente il muro per studiarne ogni singolo elemento; ipotesi a dir poco impensabile.

Rimane comunque l'unico modo per poter rappresentare tutti i materiali in modo proporzionato.

Quindi nelle quattro proposte avanzate vi è una prima (1A) in cui sono rappresentati tutti i materiali differenziandoli tra loro sia materialmente che geometricamente; nella seconda (1B) il nucleo viene considerato con un unico materiale dato dall'insieme dei possibili materiali al suo interno, questo perché non sappiamo con cosa di preciso la muratura è stata riempita; per il terzo esempio (1C) si è scelto di dividere la muratura in 3 porzioni e semplificare il discorso dicendo che vi sono due paramenti in pietra e un riempimento, che sarà lo stesso della seconda ipotesi; nell'ultima ipotesi la struttura viene semplificata al massimo, come spesso accade quando si usano questi programmi ed è considerata come un unico blocco in pietra, partendo dal presupposto che è l'elemento che compone la parete con la percentuale più alta.

Nella tabella di seguito vengono riportati i valori relativi ai materiali selezionati per la simulazione nel programma. Ovviamente all'interno del database dei materiali non avremmo mai trovato l'esatto materiale di cui avevamo bisogno, quindi la scelta è stata effettuata sulla base di alcune caratteristiche che ci erano note: trasmittanza ( $\lambda$ ), calore specifico ( $c$ ) e densità ( $\rho$ ). Quindi nel momento in cui ci trovavamo di fronte a più graniti o più malte dello stesso tipo, la

conoscenza di queste caratteristiche è stata fondamentale per prendere una decisione corretta.

Livelli	Materiali	$\lambda$ W/mK	$c$ J/kgK	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	1A	1B	1C	1D
Finitura	Intonaco di calce	0,82	850	1800	X	X	X	X
Blocchi in pietra	Granito	1,72	702	2452	X	X	X	X
	Malta di calce	0,58	488	1567	X	X	-	-
Nucleo	Pietra calcarea	0,95	264	1966	X	-	-	-
	Malta di calce	0,58	488	1567	X	-	-	-
Materiali di riempimento	Pietra calcarea	0,58	488	1567	-	X	X	-

Didascalie alle immagini.

21. Scelte di semplificazione geometrica con cui si è scelto di testare il software. Immagine tratta dal contributo alla conferenza di CAADence in Architecture, 2D-Hygrothermal Simulation of Historical Solid Walls, M.Pascucci, E.Lucchi.

22. Comparazione dei flussi di calore simulati in Delphin 5.8.3. Immagine tratta dal contributo alla conferenza di CAADence in Architecture, 2D-Hygrothermal Simulation of Historical Solid Walls, M.Pascucci, E.Lucchi.

23. L'immagine mostra i diversi risultati ottenuti in sede di simulazione. La variazione di temperatura interna alla sezione calcolata nel corso dell'anno è nettamente differente per i due esempi scelti. Nel primo caso viene generato un grafico per ogni singolo giorno, nel secondo caso un solo grafico per tutto l'anno. Immagine tratta dal contributo alla conferenza di CAADence in Architecture, 2D-Hygrothermal Simulation of Historical Solid Walls, M.Pascucci, E.Lucchi.

In questo caso l'aver a disposizione dei dati di laboratorio derivati dalle indagini svolte in fase di ricerca è stato un grande aiuto, che non sempre però è disponibile. Nel caso in cui non fosse possibile svolgere delle prove invasive sulla sezione muraria per motivi legati alla tutela e alla conservazione del bene architettonico, è possibile optare per i valori tabellati secondo la normativa UNI EN 1745:2012 "Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche".

Sebbene la norma non contenga una grande varietà di materiali e i valori siano spesso molto generici, è uno dei pochi strumenti che abbiamo a disposizione come alternativa. Utilizzare infatti le schede tecniche di prodotti simili, ma prodotti oggi non sarebbe opportuno perché le caratteristiche materiche e fisiche di un elemento a noi contemporaneo non possono essere confrontate con quelle di uno storico, che tra le altre cose ha anche subito un processo di invecchiamento.

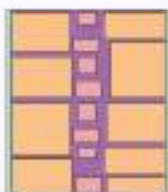
L'analisi dei dati numerici estrapolati dalla simulazione ha permesso di ricostruire e sovrapporre le curve del flusso di calore. Al di là del dato numerico, anche visivamente è possibile differenziare tra la sezione più semplice (1D) e quella in cui si è cercato di mantenere un certo grado di complessità (1A).

Dire che la parete 1A è quella che ha dato il risultato di molto più

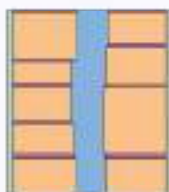
GRAPHIC SIMPLIFICATION



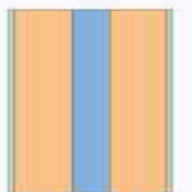
STATE OF THE ART



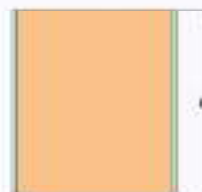
1



2



3



4

DELPHIN LAYOUTS

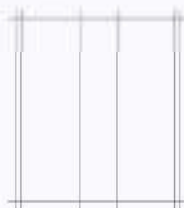
- PLASTER
- STONE
- MORTAR
- SMALL STONES
- FILLING MATERIAL



Rows 20  
Columns 34



Rows 15  
Columns 9

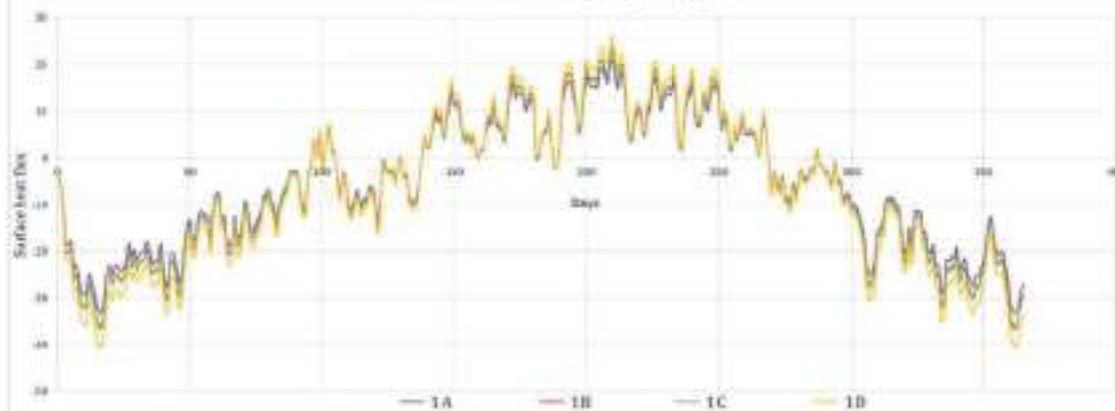


Rows 3  
Columns 5

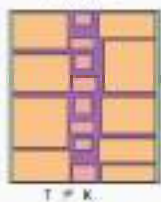


Rows 3  
Columns 3

Surface heat flux (daily average)



MODELS



$T \neq K$

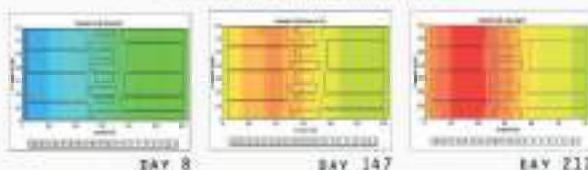


REDUCE THE MODELS DIMENSIONS

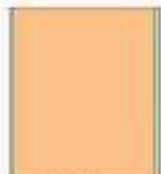


THE CHARACTERISTICS ARE NOT THE SAME IN EACH PART

VARIATION OF THE TEMPERATURE



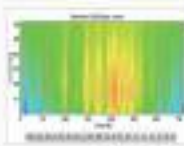
TEMPERATURE °C



$T = K$



THE CHARACTERISTICS ARE THE SAME IN EACH PART



ONE YEAR

T-TEMPERATURE  
K-CONSTANT

THE IR THERMOGRAPHY EXPLAIN HOW THE WALL CAN NOT BE CONSIDERED HOMOGENEOUS



vicino al dato reale può sembrare una conclusione semplicistica e alquanto banale eppure nessuno si è mai posto il problema di quanto effettivamente la malta fosse un elemento determinante in una struttura muraria. Ci sono sicuramente strutture murarie in cui in l'inserimento o meno dei sottili giunti non fa la differenza sull'esito atteso, ma ci sono casi, come quello della muratura a sacco in cui non è possibile non porsi il problema e ragionare in maniera semplicistica e generalizzata.

Diversamente le sezioni 1C e 1D, che tra loro erano molto simili a meno dei giunti di malta, hanno dato dei risultati praticamente uguali e sovrapponibili: lo scarto era talmente poco che ne possiamo concludere che nel calcolo del semplice flusso di calore i giunti malta non hanno fatto la differenza, come invece il contenuto del nucleo della sezione muraria.

#### CONCLUSIONI

La sperimentazione portata avanti in questa sede non è stato solamente un modo utile per capire come utilizzare un software di calcolo, ma ci ha posto per l'ennesima volta di fronte la necessità di considerare gli edifici storici come un unicum da qualsiasi punto di vista.

Quello che è risultato determinante nel raggiungimento di un esito positivo è stata sicuramente l'analisi approfondita che era stata fatta a monte di tutto il lavoro.

Non possiamo concludere dicendo che questo è l'unico metodo giusto per approcciarsi al problema della trasposizione dei programmi di calcolo dinamico nel progetto delle strutture esistenti, ma possiamo dire che dare per scontato che un indirizzo sia sempre quello giusto è un approccio errato alla questione.

Con questo caso studio abbiamo voluto dimostrare che ci sono volte in cui è necessario lavorare di più e porsi quesiti più approfonditi prima di trarre delle conclusioni che abbiano delle ricadute in termini progettuali. Si è troppo spesso abituati a ragionare per esempi consolidati o azioni che hanno dato un buon risultato, ma la non standardizzazione di una struttura storica non ci permette di ragionare così.

Prendendo in considerazione il solo flusso di calore come elemento di confronto ne abbiamo dedotto che una muratura a sacco non potrà mai essere considerata come un unico elemento, ma che i giunti di malta tra gli elementi lapidei sono trascurabili ai fini del calcolo del flusso di calore. Sicuramente non avremmo potuto affermare lo

stesso nel caso in cui ad essere misurato fosse stato il valore dell'umidità o la quantità di acqua assorbita dalla struttura, perché sappiamo che quello è considerato il punto debole della struttura.

Motivo per cui ne deriva che in realtà quello che apparentemente possa risultare irrilevante per un motivo, non lo è per un altro e diviene fondamentale nel progetto di riqualificazione energetica degli edifici storici, che va ad operare in un sistema complesso e stratificato alterandone gli equilibri.

Non si vuole in questa sede proporre un approccio decisivo al problema, ma si vuole aprire una riflessione sul fondamentale ruolo svolto da tutti i singoli elementi che costituiscono gli involucri degli edifici storici e su come una medesima tecnica costruttiva possa essere declinata in tanti modi differenti al punto da avere di fronte strutture con nulla in comune e per questo non approcciabili allo stesso modo.



## 6.2 Caso di studio, progetto, realizzazione e monitoraggio della riqualificazione energetica di un edificio ottocentesco (EURAC). Villa sul Lago di Como

Il secondo caso studio è un Villa privata sul Lago di Como in cui sono stati eseguiti degli interventi di restauro, consolidamento strutturale e riqualificazione energetica.

Il lavoro svolto è coinciso con i cinque mesi passati a Bolzano presso l'Istituto per le energie rinnovabili dell'Eurac Research, il quale in fase di progettazione, come ente di ricerca, si era occupato del monitoraggio e del controllo degli interventi previsti dallo studio Solarraum.

L'attività, portata avanti insieme alla tirocinante Madalena Tabak, ha riguardato la messa a punto di un sistema costituito da una serie di sensori differenti che, posti in vari punti della casa, monitorassero le condizioni di comfort indoor a lavori ultimati. Anche in questo caso ci troviamo di fronte un edificio storico che per necessità conservative delle facciate esterne ha dovuto optare per un intervento di isolamento dall'interno, unito ad una serie di sistemi attivi ad alta efficienza energetica.

A differenza del primo edificio analizzato in questo non ci troviamo di fronte ad una semplice sperimentazione di un sistema in una zona circoscritta, bensì si è dovuto calibrare attentamente il progetto sull'intero edificio al fine di renderlo abitabile. La struttura essendo stata sottoposta negli anni ad una serie di interventi di ampliamento e ristrutturazione, è costituita da una serie di murature diverse appartenenti ad epoche differenti e di conseguenza con caratteristiche energetiche e strutturali non uguali. La riqualificazione energetica è avvenuta secondo il protocollo CasaClima R<sup>39</sup> ed ha ottenuto il riconoscimento ai CasaClima Awards 2016.

### OGGETTO DI STUDIO

Villa C. è un edificio Ottocentesco ubicato sul Lago di Como, appartenuto alla stessa famiglia per circa centoquaranta anni, sottoposto ad un intervento radicale di risanamento conservativo ed efficientamento energetico. L'idea progettuale nasce dalla volontà dei committenti di rendere l'edificio abitabile e confortevole come un



Didascalie alle immagini.  
Feribus sin non repereicat.  
Occus, optatur? Odionsequam  
exerum, voluptate cuptatus.

<sup>39</sup> Con il nuovo protocollo CasaClima R l'Agenzia CasaClima intende promuovere la qualità nel risanamento energetico degli edifici esistenti.

40. D.Lgs. 42/2004 e s.m.i. art. 142 "Aree tutelate per legge" c.1 let. b) i territori contermini ai laghi compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia, anche per i territori elevati sui laghi.



Foto di lavorazione.  
Foto tratte da <http://www.solarraum.it/consulting/energia/progetto-energia/villa-c-bellano-le-p132-46.html>

qualsiasi edificio moderno, andando a coniugare sistemi energetici passivi, attivi e risorse rinnovabili.

L'edificio sorge sulla sponda orientale del Lago di Como, appena fuori il centro storico di Bellano. La sua presenza, nella forma attuale, è rilevabile a partire dalle mappe del catasto Lombardo-Veneto redatte durante il dominio austriaco tra il 1840 e il 1855. Nasce come villa gentilizia, accorpando alla preesistente stalla un nuovo corpo di fabbrica, connesso tramite un porticato di cui sono state rilevate le tracce durante l'esecuzione dei lavori. Nel corso degli anni conta una serie di interventi di ampliamento, sopralzo e rinnovamento, fino all'ultimo grande intervento del 1939, epoca in cui la famiglia dovette abitare la villa per alcuni anni in maniera permanente in quanto sfollati della città di Como.

#### PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Al fine di ottenere una riorganizzazione degli spazi che non stravolgesse la destinazione d'uso degli ambienti esistenti, le modifiche hanno riguardato principalmente il miglioramento degli spazi distributivi in modo tale da rendere organico un edificio che nasce dall'insieme di una serie di ampliamenti non seguendo una precisa logica progettuale.

L'evoluzione storica delle varie parti dell'edificio è risultata ben evidente durante le prime opere di demolizione che hanno svelato, sotto ai controsoffitti incannucciati, strutture ed elementi costruttivi assai differenti tra loro. Le porzioni più antiche sono costituite da murature perimetrali ed interne portanti dello spessore variabile tra 42 e 62 cm in pietra locale squadrata. Per gli innalzamenti sono invece stati utilizzati mattoni pieni e in alcuni casi forati. Ne deriva che anche i solai presentano caratteristiche architettoniche molto diverse tra loro. A quelli ottocenteschi composti da travi lignee si uniscono strutture orizzontali in acciaio e soletta in cemento armato risalenti al periodo prossimo alla seconda guerra mondiale.

Trattandosi di un edificio di una certa valenza storica e posto in prossimità di un lago<sup>40</sup> risulta vincolato dal punto di vista ambientale e pertanto non può subire alcuna variazione delle porzioni esterne. Mentre da piano urbanistico vi erano dei vincoli al mantenimento delle strutture interne di pregio. Vi erano quindi dei vincoli ben precisi di partenza che andavano rispettati in fase progettuale e per i quali si è deciso di optare per un isolamento interno. Le facciate, ben conservate, presentano una serie di elementi decorativi tipici

dell'epoca di costruzione che sarebbero venuti meno, cambiando completamente la fisionomia esterna dell'edificio, se si fosse scelto un classico cappotto.

Questa scelta ha permesso di mantenere inalterato l'aspetto esterno senza dover rinunciare al risanamento energetico. La consapevolezza delle difficoltà di un intervento del genere e dell'impossibilità, a priori, di poter eliminare tutti i ponti termici, ha portato i progettisti ad effettuare delle scelte di volta in volta diverse a seconda della differente struttura muraria con cui si aveva a che fare. Scegliere un unico intervento generalizzato per tutta la struttura, sarebbe stato sicuramente più economico sia in termini di tempo che di denaro, ma non corretto dal punto di vista dall'approccio metodico.

Prima di intervenire dal punto di vista energetico è stato necessario portare avanti delle opere di consolidamento<sup>41</sup> delle murature. Fondamentale è in questi casi assicurarsi dello stato di conservazione delle strutture preesistenti al fine di evitare l'insorgere di altre problematiche *ex post*. A tale proposito è stato sostanziale occuparsi *in primis* dell'umidità di risalita. La vicinanza al lago e il terreno di appoggio scarsamente coerente hanno reso necessario un preliminare taglio con una barriera chimica<sup>42</sup> iniettando una microemulsione di siliconi concentrati, effettuato un anno prima dell'inizio effettivo dei lavori. Si è poi abbassata la quota esistente all'interno dell'edificio per poter inserire anche una guaina bituminosa come ulteriore misura nei confronti dell'umidità proveniente dal terreno e lo stesso pavimento non poggia direttamente sulla platea armata ma su uno strato di ghiaia di diverse pezzature che permette la traspirazione del terreno.

Solo la risoluzione dei problemi preesistenti ha permesso di procedere con il progetto di efficientamento energetico. In partenza l'edificio contava una superficie utile di 680 mq e un volume lordo riscaldabile di 2600 mc<sup>43</sup>.

L'inserimento della coibentazione interna, visto anche il notevole spessore ritenuto necessario in fase di progettazione, ha diminuito la metratura a disposizione e in parte modificato il profilo del perimetro.

Per gli isolanti in pannelli lo spessore è di 20 cm, mentre per l'aerogel, il cui uso è stato limitato ai pilastri in cemento armato, lo spessore è stato ridotto a 8 cm. Le pareti sono state ricoperte di perlite, mentre per il pavimento la scelta è ricaduta sulla vermiculite e l'XPS. Questo tipo di scelta ha reso necessario anche il cambio di porte ed infissi, che sono stati sostituiti con serramenti ad alta

<sup>41</sup> In particolare si è deciso di intervenire con una serie di consolidamenti statici che supportano le strutture esistenti senza demolirle. In alcuni casi, anzi, si è provveduto a creare delle strutture di soccorso che intervengono staticamente solo nel caso in cui si verificassero cedimenti dei solai.

<sup>42</sup> La barriera chimica va a creare nel muro uno strato impermeabile grazie al quale si interrompe drasticamente il fenomeno di risalita capillare dell'umidità.

<sup>43</sup> Il rapporto S/V, pari a 0,49 1/m, è da considerarsi medio per un edificio di tale volumetria. Per i calcoli energetici è stato utilizzato il software dell'Agenzia CasaClima di Bolzano (ProCasaClima). I risultati hanno indicato un fabbisogno per riscaldamento per lo stato esistente in sito di circa 230 kWh/m<sup>2</sup>a. Inoltre, è emerso che, con una potenza specifica di riscaldamento di oltre 110 W/m<sup>2</sup>a, le perdite per trasmissione ammontano a 126.000 kWh/a su un fabbisogno di riscaldamento annuale pari a 129.000 kWh. È quindi su questo fronte che si doveva intervenire per ridurre in modo sostanziale il fabbisogno di energia.



un particolare della fase di restauro delle decorazioni della facciata. Foto tratte da <http://www.solarraum.it/consulting/energia/progetto-energia/villa-c-bellano-le-p132-46.html>

efficienza con triplo vetro, realizzati però artigianalmente in modo tale da riprendere stilisticamente le linee di quelli che vi erano in precedenza.

Come detto in precedenza, il problema che principalmente si pone quando si sceglie di optare per un tipo di isolamento dall'interno è quello dei ponti termici. Eliminarli tutti è ancora impossibile, quindi anche in questo caso ci sono delle criticità che sono rimaste nonostante il notevole salto di qualità che si è operato dal punto di vista del comfort. I motivi della persistenza di queste zone in cui la densità del flusso termico è maggiore sono principalmente di natura strutturale.

A livello spaziale l'ambiente interno ha subito un ridimensionamento notevole della superficie passando da 680 mq a 550 mq, ma è anche vero che è stato sottratto poca superficie per stanza e che su una superficie così ampia l'utente ne risente sicuramente meno. Inoltre è stata richiesta specifica dei proprietari quella di non soffermarsi sullo spessore dell'isolante, bensì pensare l'intervento solo in funzione del comfort e della salubrità degli ambienti.

L'adozione di un sistema di isolamento interno ha portato un notevole miglioramento della vivibilità degli ambienti: anni prima infatti la famiglia aveva provato a trasferirsi in questa casa e abitarla così come era stata eredità, purtroppo però le condizioni climatiche interne nei mesi freddi non erano sostenibili e la dispersione di calore era talmente elevata che la spesa del riscaldamento non corrispondeva con un effettivo miglioramento del microclima.

#### CONTRIBUTO SPERIMENTALE: CAMPAGNA TERMOGRAFICA

Al fine di comprendere a pieno il funzionamento termico dell'edificio sono state fatte dei rilevamenti termografici, secondo quanto indicato dalla normativa di riferimento. La termografia, oltre ad indicarci eventuali dispersioni termiche, mette in luce anche il diverso funzionamento dei materiali e ci permette di visualizzare come essi sono disposti all'interno della parete. Questo, insieme ai dati di progetto che avevamo a disposizione, ha permesso di stabilire dove fosse più utile andare a collocare i sistemi di monitoraggio.

Didascalie alle immagini.

14. Vista aerea dell'edificio prima dei lavori.

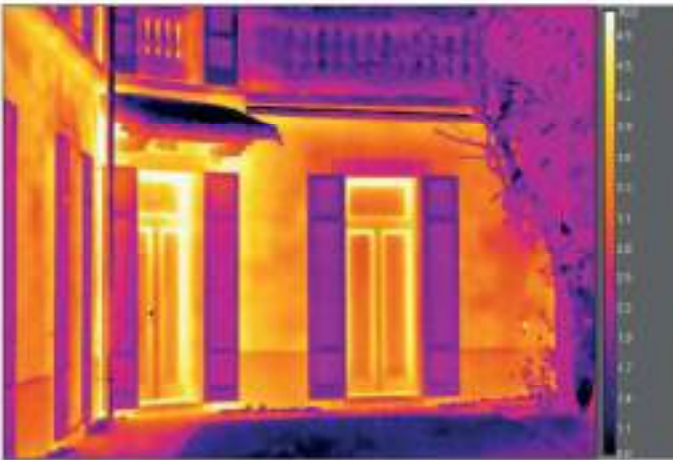
<http://www.solarraum.it/consulting/energia/progetto-energia/villa-c-bellano-le-p132-46.html>

15. Termografia prospetto laterale destro

16. Termografia prospetto laterale sinistro



24.



25.



26.



Foto del posizionamento del sensore a parete.



Foto del posizionamento del sensore yo yo.

Didascalie alle immagini.

27. Schema posizionamento sensori piano terra.

28. Schema posizionamento sensori piano primo.

## CONTRIBUTO SPERIMENTALE: MONITORAGGIO MICROCLIMATICO E TERMOIGROMETRICO

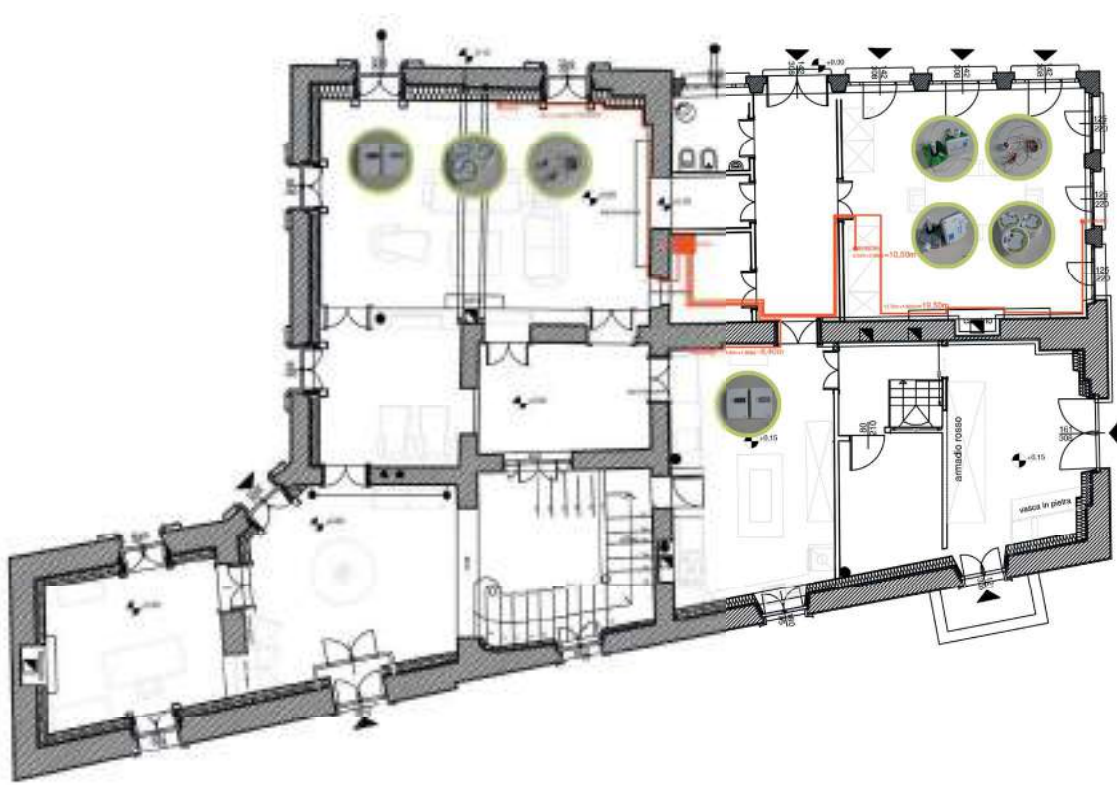
Il monitoraggio integrato delle prestazioni energetiche e ambientali è uno strumento fondamentale per conoscere il comportamento dell'immobile, al fine di valutare il comfort degli utenti, il consumo energetico, il potenziale degrado materico e la correttezza delle prassi gestionali.

Insieme ad EURAC è stato definito un concept di monitoraggio continuo pensando alle specificità dell'edificio storico, con l'intento di valutare il comportamento dell'immobile un anno dopo il termine dei lavori di risanamento e riqualificazione energetica.

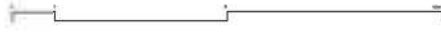
Il sistema ha previsto l'installazione di un sistema di sensori che, programmati e collegati ad un pc, fossero in grado di rilevare le condizioni microclimatiche interne al fine di valutare l'andamento della temperatura interna ed esterna, dell'umidità relativa degli ambienti, dell'illuminazione e della concentrazione di anidride carbonica. In questo modo è possibile anche capire in che modo si comporta il nuovo involucro edilizio e come il suo cambiamento si riflette sugli spazi interni. Questi dati costituiscono il "corredo diagnostico" essenziale per un corretto efficientamento energetico di edifici storici, poiché influenzano direttamente la conservazione materica e le condizioni di benessere dell'utenza. Ci permettono inoltre di misurare le qualità specifiche degli edifici e delle condizioni di contesto di un ambito ristretto, nell'ottica di valutare l'efficacia dell'intervento ex ante ed ex post e la sua effettiva replicabilità.

I sensori sono stati collocati solo in alcune stanze, con la supervisione dei proprietari e in modo tale che fossero il meno visibili possibile e permettessero il normale svolgimento delle attività giornaliere. Sia al piano terra che al piano primo sono state misurate temperatura interna ed esterna, umidità relativa e concentrazione di anidride carbonica. Le stanze scelte sono state quelle in cui si concentrava maggiormente la vita della famiglia: cucina, sala da pranzo, salone, camera matrimoniale e cameretta di una delle due figlie. Nel caso della cucina si è deciso di monitorare solamente l'umidità relativa, mentre nella sala da pranzo è stato aggiunto un quarto sensore in grado di rilevare la quantità di luce naturale presente nell'ambiente durante il giorno.

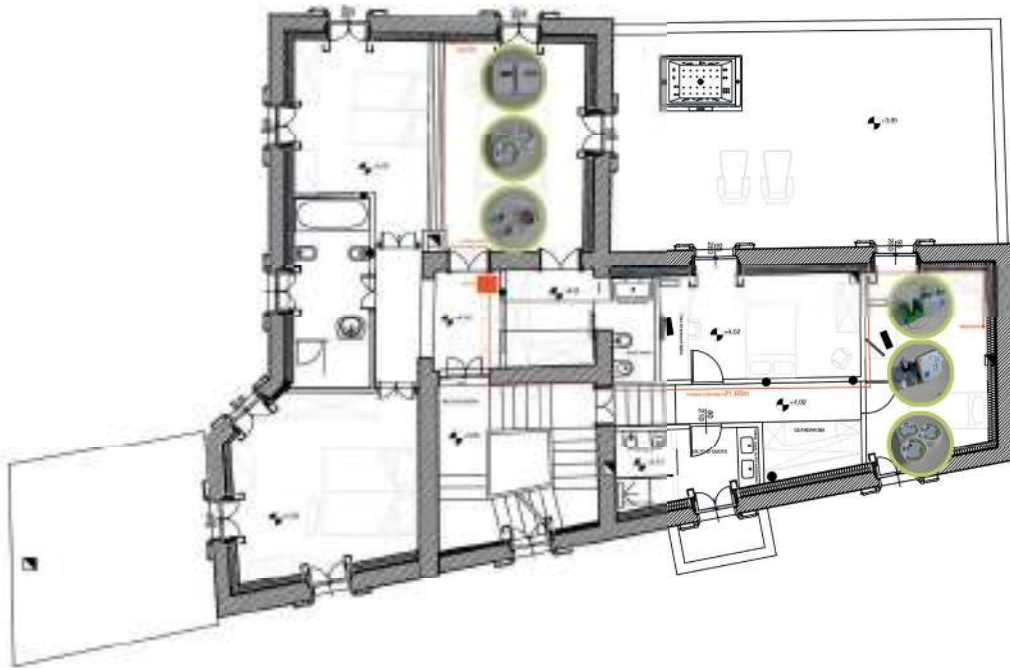
Il collocamento esatto dei vari sensori è riportato nelle piante dei due piani.



PIANO TERRA



27.



PIANO PRIMO



28.

## CONTRIBUTO SPERIMENTALE: ANALISI DEI RISULTATI

I grafici di seguito riportati mostrano valori di Temperatura dell'aria ( $^{\circ}\text{C}$ ), Umidità Relativa (%) e  $\text{CO}_2$  (ppm) rilevati nell'arco di tre mesi a cavallo tra la primavera e l'estate, con un intervallo di registrazione di 1 ora tra un dato e un altro.

Sull'asse delle ordinate del grafico cartesiano vengo fissati di volta in volta i valori relativi al parametro fisico misurato e sull'asse delle ascisse invece vi sono segnati gli intervalli di acquisizione del dato. Il primo elemento analizzato è la temperatura dell'aria (T). Nel grafico vengono messe a confronto la temperatura esterna ( $T_e$ ) con quella rilevata in cucina ( $T_{\text{cucina}}$ ), salone ( $T_{\text{salone}}$ ), sala da pranzo ( $T_{\text{pranzo}}$ ) e camera da letto ( $T_{\text{camera}}$ ).

Appare subito evidente come l'andamento delle temperature misurate all'interno degli ambienti si mantenga abbastanza stabile nonostante all'esterno si rilevano delle notevoli oscillazioni. Mentre nelle stanze al piano terreno (salone, cucina, sala da pranzo) ci si aggira tra i  $23$  e i  $25$   $^{\circ}\text{C}$ , nella stanza da letto al piano primo registra dei valori leggermente più alti tra i  $25$  e i  $27$   $^{\circ}\text{C}$ . Considerato il periodo (fine primavera inizio estate) in cui sono state effettuate le misurazioni i valori registrati sono piuttosto stabili se comparati con le oscillazioni esterne che vedono una notevole escursione termica tra le ore di sole e quelle di buio: da  $33$  a  $15$   $^{\circ}\text{C}$ .

Dal punto di vista del comfort termico lo strato isolante svolge quindi bene la sua funzione.

Un confronto con i proprietari, di cui uno è l'architetto che ha curato il progetto dal punto di vista della riconfigurazione degli spazi e del mantenimento dei caratteri identitari dell'edificio per non snaturare un luogo che si tramandava alla famiglia da generazioni, abbiamo potuto constatare che anche durante la stagione invernale la temperatura interna degli ambienti si è mantenuta stabile intorno ai  $20$   $^{\circ}\text{C}$ , garantendo un buon livello di comfort e la possibilità di non fare ricorso a sistemi attivi per il riscaldamento. Questo ci conferma che una buona progettazione, calata sul singolo caso e attenta ai bisogni degli utenti può garantire l'utilizzo di un edificio sfruttandone e potenziandone le sole caratteristiche passive.

Come la temperatura anche l'umidità relativa esterna ( $U_e$ ) è stata confrontata con quella del salone ( $U_{\text{salone}}$ ), cucina ( $U_{\text{cucina}}$ ), sala da pranzo ( $U_{\text{pranzo}}$ ) e camera da letto ( $U_{\text{camera}}$ ).

Rispetto all'andamento altalenante dell'esterno, non vi è un'eccessiva concentrazione di umidità relativa all'interno dell'abitazione.

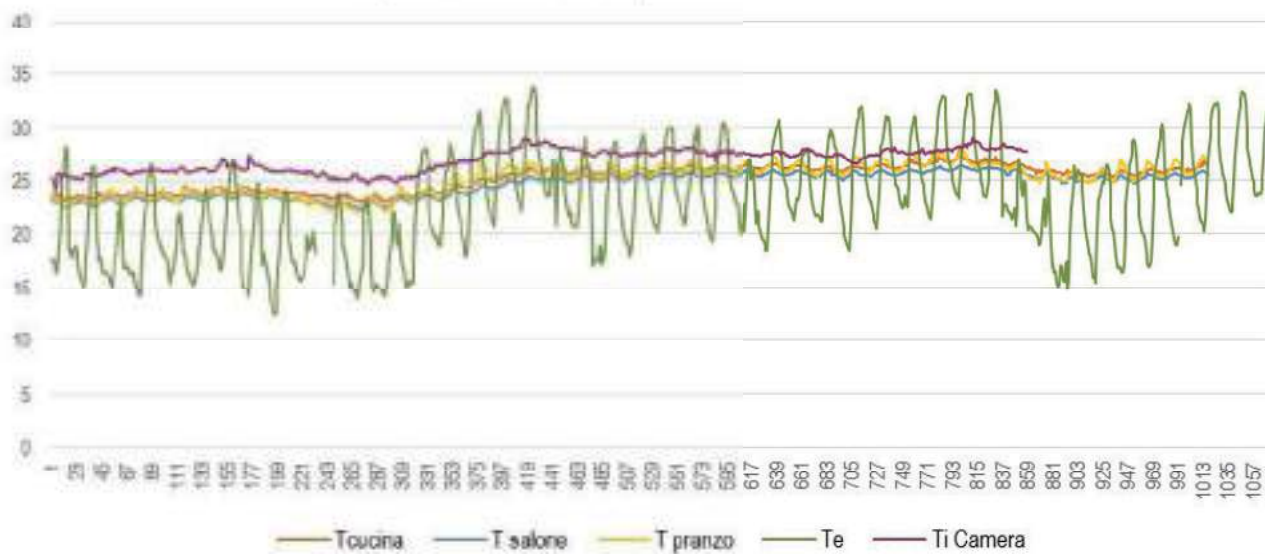
Le curve risultate dall'analisi dei dati sono praticamente sovrapponibili, ad eccezione della camera dal letto che pur presentando lo stesso andamento ha dei valori inferiori rispetto al piano terra. C'è da precisare che il clima con cui l'edificio si confronta è molto umido e la vicinanza, nonché l'esposizione del fronte principale, al lago, non sono di aiuto. Durante la fase delle indagini conoscitive pre-progettuali si erano riscontrati al piano terreno notevoli problemi legati all'umidità accumulata dalle strutture, in parte proveniente dal terreno e in parte dovuta ai fattori ambientali. Quindi il riuscire ad avere una situazione sotto controllo, senza prolungati periodi di accumulo è un elemento fondamentale per evitare la formazione di eventuale condensa.

La scelta di misurare il quantitativo di anidride carbonica dell'aria è derivata dalla volontà di capire se la scelta di una ventilazione forzata, a discapito dell'aerazione naturale degli ambienti, possa essere andata a discapito della vivibilità.

Il grafico non riporta grandi variazioni o picchi di accumulo eccessivo. Come si poteva immaginare, la sala da pranzo, stanza usata con meno frequenza, è quella in cui il livello di CO<sub>2</sub> è leggermente inferiore.

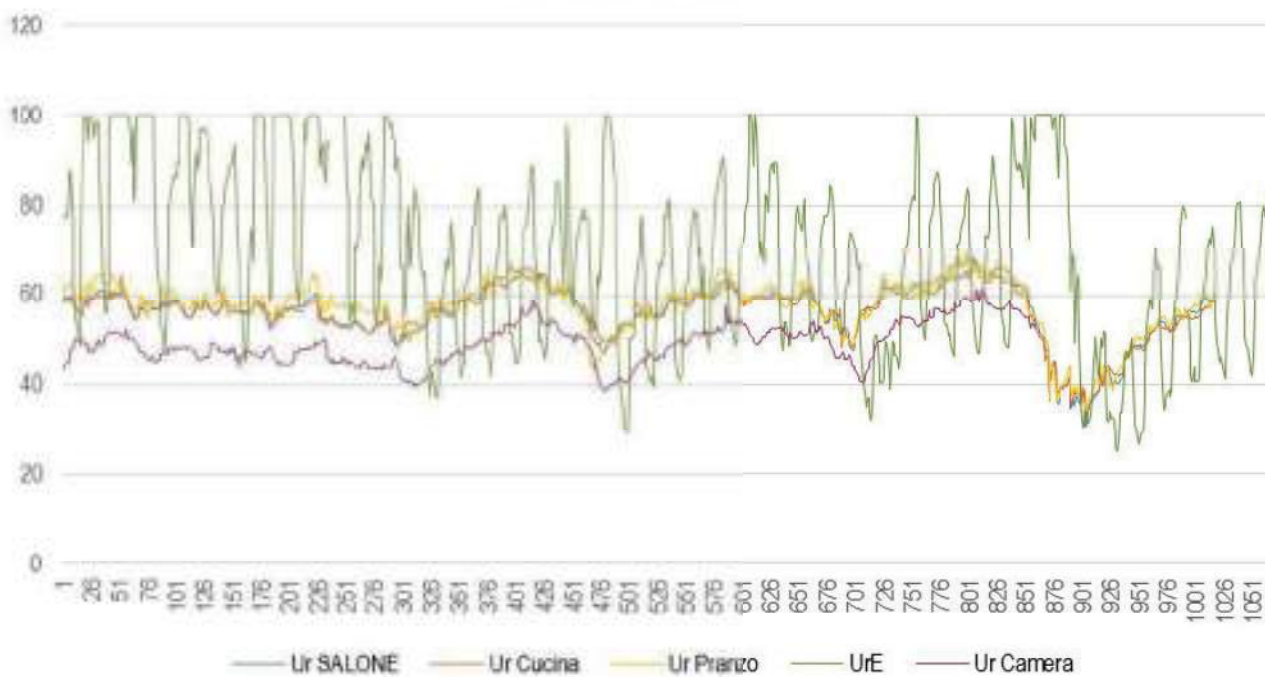
Possiamo quindi concludere, a fronte dei dati che abbiamo potuto raccogliere, che l'intervento ha permesso di raggiungere dei livelli di comfort pari a quelli di un edificio di nuova costruzione, senza aver snaturato la struttura e il suo aspetto esteriore.

Temperature interne e Temperatura Esterna a confronto

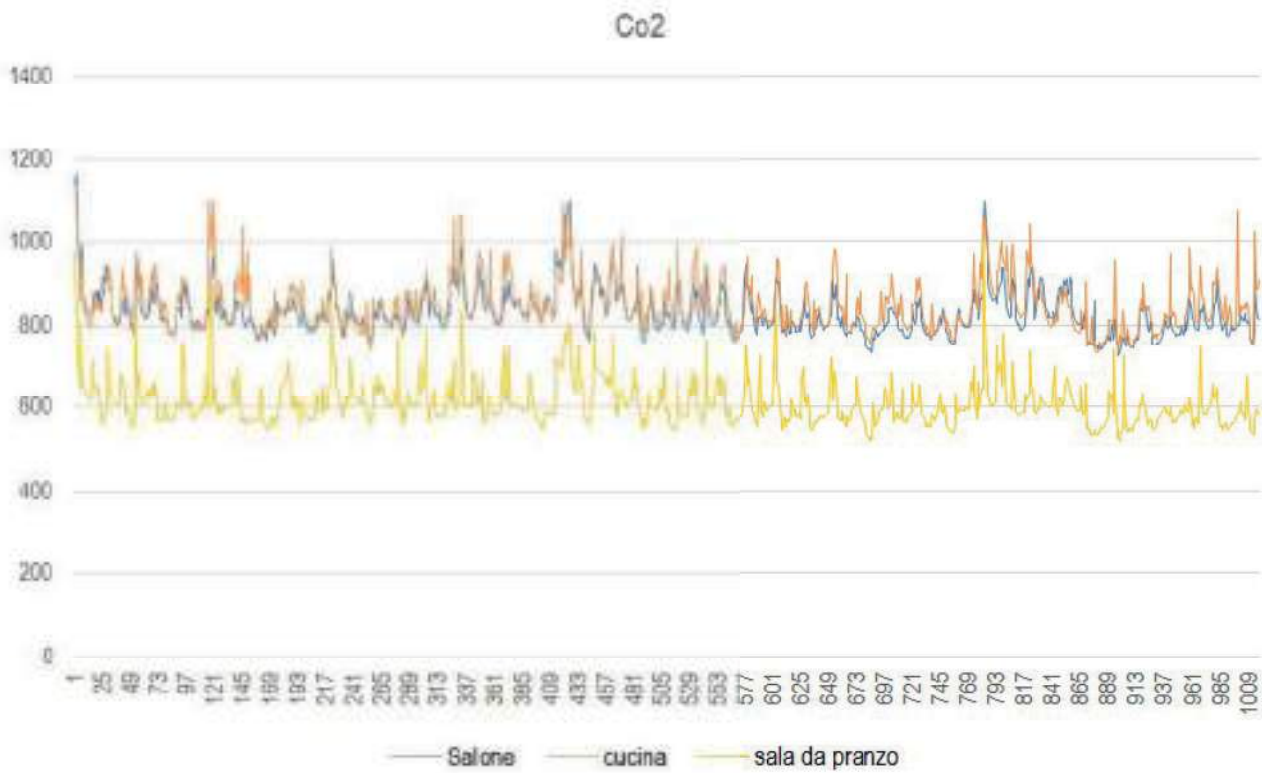


29.

Umidità Relativa a confronto



30.



31.

**Didascalie alle immagini.**

29. Grafico della temperatura esterna ed interna a confronto

30. Grafico dell'umidità relativa esterna e dei vari ambienti a confronto

31. Grafico del quantitativo di CO<sub>2</sub> presente negli ambienti monitorati.



## 6.3 Caso di simulazione progettuale per il miglioramento energetico di un comparto edilizio (CNR). Casa Gioioso, Frigento (Avellino)

Il territorio di Frigento è costituito da un paesaggio collinare situato in territorio irpino, che si inserisce nell'ambito del bacino idrografico del Volturno e precisamente nel sottobacino del fiume Ufita. Tra le aree più interne dell'Appennino Campano, il Comune di Frigento è fondamentalmente un centro agricolo. Negli ultimi anni, a fronte dello spopolamento comune a molte altre delle aree agricole interne dell'Appennino Meridionale, si è registrata un considerevole diminuzione della superficie agricola, a cui si è accompagnata una diffusa urbanizzazione del territorio comunale.

Oggi, l'abitato si estende tra il centro storico di Frigento -di cui resta leggibile l'impianto urbanistico originario di impostazione "ippodamea", definito dall'asse principale di Via Roma-Via San Giovanni - il percorso panoramico di Via dei Limiti e la strada statale SS 303.

Casa Gioioso è un edificio a schiera del centro storico della città di Frigento. Il lavoro svolto su questo caso studio ricade all'interno del progetto Metrics.

Metrics è un progetto di ricerca per lo sviluppo di metodologie e tecnologie innovative per favorire la sostenibilità e la sicurezza nei centri storici delle città. L'oggetto di studio è limitato all'area oggetto del Piano di Recupero del comune di Frigento, classificata dal vigente PUC come: "Zona A - Conservazione del Centro Storico - (art.2 D.l.1444/68), con superficie territoriale di circa 99.400 m<sup>2</sup>). Le Soprintendenze competenti hanno individuato dei vincoli che sanciscono il valore storico-archeologico, ambientale, artistico ed etnografico del tessuto urbano in analisi."

Le attività di ricerca sono articolate in obiettivi realizzati nell'ambito di tre macro ambiti tematici:

- Sicurezza
- Sostenibilità ambientale
- Qualità della vita

Le tematiche sono affrontate, sia al livello di singolo edificio di pregio che al livello territoriale in termini di aggregati edilizi e delle reti



Casa Gioioso, prospetto rivolto ad ovest.

44. <http://www.progetto-metrics.it/>

fisiche e sociali, sviluppando soluzioni che, gestendo la complessità dei sistemi urbani nei centri storici, consentano di incrementare la sicurezza strutturale di edifici ed infrastrutture e migliorare la qualità della vita della popolazione, operando secondo i principi della sostenibilità ambientale e sociale<sup>44</sup>.

Le attività che hanno riguardato questo caso studio, sono state delle analisi finalizzate ad elaborare delle proposte progettuali di riqualificazione energetica per gli edifici di edilizia minore del centro storico.

Il caso di Frigento è molto particolare, infatti il centro, colpito dal terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980, è stato in gran parte ricostruito e consolidato, quindi gli edifici con cui abbiamo a che fare non solo completamente in muratura, ma spesso hanno strutture in cui materiali diversi e tecniche costruttive differenti di epoche differenti si legano tra loro.

L'obiettivo è quello di mettere in luce limiti e potenzialità delle tecniche di analisi, monitoraggio e intervento trattate fino ad ora per comprendere meglio come approcciarsi a processo e al progetto di riqualificazione energetica.

All'interno del progetto Metrics ho svolto le indagini storico-conoscitive del centro storico, analizzato e restituito su planimetria le indicazioni dei Piani di Recupero del comune, ricostruito le vicende storiche che hanno portato alla trasformazione delle strutture, collaborato alla redazione della scheda tipo di rilievo dei dati durante il sopralluogo e alla scelta per la realizzazione dell'abaco delle tecnologie innovative per gli interventi di miglioramento energetico in edifici tutelati.

## OGGETTO DI STUDIO

Casa Gioioso è un edificio residenziale a schiera facente parte del gruppo di edilizia minore, sito nel centro storico di Frigento. L'idea di concentrare le analisi su di un edificio non di pregio è derivata dal fatto che molti centri storici italiani sono costituiti da edifici non vincolati puntualmente, ma nel loro insieme, e per i quali non vi è spesso la stessa attenzione riservata a quei manufatti portatori di interesse storico-artistico. Ciononostante sono quelli che vanno a costituire lo skyline e la bellezza del territorio italiano perché conservano delle caratteristiche costruttive che con il tempo sono andate perdute e per questo rappresentano un valore da preservare per la memoria comune.

Didascalie alle immagini.

32. Vista dall'alto dell'intero centro storico così come si presenta oggi.

33. Sintesi cronologica degli avvenimenti caratterizzanti lo sviluppo dell'edificato urbano sulla base delle fonti storiche e delle pubblicazioni a disposizione.

34. Casa Gioioso prospetto ovest.

35. Casa Gioioso prospetto est.



45. Termine locale per indicare la presenza di una piccola scala esterna appoggiata alla facciata.

Diriscalle alle immagini.

36. Individuazione delle tipologie costruttive, epoche e destinazioni d'uso sulla base dei contenuti delle tavole del Piano di Recupero della città

37. Individuazione dello stato di conservazione, delle reti distributive e dei manti stradali sulla base dei contenuti delle tavole del Piano di Recupero della città

Lo studio tipologico definisce la struttura in esame come una casa a schiera con afio<sup>46</sup>. Si trova nel cuore del centro storico non distante dalla piazza principale, Piazza Duomo, su cui affaccia la Cattedrale Santa Maria Assunta.

La stecca di cui fa parte è una delle più antiche per costruzione, databile anteriormente al 1700 così come gli edifici subito limitrofi. Esteriormente non presenta problemi di degrado superficiale, bensì il gruppo di case di cui fa parte appare come restaurato di recente. Internamente la disposizione degli ambienti è vincolata dalla struttura dell'edificio che appare composto da due blocchi edilizi (uno a nord e uno a sud) comunicanti tra loro, ma ben distinguibili, come se due abitazioni fossero state unite.

I due ingressi sono posti, come per tutte le case a schiera, sui lati corti che danno su strada (parte ovest con afio e parete est), mentre a sud e a nord risulta confinare con altri edifici, come è tipico delle abitazioni a schiera, in questo caso sfalsate in altezza data la pendenza del terreno. Questo fa sì che la parete sud abbia un lato esposto al piano primo, mentre quella a nord sia completamente adiacente con l'abitazione limitrofa.

L'edificio è adibito a residenza tutto l'anno, quindi l'uso che se ne fa non è di seconda casa, come invece accade per molti edifici del centro. Grazie alla disponibilità della proprietaria si è potuto svolgere dei sopralluoghi e delle indagini conoscitive del fabbricato, per conoscerne a fondo le peculiarità e poter ipotizzare degli interventi. In seguito al sisma del 1980, che ha provocato numerosissimi danni ai centri abitati dell'Irpinia, l'abitazione ha subito degli interventi di ricostruzione e consolidamento. Presenta quindi una struttura mista in roccia e cemento armato, che non lavora in modo uniforme né dal punto di vista meccanico né da fisico.

Esternamente, nonostante i recenti lavori, si è cercato di mantenere i caratteri identitari della costruzione originaria, al fine di non snaturare il volto del centro storico, vincolato in quanto tale.

#### IPOTESI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: RILEVAMENTO DATI E MESSA A SISTEMA DELLE PROBLEMATICHE

Per prima cosa ho parallelamente portato avanti due differenti tipi di analisi: un tipo tipologico per comprendere quali tipi edilizi popolano il centro di Frigento e in che modo si sono evoluti nel tempo; uno a livello urbano studiando le informazioni deducibili dalle tavole del Piano di Recupero del Comune.



L'individuazione delle tipologie edilizie è in questo tipo di studi fondamentale per avanzare ipotesi sull'evoluzione dell'abitato.

Le informazioni dedotte dai piani di Recupero sono state sintetizzate in due tavole in cui sono stati individuati: i comparti edilizi, gli edifici a carattere storico, quelli con interesse artistico, le tipologie edilizie (a corte, a schiera, di derivazione curtense o palazzata, riconducibili a un schiera), il numero dei piani, la presenza o meno di un attico, la destinazione d'uso dei piani terra (non sempre adibiti ad abitazione), l'epoca di origine (anteriore al 1700, 1700-1850, 1850-1920, 1920-1950, 1950-1970), lo stato di conservazione delle facciate, i servizi urbani e le aree verdi circostanti.

Unendo i dati estrapolati dal libro dell'architetto Mauriello, che ha eseguito una ricostruzione delle trasformazioni edilizie partendo da una planimetria storica, non aggiornata a seguito sisma del 1980, a cui è sovrapposto le planimetrie dei piani terra attuali, con i dati ricavati dall'analisi dei piani di recupero si è potuto fare una prima ricostruzione delle fasi costruttive che hanno caratterizzato l'intero centro storico.

Trattandosi di edifici di edilizia residenziale minore non vi era una documentazione scritta di riferimento che desse informazioni dettagliate e puntuali sui singoli edifici.

Si è quindi deciso, a fronte dei dati raccolti, di confrontarsi direttamente con la proprietaria dell'abitazione per avere a disposizione informazioni più dettagliate e compilare una scheda di rilevamento dati precedentemente realizzata, al fine di mettere a sistema tutte le informazioni necessarie per ricostruire lo stato di fatto e procedere alla formulazione delle ipotesi. Mettendoci a disposizione la sua testimonianza e i disegni del progetto di recupero e consolidamento realizzato dopo il sisma del 1980, è stato possibile avere un quadro completo della struttura su cui andare a operare

La Scheda di rilevamento dati energetici dell'edilizia storica era una delle finalità della ricerca Metrics alla cui stesura ho preso parte insieme all'arch. Elena Gigliarelli, arch. Luciano Cessari e arch. Filippo Calcerano.

La scheda di rilevamento dati degli edifici caso studio è organizzata in diverse sezioni contenenti dati ambientali, dati climatici, analisi degli elementi strutturali, i dati energetici (caratteristiche termiche e idrometriche del materiale da costruzione), i dati geometrici e una check list finale utile per la valutazione delle prestazioni energetiche, delle criticità e dei bisogni. Il template è suddiviso in:

Didascalie alle immagini.

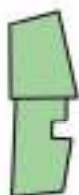
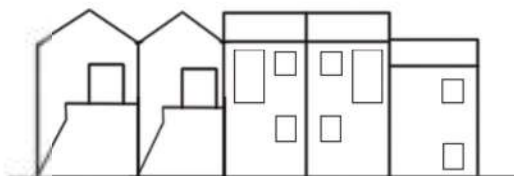
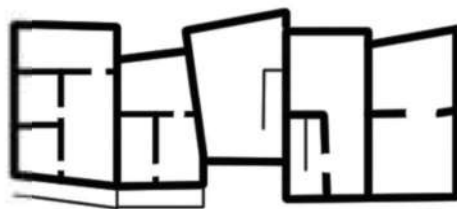
38. Descrizione e schema delle tipologie edilizie maggiormente diffuse nel centro storico di Prigenta



### CASA A SCHIERA con scala interna o esterna

Si articola generalmente su due piani. Il passo è di circa 5/6 metri, ma le dimensioni variano a seconda del luogo di provenienza.

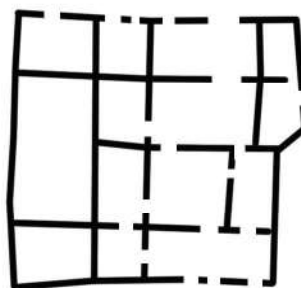
La tipologia con scala interna presenta a piano terra ambienti separati da una parete a cui è addossata una scala. La tipologia con scala esterna presenta due piani non comunicanti e il piano terra era usato come stalla o legnaia o cantina. Un' antecedente è considerata la casa medievale con portico e/o loggia. Caratteristica imprescindibile sono i muri perimetrali in comune con gli edifici adiacenti. Affaccio su strada o su un'area di pertinenza.



### PALAZZIATA

La "casa palazzata" si erge su tre o anche quattro piani, in genere consistenti in uno scantinato, un piano terra, adibito a fondaco per le derrate, un piano nobile dotato di un saloncino per i ricevimenti ed un piano per le stanze da letto.

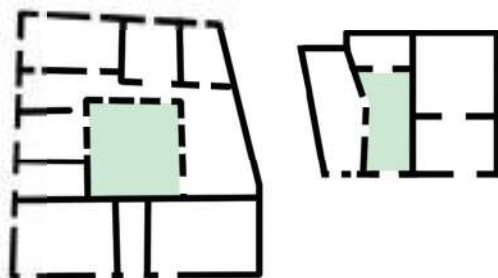
Erano generalmente dei palazzetti nobiliari.



### CASA A CORTE

Considerata un'eredità del mondo romano, è un'abitazione monofamiliare che si sviluppa intorno ad un cortile chiuso di grandi dimensioni. Risulta una struttura chiusa i cui affacci principali sono rivolti verso la corte piuttosto che sulla strada.

Gli ambienti posti nel perimetro che cinge la corte possono avere affaccio diretto su questa, o, come molto spesso accade, essere preceduti da una zona filtro come un porticato o una loggia.



1. Dati generali e caratteristiche geometriche dell'edificio
2. Rilievo metrico
3. Rilievo fotografico
4. (Allegato) fasi costruttive
5. Rapporto con il contesto
6. Dati climatici
7. Analisi spazio esterno di pertinenza
8. Analisi struttura portante
9. Analisi funzionale
10. Analisi involucro opaco
11. Analisi involucro trasparente
12. Analisi partizioni interne
13. Analisi illuminazione naturale/artificiale ed impianto elettrico
14. Analisi impianti termici e trattamento aria – scheda generale
15. Caratteristiche specifiche degli impianti termici e trattamento aria
16. (Allegato) caratteristiche specifiche componenti di scambio termico
17. Analisi consumi da rilievo
18. energy performance requirements and needs - check list

Oltre a completare questa lista di controllo si rende necessario realizzare una dettagliata analisi fotografica dell'edificio e del suo intorno costruzione e luogo per avere informazioni visive immediate che siano utili per la formulazione della proposta di progetto.

#### IPOTESI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: PROGETTO DEL TEAM CNR ITABC

Ci troviamo di fronte ad uno di quei casi in cui l'edilizia storica preindustriale non ci arriva nella sua configurazione originaria. La struttura una volta interamente costituita da pietra calcarea (Calcere Castelluccio) e tufo tipi del posto, oggi presenta delle parti ricostruite con i mattoni forati, una tecnica tipicamente legata alla produzione industriale e a tempi più moderni e con prestazioni chimico-fisiche differenti rispetto ai materiali di partenza.

Non si può quindi pensare che tutte le pareti abbiano lo stesso comportamento e presentino le stesse problematiche: quindi si tratta di avanzare delle ipotesi che tengano conto di questa disomogeneità e vi si adattino.

Didascalie alle immagini.

39. Le immagini riportate fanno riferimento a quattro delle 20 pagine che compongono la scheda di rilievo realizzata con il CNR Itabc.



Di per se è già difficile pensare che pareti della stessa consistenza materica e appartenenti allo stesso edificio abbiano lo stesso comportamento, vista la loro differente esposizione agli agenti atmosferici e considerato che elementi costruttivi non prodotti in serie non potranno mai essere identici tra loro, ancora più complessa diventa la situazione se il materiale varia o se nella stessa sezione muraria ci troviamo a doverci confrontare con più materiali mescolati insieme a creare un unico paramento.

L'ipotesi dei pacchetti stratigrafici, che ha avuto come finalità la redazione di un audit energetico, è stata quindi fatta a partire dalla serie di dati raccolti e poi integrati tra loro.

Gli strumenti di cui ci si è avvalsi sono:

- dati storici e di archivio sui materiali utilizzati nell'area;
- elaborati tecnici reperiti al comune, al catasto e ottenuti in parte anche dalla proprietaria dell'immobile;
- rilievo termografico interno ed esterno dell'edificio;
- analisi termoflussimetrica in due punti specifici dell'edificio (copertura sud e parete est primo piano), in cui l'ipotesi stratigrafica è supportata dal dato numerico rilevato ed ha fornito una base interpretativa per gli altri pacchetti
- rilievi geometrici ed energetici in situ comprendenti l'analisi di eventuale degrado.
- Intervista alla proprietaria dell'immobile.

A fronte dei dati a disposizione, il team di ricerca del CNR ITABC ha portato avanti delle ipotesi progettuali per il miglioramento del rendimento energetico dell'edificio, cercando, tra le altre cose, di ottenere un valore di trasmittanza delle pareti in linea con le richieste della normativa; fermo restando che in quanto edificio storico tale obbligo andava in deroga. Si riporta quindi di seguito il testo tratto dalla "Relazione allegata al SAL IV Aprile 2016 CNR ITABC", relativo alle scelte effettuate.

"Nell'andare ad elaborare i nuovi pacchetti stratigrafici sono stati presi a riferimento i nuovi limiti non prescrittivi in caso di intervento sull'intero involucro, del Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Per la casa Gioioso sono previsti i seguenti interventi su involucro ed impianti:

1) Rimozione pavimentazione e sottofondo fino al massetto isolante con eventuale guaina, sostituzione guaina, posizionamento isolamento calpestabile in lana di roccia tipo ROCKWOOL Dachrock (8cm), strato in pannelli radianti a secco isolati e ricoperti da piastra sottile in acciaio zincato tipo TERATEC DRY (4,2cm), sottofondo e piastrelle.

2) Isolamento a cappotto chiusure verticali esterne secondo due ipotesi a seconda della composizione dell'intonaco esterno.

Qualora risultasse a base di cemento e calce verrà mantenuto e si procederà all'applicazione di uno strato di isolamento a cappotto in pannelli di aerogel (3 cm) protetto da rete in fibra di vetro anegata in uno strato di finitura esterna in termointonaco naturale tipo Diathonite Evolution (2 cm, totale +5cm rispetto al filo attuale). Qualora l'intonaco fosse in calce sarà rimosso e verrà applicato un cappotto di maggiore spessore ma prestazione analoga in fibra di legno (8cm) con strato di finitura in termointonaco (2cm, totale +6 cm rispetto al filo attuale).

3) Isolamento coperture in maniera differenziata in base ai due pacchetti esistenti.

Per il pacchetto sud: rimozione copertura fino alle strutture esistenti in legno, realizzazione strato di finitura interna in pannelli di cartongesso antincendio (1,5 cm) e pannelli tipo OSB (1,2cm) con barriera al vapore fissati all'orditura delle capriate. Applicazione nell'estradosso fra le capriate di uno strato di strato isolante ad elevata capacità termica in fibra di Legno tipo CELENIT N fino al filo del cordolo, compresi le fasce da 4cm in corrispondenza delle capriate (spessore complessivo 16 cm), applicazione di ulteriore strato di isolamento in fibra di legno per isolare il ponte termico lineare del cordolo ricongiungendo l'isolamento della copertura al cappotto esterno. Posa in opera guaina traspirante e realizzazione supporto listellato per tegole di copertura fotovoltaiche tipo Techtile Energy con camera ventilata sottostante atta anche al passaggio dei cavi (6cm).

Per il pacchetto di copertura a nord: rimozione copertura esistente fino alle strutture esistenti in legno, realizzazione tavolato interno fra le capriate su cui posare strato di isolante in fibra di legno tipo legno Celenit FL/45 spessore 8 cm fino al filo del cordolo, posa di secondo strato di stesso isolante spessore 4 cm per andare a completare la frontiera termica con il cappotto esterno, posa di strato

Didascalie alle immagini.  
Feribus sin non repericat.  
Occus, optatatur? Odionsequam  
exerum, voluptate cupatus.

di tenuta in guaina traspirante e di listelli su cui posare la struttura di supporto delle tegole fotovoltaiche a formare una intercapedine ventilata complessiva da 6 cm. Posa in opera delle tegole fotovoltaiche tipo Tectile Energy.

La potenza dell'impianto fotovoltaico installato sulle due coperture è di circa 3,3 kWp.

4) Nello smontaggio della copertura SUD verranno preservati i due infissi lucernari a vasistas che saranno poi nuovamente posati in opera con l'aggiunta di un sistema di automazione delle aperture tipo VELUX INTEGRA, sia per migliorare le condizioni di comfort termoigrometrico estivo, sia per controllare nella stagione invernale la qualità dell'aria ed il livello di umidità all'interno degli ambienti.

5) Interventi impiantistici: per alimentare radiatori e pannelli radianti si propone l'installazione di caldaia a condensazione con seguente circolazione. Il fluido in uscita a 60°C viene trasmesso ai radiatori, dai quali torna a 50°C e viene poi miscelato per scendere alla temperatura necessaria a servire i pannelli radianti (30-35°C) da cui poi torna alla caldaia. E' necessaria una valvola di sicurezza per controllare che la temperatura del pavimento radiante resti sempre all'interno della soglia voluta."

#### IPOTESI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: VERIFICA TERMOIGROMETRICA E PROPOSTA DI ISOLAMENTO INTERNO

Il mio contributo ha riguardato l'analisi termoigrometrica dei pacchetti murari così come era stati progettati per il progetto di efficientamento energetico. Sono state realizzate delle simulazioni con il software Delphin 5.8.3, ottenuto in licenza in quanto studente per un anno. Per ogni parete è stata misurata la variazione di temperatura interna alla sezione, l'umidità relativa (di seguito indicata come RH) e la quantità di acqua contenuta all'interno dei componenti delle pareti, su di un ciclo di 3 anni per verificarne il comportamento sul lungo termine.

Simulare il comportamento termoigrometrico di una parete è un passaggio importante quando si progettano interventi sull'esistente, in particolar modo edifici storici, in quanto anche dei piccoli accumuli di condensa, che sembrano essere superficiali, possono con il tempo danneggiare il materiale, indebolirlo dal punto di vista meccanico e non garantire la giusta stabilità della struttura. Inoltre il pericolo delle muffe può portare ad una scarsa salubrità degli am-

bienti interni, al degrado delle superfici e all'insorgere di patologie in coloro che usufruiscono degli spazi.

Dato che il database dei materiali non è modificabile né implementabile senza l'ausilio degli sviluppatori del programma, non è stato possibile simulare il comportamento dell'areogel che non è presente all'interno.

Si riportano di seguito le analisi effettuate sulle pareti oggetto di intervento così come individuate dal keyplan.

I grafici riportati sono due frame tratti dall'andamento annuo delle temperature all'interno della sezione muraria. Il software ci fornisce il quadro di ogni singolo giorno, ma sono stati selezionati due mesi significativi su cui confrontare il cambiamento termico in caso di inserimento di un pannello isolante sulla facciata esterna.

Sulle ascisse e sulle ordinate leggiamo le dimensioni del provino su cui sono state effettuate le simulazioni, mentre sulla leggenda alla base del grafico i numeri, associati a determinate sfumature di colore (blu temperatura minima e rosso massima), stanno ad indicare le temperature minime e massime che nel corso dell'anno la muratura raggiunge.

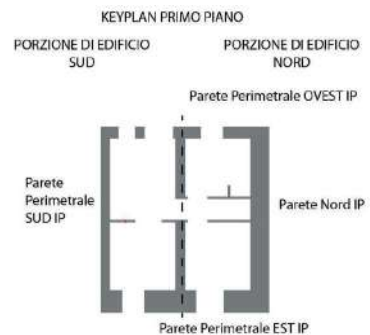
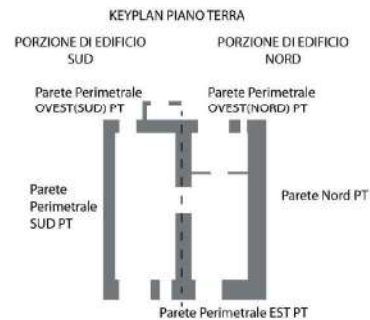
Il grafico RH (relative humidity) e quello sottostante relativo all'accumulo di acqua ci servono per capire se la sezione può presentare o meno dei problemi di condensa sia interstiziale che superficiale. Quella che il programma definisce Overhygroscopic è la condizione per cui, al di sopra del 95% di RH, si prende in considerazione la possibilità che si crei condensa all'interno della parete. I due grafici sono stati per questo messi in relazione. Il colore che si avvicina al blu ci avvisa sulla condizione non ottimale della parete e subito sotto possiamo leggere dei picchi di accumulo di acqua. Il frame del grafico dinamico RH che è stato selezionato fa riferimento a quel periodo in cui si aveva il picco più alto di accumulo. In questo modo possiamo capire in che punto della sezione si ha condensa.

Viene sempre considerato un lasso di tempo superiore ad un anno per le simulazioni per verificare se l'accumulo di acqua, e quindi condensa, è ciclico, se aumenta o tende a diminuire nel tempo.

• *Parete perimetrale EST Piano terra - (muratura in Calcare Castelluccio)*

La condizione di partenza vede una sezione muraria di 83,6 cm con uno strato di intonaco esterno di 4 cm e uno interno di 2 cm.

La proposta progettuale esaminata è quella che prevede di togliere lo strato di intonaco per inserire un pannello isolante in fibra di le-



Keyplan piano terra e piano primo di Casa Gioiosa

gno di 8 cm e uno di termointonaco di 2 cm, per un totale di 6 cm in più rispetto al filo attuale.

L'ipotetico post operam mostra una situazione migliore per quanto riguarda la dispersione termica all'interno delle pareti. In inverno infatti la parete è più calda perché lo strato isolante ci permette di schermare il freddo e mantenere una situazione di comfort interno. Di conseguenza d'estate la parete tende anche ad accumulare meno calore e quindi ad asciugare meno l'umidità che si va ad accumulare nella sezione, causa anche la presenza dello strato isolante che modifica il comportamento fisico di partenza della muratura in pietra. Ne conseguirebbe, secondo quanto riportato dai grafici, una situazione in cui il livello di umidità relativa è più alto, ma più omogeneo e non raggiunge livelli elevatissimi. L'accumulo di acqua all'interno della parete diventa più frequente nel corso dell'anno perché la parete è meno traspirante, ma essendo anche meno esposta alle intemperie diminuisce quantitativamente passando da 3.5 kg massimi a 1.2 kg. L'andamento si mantiene sempre stabile e non sembra aumentare nel tempo.

Quindi una situazione che sicuramente va tenuta sotto controllo.

- *Parete perimetrale Sud Primo Piano, muratura Calcare Castelluccio (verso esterno)*

La condizione di partenza vede una sezione muraria di 41 cm con uno strato di intonaco esterno di 4 cm e uno interno di 2 cm.

La sezione a sud era quella sicuramente meno problematica in questo contesto. Le temperature invernali seppur rigide non raffreddano mai troppo la parete e di conseguenza il contenuto di RH e la condensa non raggiungono mai dei livelli troppo elevati.

La proposta progettuale esaminata è quella che prevede di togliere lo strato di intonaco per inserire un pannello isolante in fibra di legno di 8 cm e uno di termointonaco di 2 cm, per un totale di 6 cm in più rispetto al filo attuale.

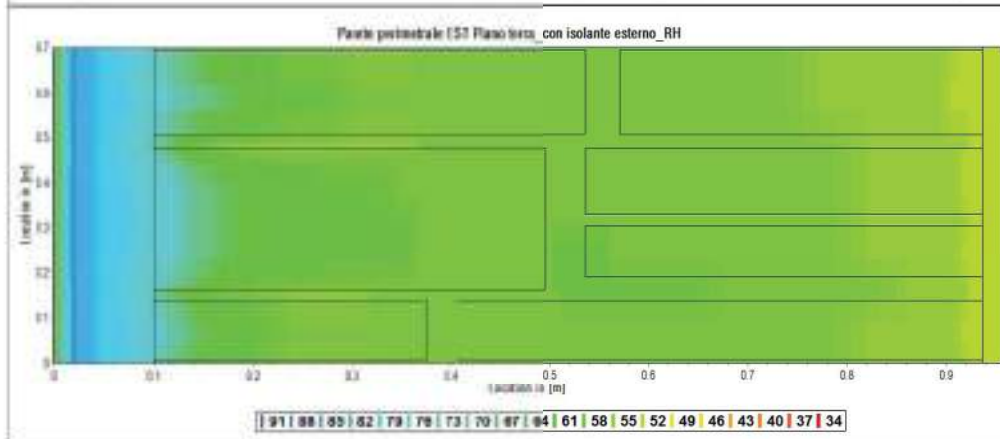
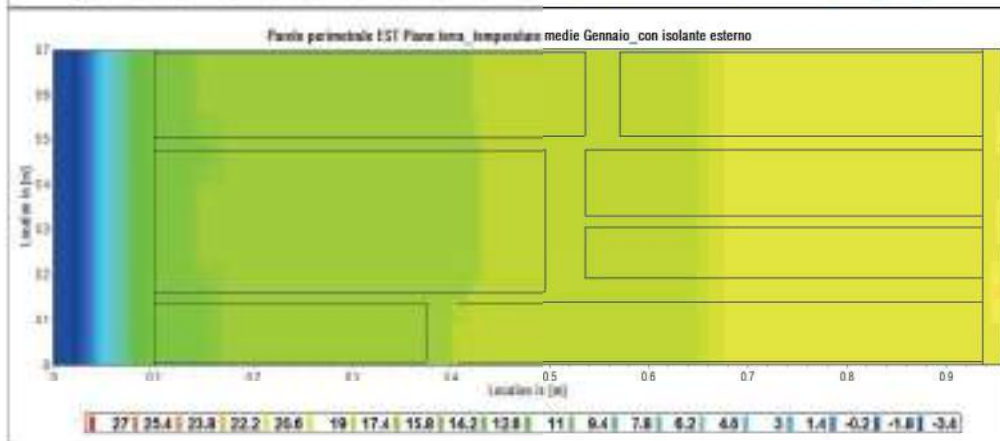
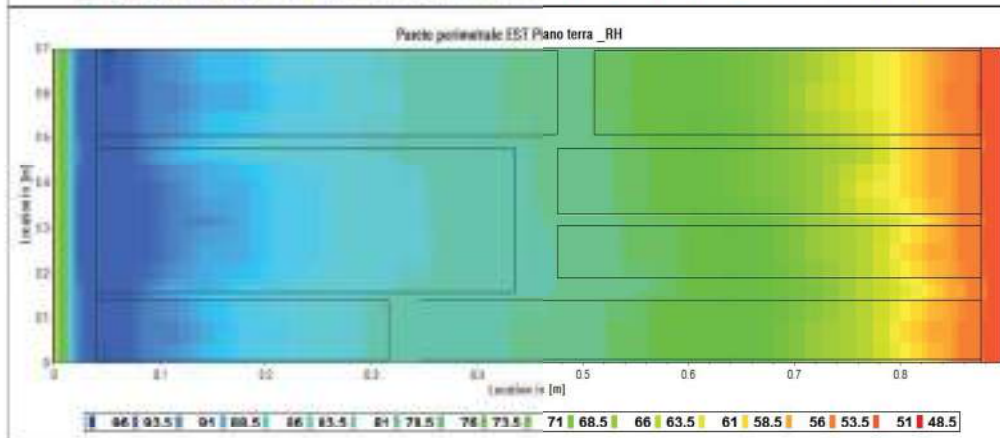
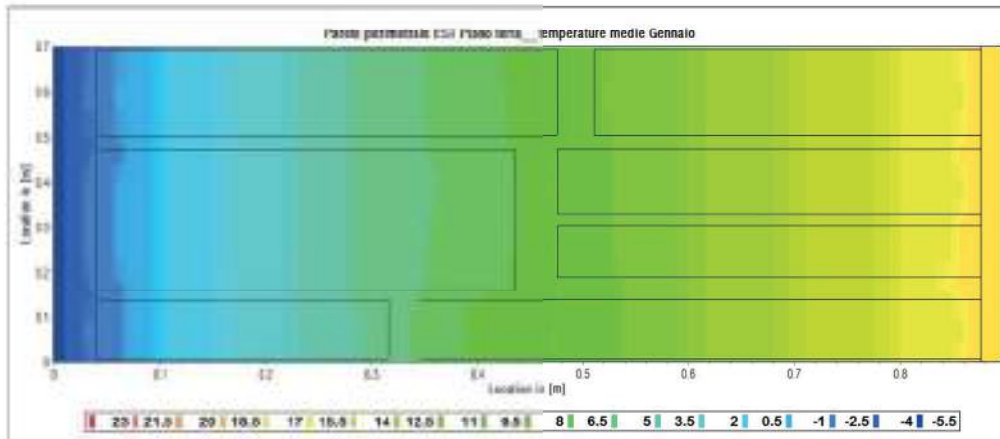
L'applicazione di uno strato isolante va a migliorare la situazione facendo diminuire notevolmente l'umidità relativa contenuta all'interno, così come i picchi di contenuto di acqua che diventano più radi e scendono sotto il kg.

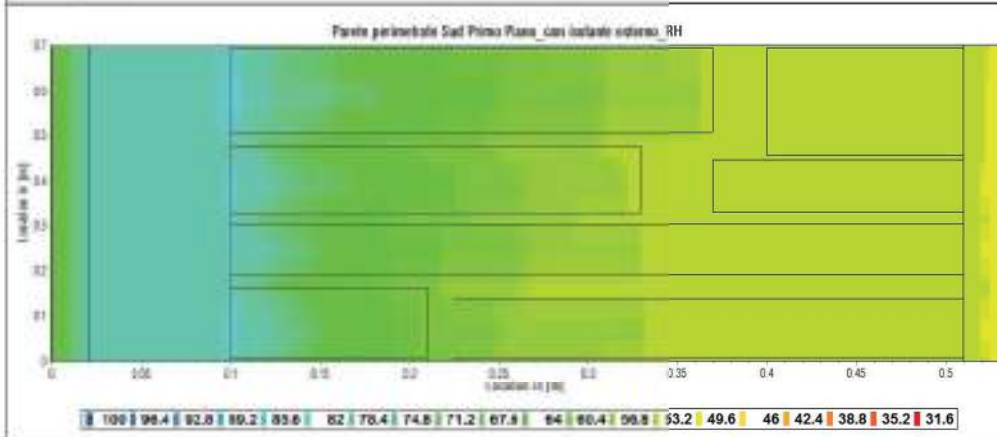
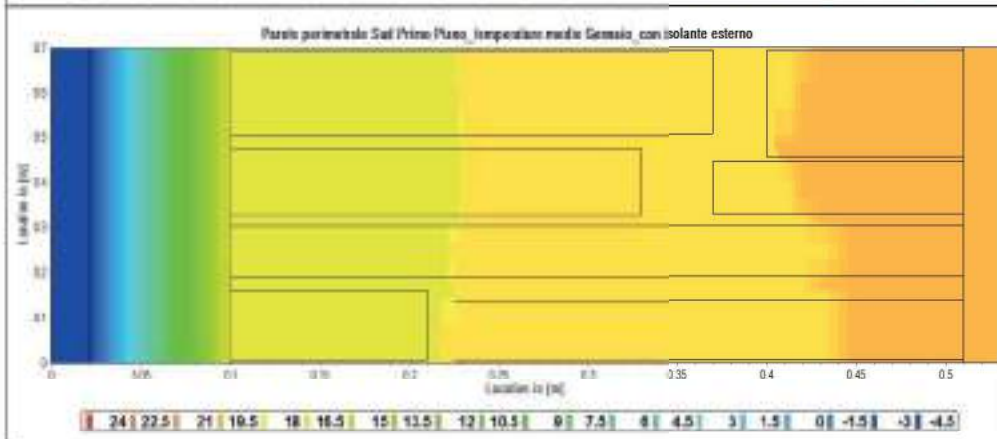
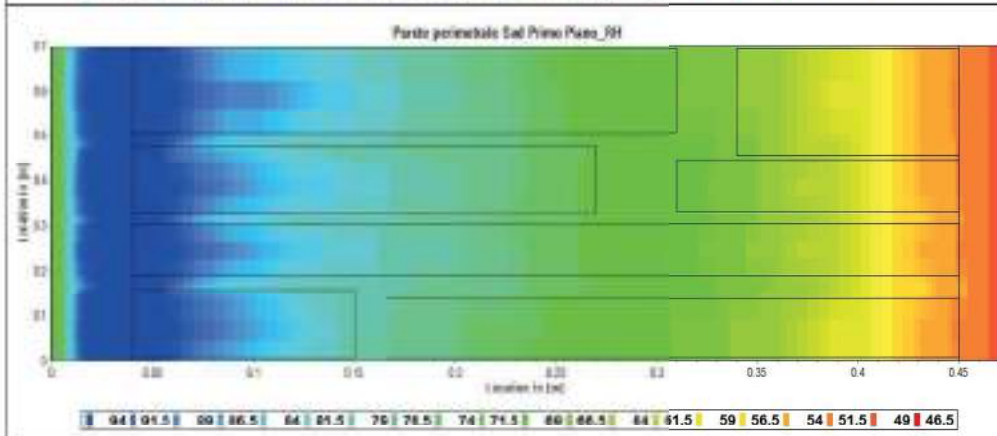
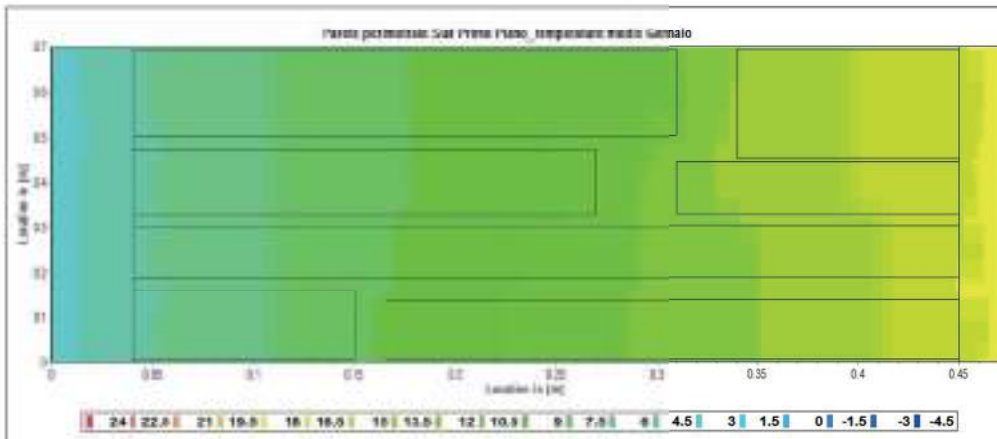
- *Parete perimetrale Ovest piano terra - (Calcare Castelluccio)*

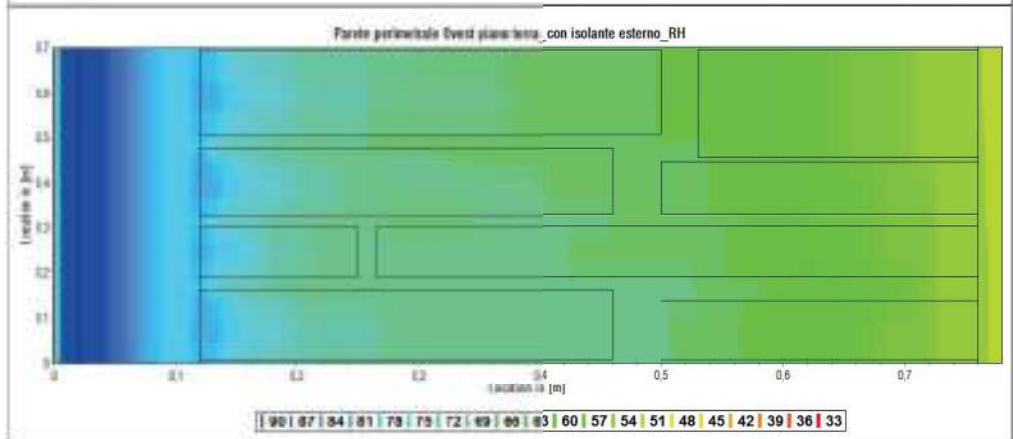
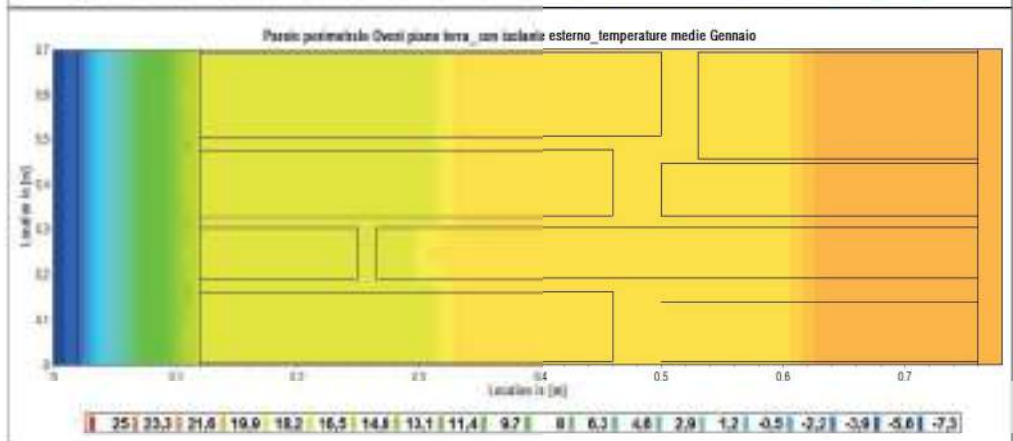
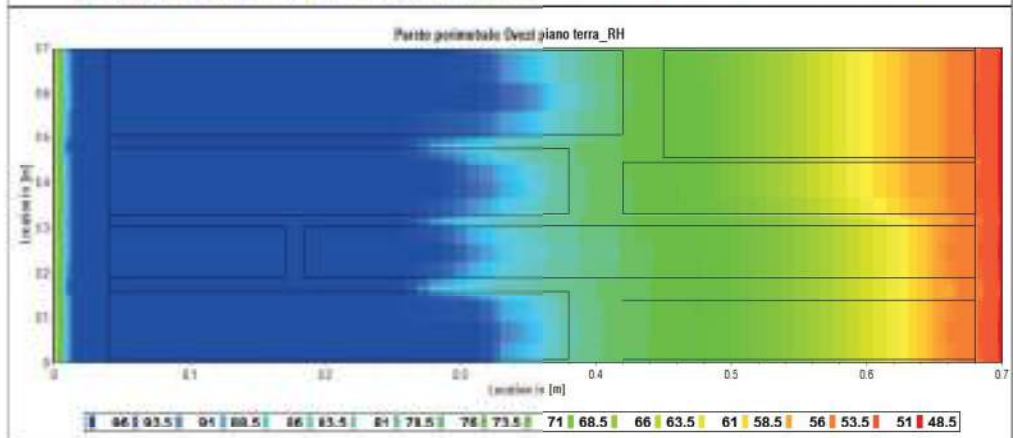
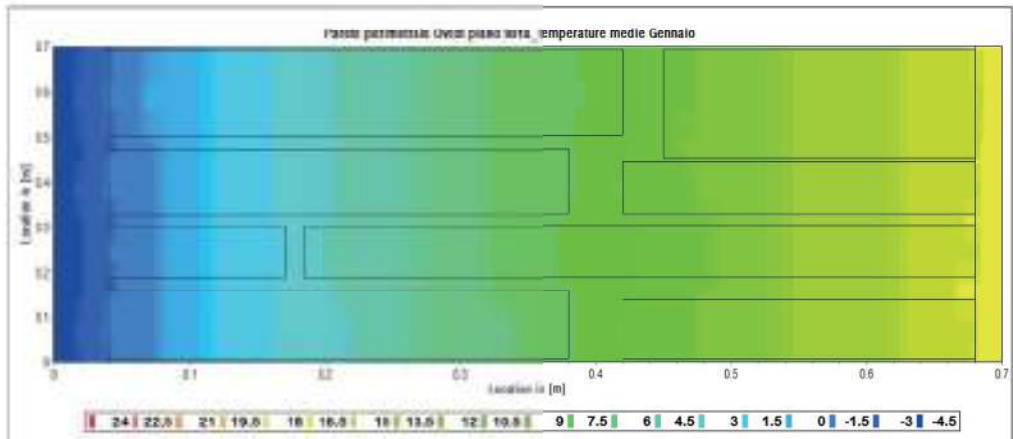
La condizione di partenza vede una sezione muraria di 64 cm con uno strato di intonaco esterno di 4 cm e uno interno di 2 cm.

Dirigete alle immagini.

40. Dall'alto grafico della temperatura più bassa nel mese di gennaio della parete est senza isolante. Grafico dell'umidità relativa della parete est senza isolante. Grafico della temperatura più bassa nel mese di gennaio della parete est con isolante. Grafico dell'umidità relativa della parete est con isolante.







Quella della parete ovest era la situazione più problematica. Il grafico dell'RH e dei picchi di accumulo di condensa risultano essere quelli più elevati allo stato di fatto con valori, che seppure costanti nel tempo, arrivano anche a 10kg di massa di acqua in una sezione muraria che si presenta molto più umida delle altre.

La proposta progettuale esaminata è quella che prevede di togliere lo strato di intonaco per inserire un pannello isolante in fibra di legno di 8 cm e uno di termintonaco di 2 cm, per un totale di 6 cm in più rispetto al filo attuale.

Sebbene la proposta di isolare dall'esterno non risolva tutti i problemi, riduce notevolmente sia i livelli di umidità relativa che di condensa che scendono fino ad un massimo di 1.6 kg, contro i 10 kg iniziali.

In questo caso si può quindi dire che l'applicazione di uno strato isolante esterno aiuta a proteggere la parete dagli agenti esterni e a migliorarne le prestazioni.

## CONCLUSIONI

In tutti i casi analizzati i grafici mostrano come apparentemente la situazione sembra migliorare con l'inserimento di strato isolante, ma allo stesso tempo, quasi sempre si rischia di avere della condensa nella zona di contatto tra la parete e il pannello. Il che significa che il materiale lapideo sottostante rischia di andare in contro a fenomeni di degrado, che se non controllati opportunamente possono alterare le proprietà meccaniche degli elementi costruttivi.

Inoltre, a fronte di quanto detto fin ora, consigliare un intervento del genere, dal punto di vista della conservazione dell'edificio non risulta propriamente appropriato.

Andare a sovrapporre degli elementi in facciata equivale a far scomparire quelle che sono le peculiarità del fabbricato stesso e nascondere le caratteristiche architettoniche che lo rendono tale. Infatti alla base della conservazione vi è l'indicazione di alterare il meno possibile l'aspetto esteriore, che costituisce l'identità visiva dell'edificio stesso.

Inoltre c'è da dire che, trattandosi di un edificio a schiera, effettuando questo tipo di intervento si andrebbero ad isolare solamente le facciate che non sono addossate agli altri edifici, posti sui lati lunghi, e questo creerebbe una discontinuità nella lettura

Didascalie alle immagini.

40. Dall'alto grafico della temperatura più bassa nel mese di gennaio della parete sud senza isolante. Grafico dell'umidità relativa della parete sud senza isolante. Grafico della temperatura più bassa nel mese di gennaio della parete sud con isolante. Grafico dell'umidità relativa della parete sud con isolante.

40. Dall'alto grafico della temperatura più bassa nel mese di gennaio della parete ovest senza isolante. Grafico dell'umidità relativa della parete ovest senza isolante. Grafico della temperatura più bassa nel mese di gennaio della parete ovest con isolante. Grafico dell'umidità relativa della parete ovest con isolante.

ra d'insieme e un dislivello di superficie tra le abitazioni adiacenti. Quindi, in questo caso, cercare di lavorare sull'interno sarebbe sicuramente più utile sia dal punto di vista della conservazione dell'aspetto esteriore, e quindi dei caratteri identitari che rendono un centro storico tale, sia dal punto di vista energetico. Infatti se da normativa dobbiamo considerare le pareti che confinano con altri edifici come pareti su ambienti non riscaldati, ne viene con se che non possiamo pensare di isolarne alcune sì ed alcune no, in quanto si creerebbero delle discontinuità termiche. Questo tipo di considerazione nasce dal fatto che non possiamo sapere con certezza quando e se il nostro vicino deciderà di riscaldare i suoi ambienti, quindi ogni nucleo abitativo va considerato a se stante. Impensabile sarebbe anche fare un cappotto esterno che comprende tutti gli edifici della stecca delle casa a schiera.

Nelle simulazioni effettuate, come già detto, non si è potuto testare l'aerogel, poiché non presente nel database del software di analisi, ma si è testata solamente la lana di roccia. Considerate le piccole dimensioni dell'edificio è sicuramente sconsigliabile inserire un isolante di dimensioni elevate, perché ridurrebbe lo spazio interno a disposizione, ma facendo ricorso a sistemi altamente performanti che con pochissimi cm forniscono elevate prestazioni si può ovviare al problema dell'eccessivo consumo di mq.

Purtroppo in questa sede non abbiamo informazioni sufficienti per fare delle ipotesi sul comportamento termoisometrico di materiali come l'aerogel, ma si ritiene una strada ipoteticamente percorribile, seppure con le dovute precauzioni, visto anche l'elevato costo dei materiali di ultima generazione.



PARTE III

## Fase di sintesi propositiva

Definizione degli strumenti tecnico – operativi di supporto al progetto dell'efficienza energetica dell'edificio pre – industriale



## VERIFICA PREVENTIVA DEL PROGETTO E DEGLI INTERVENTI PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DELL'INVOLUCRO STORICO: PIATTAFORMA WEB

### ABSTRACT

Il progetto sull'esistente contiene in sé le differenti istanze, da quella storica, a quella estetica fino alla tecnologica, per il connubio delle quali è fondamentale passare attraverso un processo di approfondita anamnesi tecnica dell'edificio. Il progetto si presenterà, dunque, come una sintesi critica delle molteplici azioni conoscitive attuate.

L'obiettivo di articolare i criteri e gli indirizzi metodologici di supporto al miglioramento energetico degli edifici storici si afferma come fondamentale nella definizione di un processo progettuale flessibile alla molteplicità del patrimonio, capace di considerare le istanze complesse e contemporaneamente di verificarne l'adeguata soluzione progettuale. Si individua, pertanto, una struttura metodologica incentrata sulla duplice condizione di preservare l'apparato materico (azione di conservazione) e garantire la fruizione dello spazio (comfort indoor).

In questo capitolo si propone la creazione di una piattaforma web accessibile ad utenti di vario livello, da quello più esperto a quello meno esperto, in cui sia possibile non solo consultare materiale derivato da progetti di ricerca e progetti realizzati, ma in cui si ha a disposizione un proprio spazio di lavoro e archiviazione dati e in cui anche confrontarsi con altri professionisti del settore e condividere le proprie esperienze e risultati raggiunti. Uno strumento già noto come output di diverse ricerche scientifiche europee, che però è rimasto legato solamente ai fini della ricerca e non è mai diventato un mezzo di comunicazione, divulgazione e supporto ai tecnici.

Viene quindi sottolineata l'importanza della divulgazione dei risultati in modo chiaro ed accessibile affinché il mondo ricerca e professione riescano a collaborare e crescere insieme grazie ad uno scambio di informazioni costruttivo.

La piattaforma web diviene, quindi, allo stesso tempo una banca di archiviazione dati e un mezzo di comunicazione e confronto dei risultati raggiunti e delle mancanze ancora non colmate.



## 7.1. Scopi e ambiti di applicazione

Come dimostra la trattatistica storica, a matrice tecnico-costruttiva, fin dal passato si è cercato di dettare regole che fossero chiare, precise e permettessero di semplificare il lavoro dell'architetto, ma la continua ricerca e sperimentazione, nonché l'assenza di quel tipo di lavorazione dei materiali che si otterrà solo in seguito all'industrializzazione, hanno reso pressoché impossibile un'omologazione progettuale.

Sebbene degli elementi comuni siano riscontrabili in strutture provenienti da una stessa area geografica o periodo storico, restano numerose le differenze legate alla scelta e lavorazione dei materiali, ma soprattutto alle tecniche costruttive utilizzate. Per questo motivo capita frequentemente di imbattersi in strutture nate dalla commistione di diverse tecniche e materiali, che non rientrano all'interno di una precisa categoria, piuttosto si trovano a cavallo tra due o più.

Si costruiva infatti con quello che si aveva a disposizione nel proprio territorio e la maggior parte delle volte l'architettura assumeva caratteristiche differenti a seconda dell'estrazione sociale del committente e delle sue possibilità economiche.

Dunque analizzare e conoscere i rischi relativi al danneggiamento e al degrado dei materiali da costruzione, quindi della struttura muraria, è fondamentale al fine di tutelare e rendere fruibile il patrimonio costruito anche nel futuro. Discorso che, come abbiamo visto, si inserisce ormai da anni nella più ampia riflessione legata alla necessità di aumentare l'efficienza energetica dell'esistente e, quindi, garantirne un uso sostenibile, consapevole e confortevole.

La progettazione contemporanea agisce a più livelli, il primo dei quali è quello del "costruire nel costruito", con nuovi edifici o nuovi insediamenti che si misurano inevitabilmente con il contesto. Su questo tema il dibattito all'inizio degli anni '90 è stato intenso, interessando numerosi campi della ricerca in architettura e, in particolare, in area tecnologica. I processi di ricostruzione della città sono stati al centro di sperimentazioni e innovazioni progettuali, sia di processo che di tecnologie costruttive. Un ruolo di stimolo è stato

1. M. Losasso, *Contesti storici e progettazione contemporanea: l'innovazione tecnologica fra memoria e modificazione*, *Techne*, 12, 2016, p. 7.  
2. <http://areeweb.polito.it/ricerca/episcopo/tabula/>

costituito da un lato dall'esperienza dell'industrializzazione edilizia e, dall'altro, dalla "scoperta" delle tradizioni costruttive dei tessuti storici e delle tematiche del recupero edilizio e urbano. Le ricerche sul recupero si sono allargate ai temi della conservazione, del completamento e della sostituzione edilizia, anche su vasta scala, investendo nuove parti urbane in adiacenza ai tessuti consolidati<sup>1</sup>.

Dalle ricerche degli ultimi anni sul tema della riqualificazione degli edifici storici, sia a livello nazionale che internazionale, è risultata evidente la necessità di creare un sistema di messa a sistema e condivisione del materiale necessario in fase di processo progettuale, proprio perché lavorare contemporaneamente su livelli differenti, anche solo a livello teorico, richiede una grande organizzazione.

Alcuni progetti, come 3EnCult, ha scelto di utilizzare una piattaforma informatica di condivisione dati limitata ai partner di ricerca, quindi non usufruibile da terzi, in cui fosse facile monitorare lo stato di avanzamento delle sperimentazione sui casi studio e allo stesso tempo era possibile inserire e archiviare il materiale che si stava producendo, in modo che fosse a disposizione per essere consultato da tutti. In questo modo non solo si mettevano a confronto tra loro approcci differenti alla risoluzione delle problematiche, ma era anche possibile eventualmente porre delle questioni sul lavoro svolto dagli altri. Inoltre il clima internazionale della ricerca e la presenza di casi studio non solo italiani era un buon terreno di scambio e confronto per imparare anche da realtà differenti, con l'unico limite di essere un sito chiuso ai soli attori della ricerca.

Un esempio invece di piattaforma Web aperta alla consultazione ci arriva dalla ricerca TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment), una ricerca volta ad individuare i caratteri attraverso i quali è possibile mettere a sistema la tipologia edilizia nazionale. Non si tratta di edifici storici o vincolati, anzi quelli antecedenti al 1919 vengono racchiusi in un unico grande gruppo. "Ciascun paese partecipante ha sviluppato la "Tipologia Edilizia Nazionale" che è costituita da un insieme di edifici residenziali modello con caratteristiche energetiche tipiche. Ciascun edificio-tipo rappresenta un determinato periodo di costruzione e una specifica dimensione<sup>2</sup>".

Interessante risulta la guida alla consultazione del Weebtool, ad indicare come sia stato pensato per raccogliere un ampio bacino di utenza. Nonostante ciò non può essere considerato uno strumento completo perché si focalizza solo su determinati aspetti.

Un altro esempio che vale la pena di citare è Materiability research

network, nato come strumento di raccolta dati e confronto nell'ambito di una ricerca sui materiali innovativi legati all'architettura e al design, creato da Manuel Kretzer. La piattaforma era pensata come un luogo dove gli iscritti potevano caricare le loro ricerche o esperimenti o scoperte innovative e avere un confronto con gli altri utenti circa la validità o l'utilità o la possibilità di migliorare i contenuti proposti. Dopo cinque anni di lavoro, nel mese di giugno 2017, si rinnoverà con l'intento di divenire un sito alla portata di tutti, con contenuti liberamente scaricabili senza l'obbligo di registrazione e login. Ho seguito personalmente lo sviluppo del sito e ho fatto parte del Network di iscritti a partire dal secondo anno di vita della piattaforma e ho potuto notare come la costanza nella ricerca e gli scambi interdisciplinari siano stati decisivi per la crescita dei contenuti del sito.

A partire perciò da questi esempi sono state svolte delle considerazioni sull'utilità effettiva di avere a disposizione uno strumento interattivo, continuamente aggiornabile e alla portata di tutti, perché la ricerca senza la giusta divulgazione rimane fine a se stessa.

Da qui la proposta di una piattaforma web (Historical Buildings Network), che raccolga in modo sistematico informazioni su edifici storici pre-industriali e allo stesso tempo sia un luogo scambio e crescita per il tecnico progettista, volto a cercare di colmare quel gap che talvolta è presente tra il mondo del lavoro e il mondo della ricerca; un bacino in cui raccogliere documentazione e dare indicazioni di tipo pratico.

Lo strumento informatico si presenterà come un classico sito internet alla cui pagina di presentazione (home) seguono una serie di sezioni che affrontano tematiche differenti, ma tutti inerenti al progetto di riqualificazione energetica dell'edificio storico preindustriale.

Le aree tematiche saranno ordinate secondo quello che dovrebbe essere il processo conoscitivo da svolgere in fase di progettazione sull'edificio su cui si va ad operare:

- Home
- Lettura del sistema edificio
- Strumenti d'indagine
- Tecnologie di intervento
- Normativa
- Stato dell'arte
- Esempi virtuosi

- Materiale per l'utente
- Area di lavoro

Il sito potrà essere utilizzato per la semplice consultazione, in quanto archivio dati derivati da letteratura, pubblicazioni e ricerche scientifiche, o come luogo di lavoro vero e proprio. Ogni utente avrà a disposizione un suo spazio in cui salvare i contenuti che ritiene necessari al suo lavoro e avere così uno storico della consultazione, ma anche in cui confrontarsi con altri tecnici ponendo domande relative agli aspetti in dubbio. Ciò non toglie che possa essere considerato anche come uno spazio consultabile da studenti o da utenti non specializzati che vogliono semplicemente ampliare le proprie conoscenze.

Ovviamente non sarebbe possibile raccogliere tutte le informazioni esistenti e riportarle pedissequamente, in quanto la cosa richiederebbe un lavoro lungo probabilmente infinito e anche impreciso. Si può però pensare l'Historical Building Network come un luogo in cui inserire informazioni di base, raccolte per categorie e rimandare alla fonte, da cui verranno estratte delle parti significative, per maggiori approfondimenti.

Quello che manca, infatti, non sono le informazioni, ma l'accessibilità alle fonti e un luogo che le contenga contemporaneamente tutte, senza doversi spostare da una piattaforma ad un'altra e fare un collage che rischia di dimenticare aspetti salienti, perché non segue un filo logico, ma è dettato dalla necessità di recuperare informazioni mancanti.

Uno strumento che, regolarmente aggiornato, indirizzi in modo pratico il tecnico anche nel solo processo di conoscenza, che come abbiamo visto è fondamentale per l'approccio al progetto di riqualificazione di un edificio storico.

Il webtool inizia con una pagina Home in cui vengono spiegate le finalità del sito e le modalità di consultazione. Nelle tre pagine successive (Tipologie edilizie, Sistemi costruttivi, Materiali da costruzione) è possibile trovare tutte le informazioni riguardanti il panorama edilizio italiano storico pre-industriale e collocare entro determinati limiti il sistema edificio su cui stiamo lavorando, comprendendone le peculiarità. Grazie poi ad una sezione dedicata agli strumenti di indagine sarà possibile capire in che modo approfondire la conoscenza della struttura in esame senza comprometterla, al fine di poter mettere insieme tutti i dati necessari a scegliere in che modo riqualificare energeticamente l'edificio. Normativa, Linee

Guida, Best Practices e un elenco di Esempi Virtuosi già realizzati posso contribuire a chiarire il panorama all'interno del quale si sta andando ad operare.

Infine un'area di lavoro in cui l'utente potrà gestire e organizzare i suoi contenuti.



## 7.2 Articolazione dati conoscitivi e di progetto

Come abbiamo detto fin da principio, il sistema edificio è una macchina complessa, il cui funzionamento può essere paragonato a quello di un "organismo animale", così come ci ricorda Alberti<sup>3</sup>. In quanto tale le parti non possiedono un'indipendenza individuale, ma ognuna risponde ad una precisa necessità.

Per questo motivo è importante conoscerne le singole connessioni, i limiti e le potenzialità al fine di portare avanti delle proposte progettuali che si armonizzino e dialoghino con le preesistenze.

Dall'analisi della letteratura di riferimento e da quanto ha confermato la sperimentazione sui casi studio è emerso come vi siano delle azioni finalizzate al progetto di riqualificazione energetica degli edifici storici dalle quali non si può prescindere. Una serie di passaggi obbligati per mettere in atto la macchina della conoscenza, presupposto fondante di qualsiasi intervento su edifici esistenti, ancora più se storici.

Possiamo riassumere in quattro macro categorie i vari passaggi attraverso cui passa il progetto di riqualificazione:

- Ricerca storica
- Indagini in situ
- Analisi della struttura
- Sperimentazione

La ricerca storica comprende una serie di analisi finalizzate alla comprensione dell'organismo inteso nella sua unità architettonica e strutturale originaria. Deve quindi fornire delle indicazioni sulle modifiche e sulle trasformazioni che son avvenute nel corso del tempo, configurandosi come un primo importante strumento di rilievo diagnostico del fabbricato. Questa fase è molto importante per mettere a punto un programma di indagini successive finalizzate alla conoscenza delle strutture dal punto di vista fisico, chimico, ma anche meccanico, perché un problema strutturale dato dallo scarso grado di conservazione dei materiali potrebbe essere peggiorato

3. "Occorre che ogni membro dell'edificio si armonizzi con gli altri per contribuire alla buona riuscita dell'intera opera e alla sua leggiadria, di modo che non si esaurisca in una sola parte tutto l'impulso alla bellezza, trascurando affatto le altre parti, bensì tutte quante si accordino tra loro in modo da apparire come un solo corpo, intero e bene articolato, anziché frammenti estranei e disparati. Inoltre, nel conformare le membra, la semplicità della natura è l'esempio da seguire." E più oltre: "in ogni caso è mio costume raccomandare di non cadere in quel difetto per cui l'edificio sembra un corpo deforme con le spalle o i fianchi sproporzionati. Invero la varietà dà un sapore gradevole a tutte le cose, se poggia sull'unità e sulla corrispondenza reciproca di elementi distanti tra loro; ma se tali elementi mancano affatto di legami e non trovano accordo conveniente, questo genere di varietà costituisce una grave stonatura".

L.B. Alberti (1485). *De Re Aedificatoria* libro X. Firenze. Trad. it. *L'Architettura* (1989) (a cura di) P. Portoghesi. Milano. Pag. 7-38

andando ad intervenire senza esserne al corrente e causare maggiore danno alla struttura. Identificare per ogni tipologia di struttura verticale ed orizzontale gli elementi costitutivi, la posa in opera, lo stato di conservazione e il collegamento tra le varie parti strutturali è parte integrante del lavoro di sistematizzazione delle informazioni utili alla realizzazione del progetto.

Questa prima fase verrà integrata con tutta una serie di indagini svolte in situ che porteranno alla corretta redazione del rilievo metrico, specchio delle informazioni raccolte fino ad ora e punto di partenza imprescindibile dell'intervento sull'esistente. L'analisi diacronica e sincronica dello sviluppo della struttura risulta a questo punto molto utile, non soltanto per indirizzare le analisi successive, ma per valutare le connessioni tra parti di epoche diverse ed eventuali interazioni con i corpi di fabbrica adiacenti. Infatti la situazione cambia se l'edificio è isolato o si trova a far parte di un tessuto urbano consolidato, cambiano i suoi scambi con l'ambiente esterno e il modo in cui si influenzano a vicenda.

Il rilievo diretto permetterà la successiva stesura delle schede di rilievo dei materiali, supportate da adeguato materiale fotografico, garantisce non solo un utile strumento di progettazione, ma va ad integrare il database delle conoscenze dell'edificio, necessarie nel caso di eventuali interventi futuri. La documentazione fotografica servirà per avere una panoramica del corpo di fabbrica nel suo insieme e nel contesto, delle sue porzioni strutturali significative (macroelementi) e dei dettagli.

Con questi presupposti l'ultimo passaggio prevede la possibilità di modellare e simulare virtualmente il comportamento energetico di una parte o di tutto l'edificio per fare delle previsioni di progetto future.

Abbiamo già detto che non sempre questo passaggio risulta semplice e alla portata di tutti perché pochi sono gli strumenti che abbiamo a disposizione, visto che la richiesta maggiore del mercato per questo tipo di sperimentazioni è sugli edifici di nuova costruzione e perché mettere a punto un sistema per strutture non costruite con elementi standardizzati è sicuramente più complesso. Complice anche la possibilità di andare in deroga dal raggiungimento degli standard energetici legislativi per gli edifici storici, che continuano così ad essere una categoria su cui si sperimenta poco, malgrado rappresenti la parte più consistente dell'edificato sul territorio italiano. All'interno della piattaforma web ipotizzata posso essere ritrovati tutti gli strumenti necessari per mettere in atto questo processo co-

noscitivo/sperimentale.

Le sezioni dedicate a tipologie edilizie, sistemi costruttivi e materiali da costruzione saranno quelle dedicate a raccogliere in un unico sito tutte le informazioni a disposizione al riguardo. Una descrizione corredata di disegni andrà a fare una panoramica del quadro generale teorico. Per ogni singolo caso verranno fatti approfondimenti declinando le categorie generiche individuate a seconda dell'indirizzo regionale che gli è stato dato o dell'epoca in cui sono state realizzate. Prendendo ad esempio la tipologia edilizia a schiera, si può osservare una sua evoluzione nei secoli e soprattutto differenti declinazioni a seconda del luogo di provenienza, per quanto sia riscontrabili comunque dei tratti comuni che permettono di ricondurre gli edifici sotto una medesima tipologia.

Ugualmente per sistemi costruttivi e materiali da costruzione. Dopo aver capito in quale grande gruppo tipologico ci si trova, sarà possibile fare degli approfondimenti riguardo il singolo sistema costruttivo così come è stato recepito da ogni regione e come si è evoluto. In particolare questa sezione è molto importante nel caso in cui, come è stato ripetuto più volte, l'edificio non possa essere indagato in modo invasivo e si debba fare riferimento solo a fonti storiche, che per quanto attendibili sappiamo non rispettare completamente la realtà, perché non sempre venivano registrati i cambiamenti avvenuti in corso d'opera in cantiere.

Può essere quindi importante fare un confronto con edifici simili e della stessa epoca o dello stesso architetto, che si trovano nella stessa area. Ma altrettanto importante è la consultazione delle carte geologiche con le stratificazioni petrografiche del terreno in base all'epoca. Mettiamo infatti il caso di essere a conoscenza che un dato edificio sia costruito con le pietre estratte dal letto del fiume limitrofo e di non poter fare carotaggi nella struttura. Consultare un documento in grado di darci la stratificazione del letto del fiume ci può permettere di formulare ipotesi che si avvicinano alla realtà, nella maggior parte dei casi.

Per ognuna delle tre sezioni, così come per altre che vedremo successivamente, è prevista una sezione di approfondimento in cui inserire le fonti relative al singolo argomento.



[Home](#)
[Lettura del sistema edificio](#)
[Strumenti di indagine](#)
[Tecnologie di intervento](#)
[Normativa](#)
[Stato dell'arte](#)
[Esempi virtuosi](#)
[Materiale per l'utente](#)
[Classific](#)
[Area di lavoro](#)

# Historical Buildings Network

[Search this site](#)

[Tecnologie di intervento > Sistemi passivi >](#)  
**Isolamento interno**

- Sistemi passivi
- [Isolamento interno](#)
- [Infilassi](#)
- [Termointonaco](#)
- [Sistemi attivi](#)
- [Temperierung](#)
- [Tegole fotovoltaiche](#)
- [Modellazione virtuale](#)
- [Simulazioni termoiqrometriche](#)

menù tematico

**elenco dei materiali**

ISOLANTI	DESCRIZIONE	$\lambda$ (W/m·K)	PRODUZIONE	SMALTIMENTO	APPLICAZIONI	VALUTAZIONE
Vetro ceriumare espanso	 Vetro fuso, estruso, macinato ed infine espanso tramite carbonio. Può essere addizionato con bitume e resine sintetiche.	0,040 0,050	Il materiale di partenza è composto per un 90% da vetro riciclato e per la restante percentuale da sabbia quarzosa alla quale vengono addizionate altre sostanze specie il carbonio di calcio, idrossido potassico, ossido ferroso, carbonato di sodio.		Non attaccabile da muffe e parassiti. Incombustibile. Non emette fumi tossici. Pone problematiche ambientali.	
Lana di vetro	 Miscela di vetro, sabbia quarzosa, soda, dolomite, calcare.	0,040	Viene prodotta portando a fusione tra i 1.300-1.500°C una miscela di vetro e sabbia, la quale successivamente viene colata e bagnata con un legante che aumenta la coesione delle fibre. Quindi riscaldata a circa 200°C e sottoposta a calandratura.		Trasparenza e igroscopicità dipendono dal tipo di legante utilizzato. Così come la resistenza al fuoco.	

**descrizione delle caratteristiche**

**valutazione delle caratteristiche**

[Scrivi qui per eseguire la ricerca](#)

# Historical Buildings Network

Search this site

- Home
- Letture del sistema edificio
- Strumenti di indagine
- Tecnologie di intervento
- Normativa
- Stato dell'arte
- Esempi virtuosi**
- Materiale per l'utente
- Glossario
- Area di lavoro

## Selezione edificio

Esempi virtuosi >

### Casa della Pesa

- [Analisi ambientali](#)
- [Analisi energetiche](#)
- [Analisi funzionali](#)
- [Analisi tessuto urbano](#)
- [Analisi tipologica](#)
- [Fasi costruttive](#)
- [Inquadramento storico](#)
- [Interventi realizzati](#)
- [Rilievo metrico](#)
- [Strumenti urbanistici vigenti](#)
- [Vincoli](#)

### Approfondimenti tematici

- Localizzazione**  
**BOLZANO, Trentino Alto-Adige**  
*Fine di costruzione*  
**XII - XVIII sec.**
- Progettista**  
 Non noto
- Ultimi interventi**  
 1950 - 1960
- Destinazione d'uso originaria**  
 Residenziale
- Destinazione d'uso attuale**  
 In disuso

### Informazioni generali

#### Casa della Pesa

- Casa Giobso
- Concursi di Semavalle
- Oratorio di Santo Stefano
- Palazzina della Viola
- Palazzo d'Accursio
- Palazzo In Leo
- Palazzo Pallavicino
- Villa sul lago di Como



# Historical Buildings Network

Search this site

[Strumenti di indagine](#) > [Modellazione virtuale](#) > **Simulazioni termigrometriche**

- [Indagini endoscopiche](#)
- [Termografia](#)
- [Termoflussimetro](#)
- [Carotaggi](#)
- [Rilievo metrico](#)
- [Modellazione virtuale](#)
- [Simulazioni termigrometriche](#)

elenco strumenti

**formulazione di alcuni scenari di riferimento**  
**la selezione del sistema scelto all'analisi dei risultati ottenuti**

# Historical Buildings Network

Search this site

Materiale per l'utente >  
**Schede operative**

scheda di rilevamento dati

IDENTIFICAZIONE Indirizzo: _____ Comune: _____ Provincia: _____ Regione: _____ Data di rilevamento: _____	
DESCRIZIONE Tipo di intervento: _____ Descrizione: _____ Data di inizio: _____ Data di fine: _____	
PARTICIPAZIONE Progettista: _____ Committente: _____ Esperto: _____	
NOTE _____ _____ _____	

PRESSIONI E SOLICITAZIONI Carichi: _____ Sollecitazioni: _____	
MATERIALI E COSTRUTTI Materiali: _____ Costrutti: _____	
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI Bibliografia: _____ Note: _____	
RIFERIMENTI DOCUMENTARI Documenti: _____ Note: _____	

DATI GENERALI Nome: _____ Indirizzo: _____ Comune: _____ Provincia: _____ Regione: _____	
DESCRIZIONE Tipo di intervento: _____ Descrizione: _____ Data di inizio: _____ Data di fine: _____	
PARTICIPAZIONE Progettista: _____ Committente: _____ Esperto: _____	
NOTE _____ _____ _____	

PRESSIONI E SOLICITAZIONI Carichi: _____ Sollecitazioni: _____	
MATERIALI E COSTRUTTI Materiali: _____ Costrutti: _____	
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI Bibliografia: _____ Note: _____	
RIFERIMENTI DOCUMENTARI Documenti: _____ Note: _____	

[Home](#) | [Lettura del sistema edificio](#) | [Strumenti di indagine](#) | [Tecniche di intervento](#) | [Normativa](#) | [Stato dell'arte](#) | [Esempi virtuosi](#) | [Materiali per l'edilizia](#) | [Diagnostica](#) | [Area di lavoro](#)

# Historical Buildings Network

Search this site

[101 Things You Have](#) | [Mara Giulia Tola](#) | [avaghe decorate](#)

[Autenticazione Google](#) | [We are all just people](#)

[30 E gli altri Da Vista](#) | [MIUR - legnaru](#)

[Glossario - Historical Buildings Network](#) | [Foto rivista - michela](#)

[Sicuro](#) | <https://sites.google.com/site/historicalbuildingsnetwork/glossario>

[Bookmarks](#) | [30 E gli altri Da Vista](#) | [MIUR - legnaru](#)

## Glossario

### — definizione dei termini tecnici presenti

**Bene culturale:** "Sono beni culturali le cose mobili e immobili che, inosservando interessi artistici, storici, archeologici, etnoantropologici, architettonici e paleontologici e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge quali testimonianze aventi valore di civiltà." (Art. 29 D.lgs 22 gennaio 2004, n. 42). Appartengono al patrimonio culturale delle frazioni sui beni per il riferimento alle zone della città. Sono assoggettati alla legge i beni di interesse archeologico, storico, artistico, etnoantropologico, etnoantropologico e letterario, ed ogni altro bene che costituisca testimonianza materiale avente valore di civiltà. (Autore: Commissione Francesconi, 1987).

**Compatibilità:** nell'ambito della conservazione, il concetto di compatibilità può assumere valenze e significati diversi. Se si restringe il campo alle metodologie e ai materiali per l'intervento e, in particolare, alle norme del restauro, la compatibilità si declina sul piano di una scelta compositiva, fisico, meccanica ed estetica attraverso il ricorso a nuovi materiali che siano il più possibile simili a quelli originali (senza presenze lo stato di conservazione di questi ultimi e la capacità di questi di resistere a lungo termine). In generale, una scelta da restituire compatibile dovrebbe essere tale da non indurre, direttamente o indirettamente, alcun danno al substrato garantendo, allo stesso tempo, un'adeguata durabilità (laborato da FILEN 2004, 2006).

**Conservazione:** La conservazione è ogni attività svolta con lo scopo di mantenere l'integrità, l'identità e l'efficienza funzionale di un bene culturale, in maniera coerente, programmata e coordinata.

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

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

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

4. Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale." (Art. 29 D.lgs 22 gennaio 2004, n. 42).

**Conservazione (interventi di):** rivolti a conservare l'organismo edilizio e ad assicurarne la funzionalità mediante un insieme sistematico di opere che, nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell'organismo stesso, ne consentano destinazioni d'uso con essi compatibili. Tali interventi comprendono il consolidamento, il ripristino e il rinnovo degli elementi costitutivi dell'edificio, l'inserimento degli elementi accessori e degli impianti richiesti dalle esigenze dell'uso, l'eliminazione degli elementi estranei all'organismo edilizio (definizione da D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380) - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, art. 3, comma 1c, ma compatibile anche con le realtà interrazionali), oppure, combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative ed organizzative, incluse le attività analitiche, che intervengono sul costruito tutelato, finalizzate a mantenere le informazioni contenute nell'edificio e nelle sue parti, l'integrità materiale e ad assicurarne la conservazione e la protezione dei suoi valori culturali (definizione da UNI 10914-1:2001 - Edilizia - Qualificazione e controllo del progetto edilizio di interventi di nuova costruzione e di interventi sul costruito - Terminologia).

Scrivi qui per eseguire la ricerca

[16](#) | [ITA](#) | [13/06](#)

[AI](#) | [PS](#) | [ID](#) | [Gmail](#) | [Chrome](#) | [Firefox](#) | [Opera](#) | [Safari](#) | [Edge](#) | [Internet Explorer](#)



## 7.3 Articolazione dati conoscitivi e di progetto

La ricerca effettuata ha cercato di fornire non solo un'analisi critica del processo di progettazione degli interventi di riqualificazione energetica, ma di tenere conto anche delle incertezze che sussistono quando si lavora su di un edificio complesso come quello storico. Per questo motivo, scopo principale della piattaforma web proposta, oltre a rappresentare una sorta di banca dati, è quello di guidare il progettista nella scelta della tipologia di intervento più opportuna, cercando di valutarne le ricadute sul lungo termine.

Alla base della speculazione portata avanti fino ad ora vi erano due necessità imprescindibili su cui fondare qualsiasi tipo di ragionamento:

- Preservare la struttura dell'edificio storico pre-industriale: conservazione;
- Garantire la fruizione e livelli di comfort adeguati alla destinazione d'uso: riqualificazione energetica.

Individuazione degli obiettivi e valutazione delle strategie globali di intervento risultano diretta conseguenza dell'analisi delle caratteristiche specifiche del manufatto e dell'ambiente circostante.

Le informazioni relative all'ambiente circostante saranno infatti funzionali sia alla definizione della tipologia dell'edificio, che alla determinazione delle strategie generali d'intervento, in relazione agli obiettivi posti: se per esempio il manufatto è completamente isolato oppure se è antistante ad una grande piazza, oppure ancora se affaccia su piccole corti interne o vicoli ed è inserito all'interno di un tessuto consolidato, cambieranno le sue esigenze e i suoi scambi con il contesto.

Non sempre però si ha la possibilità di reperire tutte le informazioni necessarie, oppure semplicemente il tipo di intervento da operare non necessita di indagini approfondite, come in altri casi.

A fronte di ciò vengono individuati tre livelli di conoscenza (0-1-2)

e tre rispettive modalità di approccio, funzione del livello di conoscenza dell'edificio su cui si opera.

Tre diversi livelli di conoscenza:

- **Livello 0**

In fase di reperimento dati e analisi dell'edificio si ottengono poche informazioni dovute o a una mancanza di letteratura adeguata (opera edilizia minore) o all'impossibilità di svolgere indagini invasive (bene tutelato).

In questo caso si utilizzano gli edifici di epoche e tipologie edilizie affini per ipotizzare gli elementi che mancano. Ci si confronta con il costruito circostante e con le tradizioni legate alla cultura tecnologica e materica del luogo.

- **Livello 1**

In fase di reperimento dati e analisi dell'edificio vengono raccolte informazioni sufficienti a risalire all'epoca esatta di costruzione ed è possibile ipotizzare con un buon livello di precisione la struttura muraria, le problematiche ad essa connesse e le potenzialità sfruttabili.

- **Livello 2**

In fase di reperimento dati e analisi dell'edificio si ha a disposizione tutto il materiale necessario per ricostruire le fasi costruttive, le tecnologie utilizzate e i materiali. La conoscenza della struttura diventa quasi puntuale. Letteratura e indagini effettuate in situ possono essere confrontate per avere un quadro delle conoscenze completo e altamente affidabile.

In funzione del livello di conoscenza è possibile adottare tre diversi modelli di approccio:

- **Modello tipo-tecnologico**

Le ipotesi di progetto si basano su esperienze già realizzate in contesti simili su edifici che presentano caratteristiche simili o assimilabili a quelle dell'oggetto di studio,

linee guida e best practices, tenendo sempre presente i dati ricavati in fase di analisi. Date le poche conoscenze a disposizione, le scelte vengono validate da esempi virtuosi che hanno dimostrato di poter funzionare in determinati casi.

- **Modello caratteristico**

Le ipotesi di progetto si sviluppano a partire dai dati ricavati in fase di analisi, fermo restando la conoscenza assimilata dalle esperienze virtuose, delle linee guida e best practices di riferimento. La sistematizzazione dei dati ottenuti in fase di analisi permette di fare scelte mirate e puntuali e di sperimentare soluzioni innovative che possano diventare a loro volta esempi virtuosi a cui fare riferimento.

- **Modello misto**

Le ipotesi di progetto sviluppano a partire dai dati ottenuti in fase conoscitiva attraverso analisi dirette, lì dove è stato possibile condurle, e sulla sintesi dei dati conoscitivi derivati dalle fonti a disposizione, al fine di ipotizzare ciò che non è stato possibile reperire sul posto. Valutazione e pesatura delle conoscenze raccolte permette di operare scelte ragionate e calate sul singolo caso.

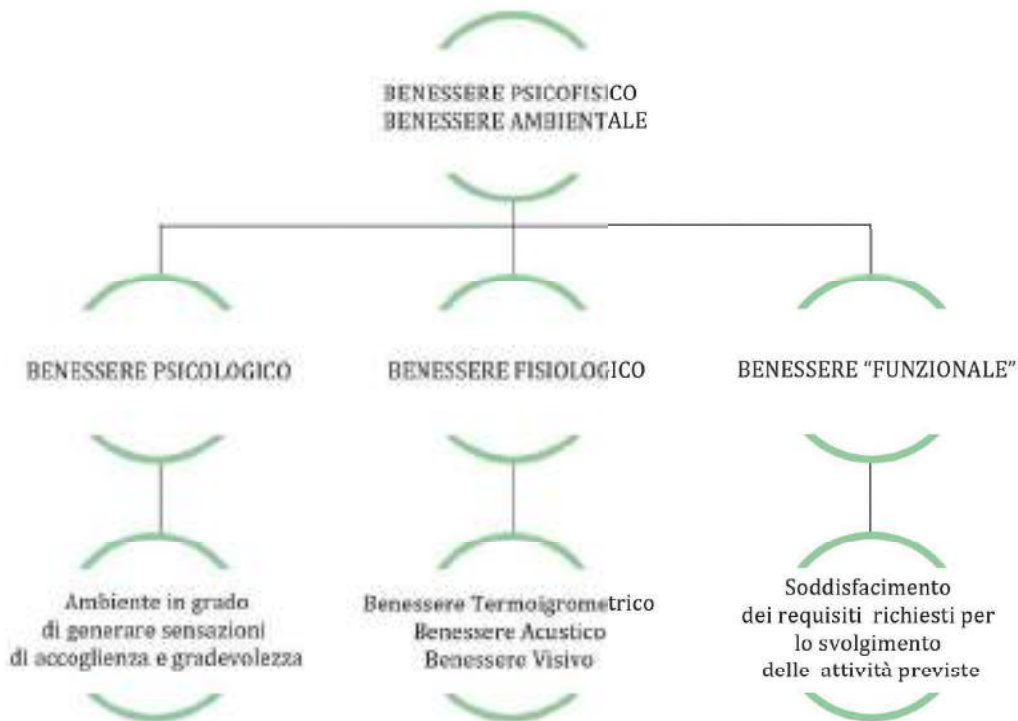
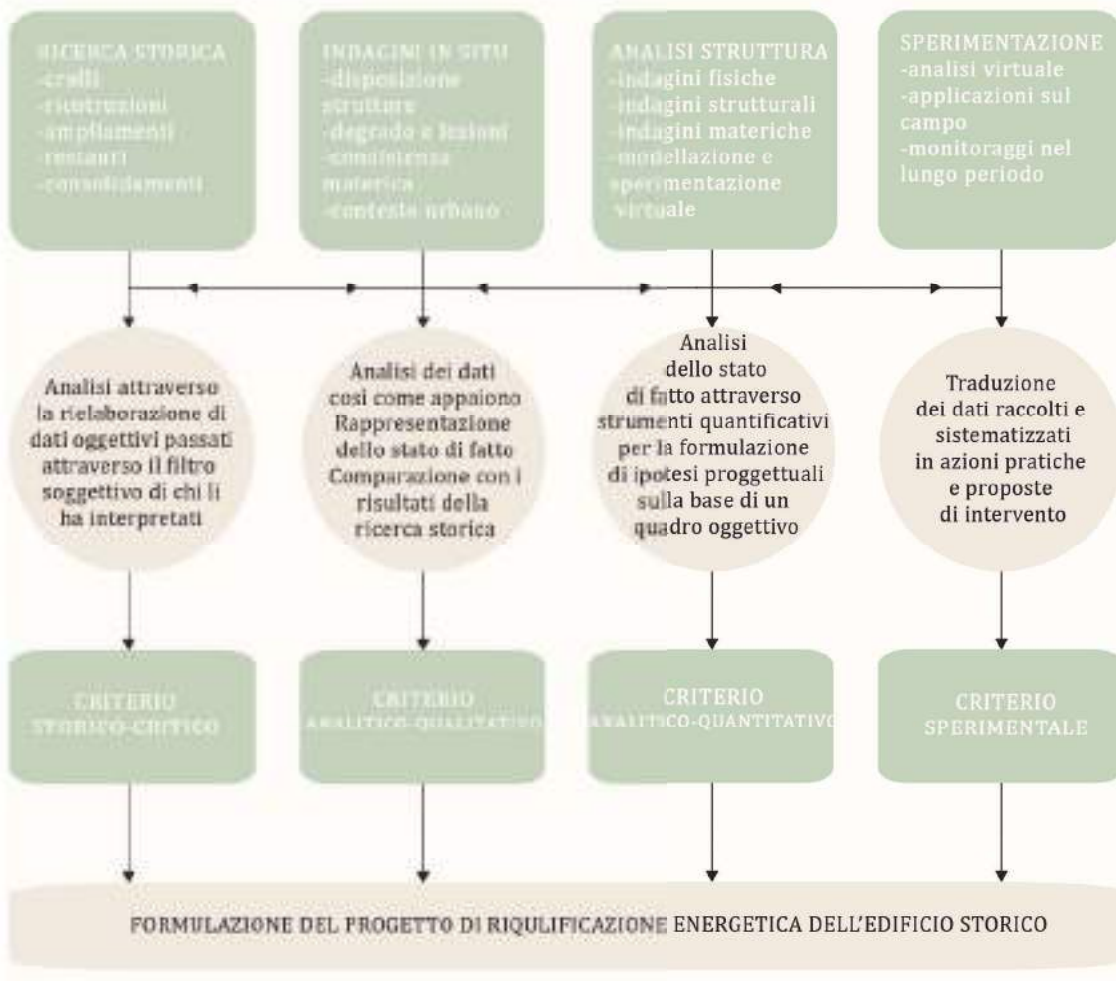
La struttura del sito è pensata in modo tale che seguendo la disposizione delle singole sezioni si può capire fin dall'inizio di quali informazioni abbiamo bisogno e di quali siamo già in possesso. Quindi ci si può collocare all'interno di uno dei livelli di conoscenza e scegliere il modello di intervento più efficace e rispondente alle necessità del caso. In questo modo l'utente viene guidato nel percorso conoscitivo e supportato dal materiale messo a disposizione, come la scheda per il rilievo e la sistematizzazione dei dati raccolti. Come abbiamo visto dall'inizio di questa speculazione teorica, il modo in cui si sceglie di approcciarsi al problema di riqualificazione energetica degli edifici storici pre-industriali determina le scelte operate e le relative ricadute su edificio e contesto limitrofo, ma basarsi solo su esperienze pregresse o esempi virtuosi non determina necessariamente la corretta riuscita dell'intervento, motivo per il quale analizzare a posteriori le proprie scelte, a volte obbligate dal contesto, permette di comprendere potenzialità e anche limiti del metodo proposto. Quindi, ricapitolando, l'involucro edilizio è un elemento architetto-

nico che delimita e conclude perimetralmente una costruzione. E' costituito dalle chiusure verticali (muri di tamponamento e serramenti) e da quelle orizzontali (coperture sia piane che inclinate con eventuali serramenti).

L'involucro edilizio non viene considerato più solo come elemento separatore tra interno ed esterno, ma anche come un elemento progettato sotto l'aspetto energetico. L'efficienza dell'involucro è data dalla capacità di reagire in maniera flessibile al cambiamento delle condizioni climatiche, minimizzando le dispersioni nel periodo invernale e limitando l'innalzamento delle temperature interne nel periodo estivo, migliorando così il confort abitativo. Quindi il fine del progetto sull'involucro è il raggiungimento di un livello ideale di benessere psicofisico e ambientale.

A tal proposito si propongono una serie di aspetti valutativi del progetto:

- Coerenza con gli obiettivi prefissati rispetto al fabbisogno cui ci si rivolge;
- Coerenza del modello operativo rispetto agli interventi prefissati;
- Raggiungimento dei risultati attesi;
- Mantenimento dei risultati attesi nel lungo e nel breve termine;
- Validità scientifica e riconoscimenti del modello di intervento;
- Utilizzo di strumenti di valutazione e monitoraggio quantitativo;
- Multidisciplinarietà del progetto;
- Coinvolgimento degli utenti destinatari;
- Innovatività;
- Valutazione costi-benefici: sostenibilità economica;
- Tempistica delle varie fasi del progetto;
- Esperienze pregresse del team di progettazione.





## ARTICOLAZIONE DI CRITERI E INDIRIZZI METODOLOGICI DI SUPPORTO AL MIGLIORAMENTO ENERGETICO PER EDI- FICI STORICI

### ABSTRACT

Il processo del progetto sull'esistente, finalizzato a conservare il comportamento passivo dell'involucro pre-industriale, si articola in fasi ricorsive e interrelate che pongono al centro la conoscenza come condizione di indirizzo e verifica.

Si è pertanto reso necessario analizzare in modo critico e mettere a sistema le conoscenze e le informazioni raccolte in questa sede, in modo da ottenere degli strumenti in grado di fornire delle indicazioni di massima a utenti e tecnici.

Vengono prima di tutto inquadrare e sistematizzate sulla base delle proprie caratteristiche le tipologie di murature storiche di epoca pre-industriale (o costruite seguendo quel tipo di approccio materico e tecnologico) maggiormente ricorrenti in Italia; nel secondo paragrafo si approfondisce il tema materiali isolanti utilizzabili per intervenire sulle pareti interne degli edifici; infine una scheda di rilevamento dati, non pensata per il tecnico, ma ad uso dell'utente al fine di creare consapevolezza nella coscienza dei fruitori e metterli in condizione di capire e "ascoltare" i bisogni e il ciclo evolutivo dell'edificio, ma soprattutto pensata come storico degli interventi nel caso in cui ci sia bisogno di tornare ad intervenire.

Le murature vengono suddivise in "archetipi" costruttivi, vista l'impossibilità di mappare l'intero territorio e la quantità di manuali esistenti al riguardo. La necessità era quella di mettere a sistema e caratteristiche, i limiti e le potenzialità di ognuna struttura.

Per materiali isolanti l'obiettivo è quello di assicurare la compatibilità materica con la struttura originaria, ma anche cercare di comprenderne produzione, smaltimento, riciclaggio e mantenimento delle prestazioni nel tempo, nell'ottica di progettare interventi che guardino a alla sostenibilità a 360°. I paragrafi si articolano in modo prettamente pratico componendosi di una serie di schede riassuntive e di confronto.



## 8.1. Schedatura e analisi comparativa delle tecniche costruttive

Conoscere la storia delle tradizioni del costruire legate ai luoghi, ai materiali a disposizione, alle maestranze presenti e all'epoca di realizzazione, è il primo passo da cui si muove una progettazione attenta e consapevole.

Porsi in moto attivo e partecipe nei confronti di un edificio storico presuppone uno studio approfondito che non dia mai nulla per scontato, neppure le fonti derivate da letteratura. Sappiamo infatti che molto spesso che in fase di cantiere si prendevano decisioni che deviavano dal percorso stabilito in principio e non sempre si aveva modo o ragione di prenderne nota. Quindi è di estrema importanza avere sempre un approccio molto critico nella fase analitica, tenendo presente che un accurato studio di quelle che erano le "abitudini" di un tempo può aiutare a formulare delle ipotesi che siano il più verosimili possibile.

Come abbiamo visto nei capitoli precedenti, l'uomo fin dall'inizio ha dovuto trovare il modo di fruttare quello che il *genius loci* metteva a disposizione per rendere confortevoli gli ambienti della sua quotidianità.

La non disponibilità delle tecnologie che si sono sviluppate in epoche più recenti ha sempre dato un valore rilevante ai fattori climatici e a come questi influissero sull'edificio a seconda del suo orientamento, della disposizione delle stanze, ma anche dei materiali e dei colori di finitura utilizzati. Nulla era lasciato al caso, ma si inseriva in un più grande equilibrio che è quello del sistema ambiente.

La muratura è quindi un sistema molto eterogeneo e ricondurla a delle semplici categorie equivale ad attribuirgli dei valori indicativi, che non sempre trovano riscontro nella realtà dei fatti. Altrettanto impensabile sarebbe tentare di schedare tutti i tipi di muratura esistenti. Sarebbe un lavoro lungo e che probabilmente non avrebbe mai una fine certa.

Gli stessi materiali derivano da un processo produttivo non industrializzato, per cui due pietre apparentemente simili potrebbero avere caratteristiche diverse e quindi non rispondere allo stesso modo a input esterni e sollecitazioni dovute al passaggio del tempo.

1. M. Losasso, *Contesti storici e progettazione contemporanea: l'innovazione tecnologica fra memoria e modificazione*, *Technè*, 12, 2016, p. 7.  
2. <http://arceweb.polito.it/ricerca/episcope/tabula/>

Per questi motivi appena descritti non vi è la pretesa in questo capitolo di dare risposte certe ed esaustive, ma si vuole proporre un metodo di valutazione delle tipologie murarie sulla base di quelle che sono le informazioni a nostra disposizione, che possa guidare il progettista nella definizione dell'intervento più opportuno.

Al fine di svolgere una corretta previsione sia delle proprietà meccaniche che di quelle materico costruttive della muratura è sempre consigliabile svolgere delle indagini strumentali direttamente sul manufatto, ma sappiamo che l'invasività di alcuni metodi di analisi è una strada non sempre percorribile, motivo per il quale la letteratura rimane la prima fonte da cui partire in ogni caso.

Nello specifico lo studio dei caratteri geometrici e/o di quelli chimico-fisici può non essere facile o del tutto soddisfacente se svolto solo a livello di ipotesi e sicuramente la possibilità di effettuare dei carotaggi o delle indagini endoscopiche sarebbe la condizione ottimale per fugare qualsiasi dubbio riguardo la struttura che stiamo analizzando.

Purtroppo però spesso per motivi legati alla struttura in se (vedi pareti decorate o affrescate) e al regime vincolistico vigente su di esse, accade non di rado di non poter fare affidamento alle più moderne e sofisticate tecnologie di indagine e dover procedere, supportate da opportuna documentazione, analisi svolte su edifici simili, della stessa area, della stessa epoca o, se si conosce il progettista, dello stesso autore.

In linea con gli obiettivi posti per lo sviluppo della piattaforma web, in questo capitolo si è cercato di mettere a punto un sistema di schedatura dei sistemi murari pre-industriali, che cerchi di individuarne le peculiarità comuni e allo stesso tempo sottolinearne le varie declinazioni.

Come visto in precedenza, non è sempre semplice capire con che tipo di struttura muraria si a che fare e alcune volte si lavora principalmente per ipotesi. Anche il processo di ipotesi deve essere svolto in modo corretto e seguire una logica, che prevede l'analisi di determinati fattori per arrivare a formulare delle previsioni che siano il più possibile vicino alla realtà. Le schede che seguono vogliono mettere a sistema quell'insieme di contenuti che è necessario vagliare per decidere in che categoria il nostro sistema costruttivo va collocato.

La schedatura proposta prende in considerazione 6 macro categorie con le quali è possibile raggruppare i sistemi costruttivi dal punto

di vista della tecnologia utilizzata per realizzarli, premettendo che ogni categoria e la relativa rappresentazione grafica sono solo degli esempi generici e non rappresentano tutte le casistiche.

Vi sono quindi 6 sistemi costruttivi:

- Muratura a sacco;
- Muratura dal nucleo costipato;
- Muratura dal nucleo ammorsato;
- Muratura in blocchi di pietra squadrati;
- Muratura mista pietra e laterizio;
- Muratura in laterizio.

Di ognuna viene analizzato il tipo nucleo, che ci aiuta a capire in che modo i vari elementi sono tenuti insieme tra loro; poi vengono analizzate le dimensioni degli elementi, che ci permette di capire il grado di coerenza della struttura muraria, la compattezza o la presenza di eventuali vuoti al suo interno, e la funzione svolta dalla malta (allettamento, stilatura, riempimento) o eventualmente la sua assenza. Altro aspetto importante è il paramento esterno. Quando infatti dobbiamo capire con che tipo di muratura abbiamo a che fare è quello che ci dà le prime informazioni. Che sia a vista, quindi visibile senza ulteriori indagini o intonacato, e quindi indagabile tramite indagine termografiche, il paramento esterno mette in evidenza il tipo di tessitura con cui sono stati posizionati i blocchi. Essendo tecnologie non standardizzate molto spesso anche lo stesso tipo di tessitura può presentare più varianti; se prendiamo per esempio una muratura irregolare con ricorsi orizzontali, questi potranno essere in pietra come il resto del paramento o con una pietra differente per composizione e colore o in laterizio. Ciononostante faremo riferimento sempre a quella macro categoria.

Infine la scheda propone due sezioni evidenziate con colori differenti in cui si invita a riflettere sulle condizioni della muratura per fare due tipi di valutazioni: una di tipo conservativo e una relativa a interventi di consolidamento precedentemente effettuati.

Infatti conoscere lo stato conservativo della struttura è importante per valutare in che modo intervenire e se sono necessarie delle preventive operazioni di restauro conservativo o consolidamento. Progettare interventi per un edificio che non è in grado di supportarli creerebbe solamente dei danni irreparabili e irreversibili.

Gli interventi di consolidamento pregressi riguardano invece un aspetto molto importante nel momento in cui ci troviamo ad opera-

re su degli ibridi. Capita spesso di trovare edifici esistenti che hanno subito danni in seguito ad eventi naturali come il sisma o più semplicemente non erano stati costruiti con materiali resistenti e quindi questo ha accelerato il processo disgregativo o ancora la cattiva manutenzione e l'esposizione alle intemperie non ha consentito il giusto livello di conservazione. Per questi motivi è basilare sapere cosa è stato fatto, in che periodo storico, con che materiali e con quali tecniche.

Le schede individuano sei tipologie di interventi che sono spesso messi in opera:

- **Scuci e cuci**

L'operazione di rafforzamento con la tecnica del scuci e cuci si divide in tre fasi. Nella prima viene eliminato il vecchio intonaco per mettere a nudo la muratura, nel caso in cui non fosse già a vista. Nella seconda vengono asportati gli elementi di muro interessati in quanto lesionati o degradati e quindi meccanicamente non più resistenti; in questo modo si formerà un vano in cui avverrà l'inserimento di nuovi elementi murari (solitamente mattoni pieni), avendo cura di rendere abbastanza omogenea la fusione tra muratura vecchia e nuova e utilizzando una malta per composizione simile a quella esistente. Infine viene ricoperto il tutto nuovamente con l'intonaco;

- **Stilatura dei giunti**

operazione che consiste nel rifinire nella parte esterna le connessioni tra i mattoni o tra le pietre di una muratura, riempiendo dapprima gli spazi vuoti con malta e poi passando un ferro nelle connessioni medesime in modo da togliere le sbavature e formare un piccolo solco ben delineato;

- **Iniezioni di malta o resina, con o senza armatura**

Consiste nell'eseguire una serie di fori sul perimetro murario ad una data distanza l'uno dall'altro e nell'inserirvi dei tubicini in cui verrà iniettata malta o resina a seconda della necessità. Spesso le iniezioni sono armate per conferire maggiore stabilità alla struttura;

- **Intonaco armato**

La tecnica dell'intonaco armato con rete elettrosaldata e betoncino consiste nella realizzazione di due lastre in calcestruzzo armate con armature metalliche, disposte sulle superfici delle pareti e collegate

fra loro con barre passanti attraverso la muratura. È possibile anche utilizzare una rete in fibra e un intonaco in calce riducendo spessori e rigidità rispetto alla prima ipotesi;

- **Cordolo in muratura o c.a.**  
Elemento in muratura o calcestruzzo a sezione quadra o rettangolare, inserito orizzontalmente per rinforzo lungo lo spessore dei muri perimetrali portanti di una costruzione;
- **Presenza di catene**  
Questo intervento prevede l'inserimento di tiranti all'interno delle pareti perimetrali per ristabilire il comportamento scatolare della muratura, compromesso dai carichi di punta sovrastanti non ben distribuiti o da cedimenti nei collegamenti tra i setti in seguito a degrado o eventi naturali disastrosi (sisma).



### **CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE**

Apparecchiatura/Organizzazione della muratura

Regolarità della disposizione dei giunti verticali e orizzontali (allineamento giunto verticale, orizzontalità del giunto)



### **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE**

Dimensioni blocco

Dimensione giunto orizzontale



### **CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE**

Composizione/tipo della malta di allettamento

Composizione e tipo del blocco



### **CARATTERISTICHE DEL DEGRADO**

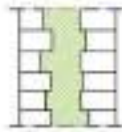
Stato di conservazione del giunto (livello di coesione e grado di riempimento)

Stato di conservazione del blocco (esfoliazione, scagliatura, erosione, fratturazione)

# GUIDA ALLA LETTURA DELLE SCHEDE

## LAVORAZIONE

### Nucleo



Gettato



Costipato  
(in parte gettato  
e in parte incastrato)



Incastrato

### Elementi



Materiale  
di recupero



Blocchi



Bozze



Conci

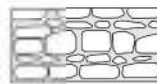


Laterizi

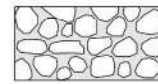
### Apparecchiatura



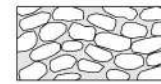
Irregolare



Filari  
con zeppe



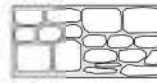
Irregolare con  
ricorsi orizz.



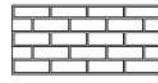
Filari ondulati



Filari  
orizzontali



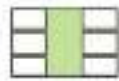
Filari sdoppiati  
o convergenti



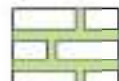
Filari regolari

## MALTA

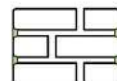
### Funzione



Rimepimento



Allettamento

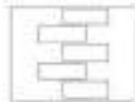


Stilatura

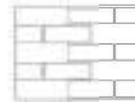


Assente

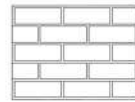
## STATO DI CONSERVAZIONE



Incoerente

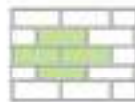


Friabile

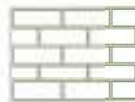


Tenace

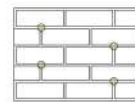
## INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO



Scuci-cuci



Stilatura dei  
giunti



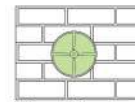
Iniezioni di  
malta




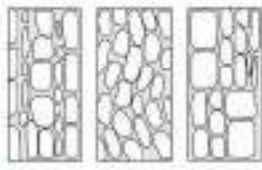





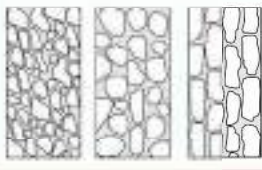
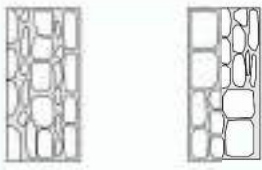





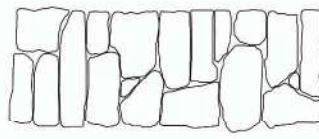
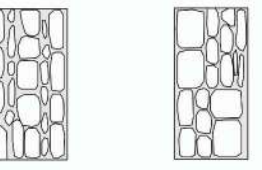

Intonaco  
armato



Cordolo in  
muratura o c.a.



Tiranti

TIPOLOGIA MURARIA	LAVORAZIONE				MALTA	STATO DI CONSERVAZIONE	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO
	Nucleo	Elementi	Apparecchiatura				
<b>A SACCO</b> 	  	  	  	  	  	  	  
<b>COSTIPATA</b> 	  	  	  	  	  	  	  
<b>AMMORSATA</b> 	 	 	 	 	 	 	 

TIPOLOGIA MURARIA	LAVORAZIONE			MALTA	STATO DI CONSERVAZIONE	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO
	Nucleo	Elementi	Apparecchiatura			
PIETRA QUADRATA						
MISTA						
LATERIZIO						



## 8.2 Schedatura e analisi comparativa dei materiali per l'intervento di isolamento

Con l'avvento dell'industrializzazione, dello sfruttamento del petrolio e di un'economia industriale, l'equilibrio e la sostenibilità dei vecchi modelli di vita è andata via via modificandosi. Questo ha contribuito ad un impoverimento delle risorse, all'inquinamento e al degrado ambientale di terra, aria e acqua, diretta conseguenza dello sfruttamento intensivo e talvolta non ben regolato dell'ambiente naturale. A questo va anche sommato l'effetto omologante che l'era del petrolio ha prodotto nel settore architettonico, che se per certi versi ha prodotto dei risultati positivi, troppo spesso ha portato alla perdita delle identità locali a favore di un sistema costruttivo standardizzato, che poco si curava del rapporto con l'ambiente e delle conseguenze a livello climatico.

Sarà solo con il movimento ambientalista degli anni '60 che si inizierà a prendere coscienza che l'utilizzo delle risorse naturali a nostra disposizione stava aumentando a un livello tale da non essere sostenibile, tanto che nel 1972 alla prima conferenza ONU sull'ambiente viene introdotto il concetto di sostenibilità, definito con chiarezza solo nel 1987 con il rapporto Brundtland quando si inizierà a parlare di sviluppo sostenibile.

In architettura la sostenibilità non è una disciplina, ma un differente modo di definire e articolare le fasi dei processi di fattibilità architettonica. Esige infatti una complessa gestione dei differenti elementi edilizi ed una loro contestualizzazione, ossia un riferimento alle storie locali (Giuffrè, 1995).

Ecco dunque che quando interveniamo su un edificio esistente il problema che ci poniamo è come coniugare con tecnologie di oggi processi progettuali contestualmente collocati (Trombetta, 2002). Per cui il processo di conoscenza dell'edificio diventa la condizione necessaria affinché si possa scegliere la corretta procedura di intervento e valutarne preventivamente l'invasività.

Nei capitoli precedenti è stata presentata la possibilità di intervenire; nei casi in cui non vi siano delle superfici da conservare, sulla parete interna del paramento murario attraverso l'applicazione di

4. Fonte: F.I.V.R.A. l'associazione italiana dei produttori di lane minerali. [http://www.fivra.it/f/documenti/approfondimenti/durabilita/2016-04-27%20FIW%20-%20E3%203-2016\\_01%20EURIMA%20Brussels%20-%20Durability%20Project%20Miner....pdf](http://www.fivra.it/f/documenti/approfondimenti/durabilita/2016-04-27%20FIW%20-%20E3%203-2016_01%20EURIMA%20Brussels%20-%20Durability%20Project%20Miner....pdf)

Una determinata quantità di materiale è stata estratta dalla costruzione e correttamente imballata (operazione importante ai fini della valutazione dell'umidità del prodotto) sotto la supervisione di un istituto esterno. In parallelo alla preparazione dei campioni da analizzare, l'istituto ha monitorato le condizioni del cantiere e ha predisposto tutta la necessaria documentazione. I campioni sono stati inviati a

Monaco, dove le misure si sono effettuate prima possibile per evitare ogni cambiamento nella lana minerale. FIW ha analizzato la prestazione termica del prodotto, così come l'umidità e la prestazione meccanica.

Il progetto ha analizzato prodotti provenienti da sette diversi edifici europei, tutti costruiti tra 20 e 55 anni fa. Quattro prodotti erano stati utilizzati per l'isolamento di pareti e tre per le coperture.

La conduttività termica misurata è risultata compresa tra 0,032 e

0,038 W/m<sup>2</sup>k, mostrando che, dopo decenni, la prestazione del prodotto è addirittura leggermente migliorata rispetto al valore originariamente dichiarato. Anche le proprietà meccaniche dei prodotti per copertura sono risultate in linea con le aspettative, tanto che non vi è alcuna preoccupazione per l'integrità strutturale del sistema. L'analisi del contenuto di umidità della lana minerale ha mostrato un contenuto di umidità ben inferiore all'1% in massa. Il progetto ha mostrato che le proprietà termiche della lana minerale non decadono nel tempo e che le costruzioni mantengono le attese prestazioni anche dopo 50 anni, se l'installazione è effettuata secondo le indicazioni del produttore.

5. Per approfondimenti vedere la ricerca Prodotti e Processi per il riutilizzo di materiali di scarto, di materie prime naturali: lana, cellulosa, biomasse etc., Dott. Annalisa Aluigi - CNR ISMAC, Biella 2010

uno strato isolante. L'isolamento dall'interno, rappresenta appunto una possibilità alternativa nei casi in cui non si possa intervenire attraverso la realizzazione di un cappotto esterno, ma, sia a livello di spazialità che a livello di compatibilità materica, è una scelta che va valutata molto attentamente.

Il panorama di materiali isolanti che oggi abbiamo a disposizione è veramente molto vasto e il tecnico può trovarsi a volte in difficoltà nella scelta della soluzione più opportuna o non conoscere tutto quello che il mercato offre. In linea con quelle che sono le indicazioni Comunitarie, sempre maggiore è la ricerca rivolta a cercare soluzioni che oltre ad essere ogni volta più performanti, riescono anche ad ottenere buoni risultati con ridottissimi spessori. Un esempio è proprio l'aerogel, materiale trasposto in edilizia derivante dal campo aerospaziale. Non sempre però innovazione, diffusione del materiale sul mercato e sostenibilità vanno di pari passo.

A tale proposito è sembrato opportuno selezionare e valutare una serie di materiali isolanti, nei limiti del possibile vista l'enorme quantità di prodotti a disposizione e considerato il fatto che il medesimo prodotto da una casa produttrice ad un'altra presenta a volte caratteristiche leggermente differenti.

I 20 materiali scelti sono di origine diversa e cercano di coprire tutte le tipologie oggi presenti, quindi da quelli di origine sintetica, a quelli di origine animale fino ai compositi. Una delle discriminanti principali per la selezione era la possibilità di usare all'interno l'isolante senza avere troppi problemi legati alla formazione di umidità e condensa, che recherebbe danno alla superficie muraria sottostante.

Dopo una breve descrizione di ognuno, le cui fonti sono state case schede tecniche e documenti messi a disposizione da centri di produzione, seguiranno delle schede in cui si è deciso di scegliere dei parametri in base ai quali valutarne sostenibilità, livello di prestazioni, durabilità nel tempo e compatibilità materica. La sostenibilità è vista nella sua totalità, ovvero sia dal punto di vista dell'energia impiegata nel processo di produzione, che di reperibilità dei materiali, che del ciclo di vita e dell'impatto sulla salute dell'uomo.

Viene per questo motivo anche indicato se il materiale è riutilizzabile, riciclabile, combustibile ed ecologico, ovvero se rispetta l'ambiente e non rilascia sostanze tossiche, nocive o inquinanti.

Undici dei materiali qui riportati sono stati in un secondo momento testati tramite il software di simulazione termo-igrometrica su quattro tipi differenti di pareti.

#### VETRO CELLULARE ESPANSO

Il vetro cellulare espanso è un materiale a cellula chiusa, composto per il 660% da vetro riciclato e per la restante percentuale da sabbia quarzosa alla quale vengono addizionate altre sostanze come carbonato di calcio, teldspato potassico, ossido ferroso, carbonato di sodio.

Per ottenere il vetro cellulare occorre macinare insieme il vetro riciclato e la sabbia quarzosa, aggiungere polvere di carbonio e poi fondere il tutto a 1250 C° circa. Questo processo tecnico provoca la formazione di un gas che espandendo la massa e dà vita alla così detta "struttura alveolare", caratteristica dei materiali termoisolanti minerali. Essendo molto resistente agli agenti atmosferici è utilizzato soprattutto all'esterno, ma le sue caratteristiche permettono di utilizzarlo in qualsiasi zona della casa in quanto non aggrava assolutamente la struttura e reagisce bene alla presenza di umidità.

Infatti è stagno a vapore ed acqua, leggero, traspirante, non putrescibile, stabile nel tempo e resistente a muffe, insetti e roditori. Data la sua natura minerale, è incombustibile e non emette fumi tossici in caso di incendio.

Il dispendio di energia nella fase di produzione è elevato, ma è possibile recuperare energia tramite il riutilizzo del calore prodotto in fase di fusione ed espansione. La longevità dei pannelli si ripercuote positivamente sul bilancio energetico complessivo.

La scelta di utilizzare collanti caldi a base di bitume o collanti emulsionanti comporta uno svantaggio ecologico, sistemi di montaggio alternativi potrebbero ovviare alla problematica. Non è possibile quindi riutilizzare il vetro cellulare trattato con collanti, mentre quello puro può essere riciclato senza alcun problema.

#### LANA DI ROCCIA

La lana di roccia è composta per il 97% da diabase, basalto e dolomite. La roccia viene fusa ad una temperatura di circa 1400 °C e quindi filata in fibre minerali artificiali. Per ottenere una stabilità di forma le fibre vengono miscelate con il legante, bakelite, che solidifica a contatto con un flusso di aria calda. La quantità del legante può variare e in relazione a ciò possono verificarsi concentrazioni di formaldeide.

Come la lana di vetro, risulta buona la resistenza all'invecchiamento e la stabilità nel tempo, ma deve essere ben protetta contro l'umidità. Non è infiammabile, resiste a parassiti e non è putrescibile.

Le materie prime con cui viene realizzata sono disponibili in quan-

tà praticamente inesauribile e l'inquinamento ambientale provocato dalla produzione riguarda soprattutto il dispendio di energia necessario per la fusione delle sostanze minerali di partenza.

Le polveri di fibra minerale artificiale sono oggetto ancora di discussione a livello internazionale a causa del loro possibile potere cancerogeno, ma sulla base delle conoscenze scientifiche attualmente disponibili non sembra esseri rischio per la salute.

Se il materiale non è impregnato di umidità o contaminato è possibile riutilizzarlo.

#### **LANA DI VETRO**

La lana di vetro, così come la lana di roccia, viene a volte definita semplicemente come materiale isolante a base di fibre minerali, in quanto prodotti molto simili.

La lana di vetro è composta fino all'80% di vetro riciclato, cui si aggiungono silice (sabbia), calcare, carbonato di sodio e boro. La fusione del composto avviene alla temperatura di circa 1400°C. Il magma quindi passa in una centrifuga dove avviene la produzione delle fibre vere e proprie, che vengono successivamente legate con resine termoindurenti e convogliate su nastri trasportatori. Il successivo passaggio in un forno porta alla polimerizzazione delle resine. I manufatti ottenuti possono dunque essere accoppiati con eventuali rivestimenti. A seguire la fase di taglio, finitura e imballaggio. Il colore varia in base al legante utilizzato.

EURIMA (European Insulation Manufactures Assosation), l'associazione dei produttori europei di lana minerale, ha ultimato un ampio progetto europeo per valutare il mantenimento nel tempo delle prestazioni della lana minerale, installata, con diverse tipologie, in diversi edifici. La necessità di uno studio dettagliato sulla durabilità della lana minerale è sorta per rispondere alle istanze del Life Cycle Assessment dell'edificio e del mercato, che richiede prodotti da costruzione con una elevata durabilità.

La letteratura esistente si occupa però della valutazione degli edifici danneggiati e dei relativi dettagli costruttivi, ma non dei sistemi tecnologici in esso contenuti.

EURIMA ha dunque realizzato uno studio sulle costruzioni con più di 20 anni e si è avvalsa dell'autorevole FIW (Forschungs Institut für Wärmeschutz) di Monaco per una valutazione indipendente del cantiere e del suo contesto, della struttura e delle prestazioni tecniche della lana minerale installata.

I risultati hanno mostrato che la lana minerale ha una elevata dura-

bilità. La campionatura ha anche messo in evidenza il mantenimento della piena funzionalità delle costruzioni, senza alcun vizio legato all'isolamento termico. Alcuni parametri, come la conduttività termica, hanno mostrato valori migliori di quelli nominali. L'analisi delle proprietà termiche nel tempo non ha mostrato alcun decadimento nel corso del tempo.

#### CALCIO SILICATO

Il calcio silicato (o silicato di calcio) è un materiale isolante che ha interessanti caratteristiche; viene prodotto miscelando in autoclave sabbia quarzosa, calce e cellulosa.

Dal processo di lavorazione di questi materiali si ottengono delle lastre leggere, incombustibili, con notevoli capacità di assorbimento dell'acqua e biologicamente inerti che non contengono fibre pericolose per la salute umana. Il silicato di calcio non è soggetto a putrefazione e non viene attaccato né dagli insetti né dai roditori.

Il calcio silicato è un buon termoisolante che viene utilizzato sia per il risanamento di locali molto umidi e per l'eliminazione delle muffe, sia per la realizzazione di isolamenti dall'interno (cappotti traspiranti interni).

La particolare struttura del silicato di calcio, molto porosa, permette la regolazione dell'umidità ambientale; di fatto il silicato di calcio assorbe l'acqua in eccesso per cederla quando il tasso di umidità è scarso.

Il calcio silicato non è soggetto a degradazione, mantiene inalterate le sue caratteristiche e ha una notevole aspettativa di vita (superiore ai 50 anni).

Il silicato di calcio può essere applicato su tutti i tipi di muratura senza che sia necessario ricorrere a strutture di supporto; è sufficiente utilizzare un apposito collante traspirante.

L'applicazione sulle pareti può essere effettuata sia che esse siano intonacate sia che siano grezze.

I materiali applicati sulle lastre di silicato di calcio (per esempio intonaco, colori o carta da parati) devono essere traspiranti affinché non vengano alterate le proprietà di regolazione del clima che caratterizzano il materiale in questione.

I pannelli di calcio silicato non devono essere confusi con quelli in idrati di calcio silicato che hanno diversa composizione e diverse caratteristiche.

L'inquinamento ambientale provocato dalla relativa produzione riguarda soprattutto il consumo di energia necessario per il processo

in autoclave. Il prodotto può essere riciclato solo parzialmente, infatti il silicato di calcio è considerato una maceria edile e pertanto conferire in discarica i resti e gli scarti.

#### AEROGEL

L'isolante Aerogel è un materiale solido ed allo stesso tempo molto leggero, con una densità di circa 100-150 kg/m<sup>3</sup>; può presentare una base di silice, alluminio, cromo o stagno, anche se in edilizia attualmente si utilizza principalmente l'Aerogel di silice. Deriva da un gel nel quale la componente liquida è stata sostituita da aria: la percentuale di vuoto al suo interno varia tra il 97% ed il 99% ed i valori di conducibilità termica ottenibili sono molto bassi, in quanto questo materiale sfrutta al meglio le proprietà isolanti dell'aria ferma contenuta all'interno delle sue cavità. Questo materiale, scoperto già nel 1930, è da tempo utilizzato come isolante termico in ambito aerospaziale, automobilistico, navale, nell'ingegneria fisica e nell'industria dell'abbigliamento per climi molto rigidi. Solamente di recente si è riuscito a ridurre il suo costo di produzione a livelli accettabili, permettendone l'uso in alcune applicazioni nel settore edilizio.

Questo materiale è stato proposto come isolante termico non solo per pareti, ma anche per coperture e solai. Inoltre visto il suo ridotto spessore (da 5 a 40 mm di spessore), è particolarmente indicato per gli interventi di riqualificazione.

Tuttavia, quasi sicuramente il materassino o il pannello in isolante Aerogel dovranno essere accoppiati ad una membrana al vapore, perché altrimenti è assai probabile la formazione di condensa all'interfaccia fra isolante e muratura.

#### PERLITE

La perlite è una varietà specifica di roccia vulcanica effusiva, in particolare è un vetro vulcanico la cui struttura è formata da piccole sfere. La perlite espansa si ottiene attraverso un processo che sottopone la perlite, opportunamente frantumata, ad alte temperature (850-1000°C), ciò determina l'evaporazione dell'acqua in essa contenuta provocando un'espansione delle pareti vetrose e un conseguente aumento di volume del granulo fino a 20 volte il suo volume iniziale. Il colore della perlite espansa è sempre bianco. La sua struttura cellulare, costituita da microcavità chiuse non comunicanti tra loro e con l'esterno, ne determina l'impermeabilità all'acqua e il potere isolante. È un materiale con buone proprietà termoisolanti e

fonoassorbenti, è incombustibile e non emette fumi tossici in caso di incendio, non contiene sostanze nocive per la salute, è inerte, stabile nel tempo, inattaccabile da parassiti.

Il materiale sfuso è riutilizzabile unicamente come inerte per calcestruzzo. Il consumo di energia per il processo produttivo è di circa 200 kWh/m<sup>3</sup>. Le polveri che possono sollevarsi durante la sua posa in opera possono provocare un'irritazione meccanica per pelle, occhi e vie respiratorie. Come tutti i materiali di origine vulcanica può avere una radioattività residua; durante il processo produttivo della perlite espansa, dalla frantumazione alla cottura, come pure durante la fase di messa in opera, non si riscontrano emissioni VOC (Volatile Organic Compounds).

#### VERMICULITE

La vermiculite è una roccia di origine vulcanica costituita da silicato di alluminio e magnesio idrato con tracce di ossido di ferro, ed è una variazione morfologica della mica. Il minerale grezzo viene frantumato, macinato e sottoposto ad elevate temperature (100°C) che provocano l'evaporazione dell'acqua in essa contenuta e l'espansione del granulo. Si ottiene così una struttura cellulare costituita da microcavità chiuse non comunicanti tra loro e con l'esterno, che ne determina l'impermeabilità all'acqua e il potere isolante. Si presenta sotto forma di granuli irregolari commercializzati in diverse granulometrie.

Le sue caratteristiche sono principalmente quelle di essere un materiale capace di regolare l'umidità, traspirante, con buone proprietà termoisolanti e fonoassorbenti, incombustibile, esente da impurità e privo di sostanze nocive per la salute, inerte, inattaccabile da parassiti ed insetti, stabile nel tempo.

Come tutti i minerali di origine vulcanica è a rischio di radioattività naturale. Il consumo di energia per il processo produttivo è di circa 200 kWh/m<sup>3</sup>. Il materiale sfuso è riutilizzabile unicamente come inerte per calcestruzzo.

#### POLISTIRENE ESPANSO\_EPS

I componenti base del polistirolo espanso, benzolo ed etilene, vengono ricavati dal petrolio e metano e da questi viene prodotto in diversi stadi lo stirene. Con l'aggiunta di pentano e di altre sostanze anti infiammabili lo stirene viene trasformato in polistirolo mediante polimerizzazione, durante questo processo si verificano emissioni di idrocarburi e in questo contesto il pentano contribuisce alla

formazione dell'ozono presente al livello del suolo. L'eventuale colore grigio dei pannelli è dato dall'aggiunta di polvere di grafite.

Le proprietà termoisolanti sono buoni e la durata dei pannelli installati conformi alle norme e alle omologazioni vigenti dovrebbe essere più di 30 anni.

La produzione del materiale è relativamente inquinante se confrontata con altri materiali isolanti definiti "naturali".

Può essere riciclato in forma pura, una circostanza rara in edilizia. Può essere invece riutilizzato in vari modi come per esempio come inerte leggero di malte per intonaci coibenti e caldane e per calcestruzzi alleggeriti.

#### **POLISTIRENE ESTRUSO\_XPS**

Come per la produzione dell'EPS, lo stirene grezzo viene prodotto in diversi stadi dal petrolio. Il polistirolo liquido viene però in questo caso estruso con propellenti e pressato attraverso degli ugelli a fessura larga formando delle lastre. Attualmente come propellente si utilizza la CO<sub>2</sub> sottratta all'atmosfera o ricavata quale sottoprodotto da altri processi di fabbricazione.

#### **SUGHERO**

Il sughero grezzo si ricava dalla corteccia dell'omonima quercia.

Oggi i pannelli in sughero vengono prodotti in versione espansa senza aggiunta di altre sostanze, ovvero in forma pura. La corteccia viene macinata e il granulato ottenuto è poi cotto all'interno di appositi serbatoi a pressione con vapore acqueo della temperatura di circa 370 °C. durante questo processo il sughero si espande da un 20% a un 30% e viene legato dalla propria resina.

I pannelli presentano buone proprietà termoisolanti ed elevata capacità di accumulo di calore. Sono relativamente insensibili all'umidità e in caso di accumulo perdono poco del loro effetto isolante. Non sono attaccati da insetti o funghi, e risulta difficilmente infiammabile.

Il dispendio di energia durante la produzione è molto ridotto e legato alla coltivazione della quercia da cui è ricavato. La sostenibilità però dipende dal fatto che la scortecciatura avviene ogni 10 anni circa ed è regolata da disposizioni di legge, per cui non è considerata un materiali le cui scorte a disposizione sono illimitate.

#### **FIBRA DI LINO**

Per la fabbricazione del materiale isolante si usano le fibre corte del

lino. Dopo la pulitura e la separazione in fibre singole si applicano diverse procedure per evitare lo schiacciamento del materiale. Può infatti essere integrato fino ad un 20% con fibre tessili di poliestere oppure si possono incollare le fibre con la fecola di patate. Per rendere poi il prodotto resistente al fuoco e ai parassiti vi vengono addizionati dei composti di bromo e fosfato di ammonio (la percentuale varia a seconda del produttore).

Uno dei vantaggi del lino è che può assorbire umidità senza risultare danneggiato.

Il lino è considerata una materia prima rinnovabile, la cui produzione risulta altamente sostenibile. Infatti dal punto di vista ecologico il lino è una pianta adatta per la rotazione delle colture e non necessita di alcun concime artificiale. Le fibre lunghe sono quelle che vengono utilizzate per il settore tessile mentre quelle corte sono ideali per la fabbricazione dell'isolante. Inoltre a fine utilizzo il materiale può essere riutilizzato per produrre nuovo isolante. Potrebbe essere utilizzato anche per il compostaggio a patto che non contenga fibre in poliestere, perché non si decompongono. Così come i prodotti impregnati di sale di boro, in quanto rilascerebbero nell'ambiente sostanze nocive inammissibili.

Ad oggi è un prodotto molto interessante, ma il fatto di possedere molto spesso fibre plastiche non lo rende effettivamente un'alternativa naturale.

#### FIBRA DI MAIS

La fibra di mais viene ricavata dai chicchi di mais e costituiscono la base di una famiglia di prodotti caratterizzati da un eco-bilancio molto positivo. Essa si ricava dall'estrusione e successiva filatura dell'acido polilattico (PLA, polimero dell'acido lattico), ottenuto dalla fermentazione controllata delle pannocchie per effetto del Sole direttamente in loco. In seguito la materia prima viene sottoposta a una seconda fase di lavorazione di cardatura, faldatura e termolegatura. Inviato ai caricatori delle carde i fiocchi vengono trasformati in veli sottili. Sovrapposti a più strati per formare lo spessore desiderato vengono posti in forni a 160 °C. La termolegatura permette la miscelazione di fibre normali (al 70%) con fibre costituite da un'anima di acido polilattico normale e un rivestimento esterno di acido polilattico modificato per formare dei pannelli di spessore e densità desiderate. In alcuni casi, poi, l'acido polilattico PLA derivato dal mais, viene utilizzato anche come legante nella produzione dei pannelli isolanti in lana di pecora

La fibra di mais è resistente all'azione degli insetti, insolubile in acqua, ma è solubile al contatto con acidi forti, basi forti e sostanze ossidanti.

Si tratta di un prodotto naturale ed ecocompatibile per l'intero ciclo della sua vita, riutilizzabile se ben conservato e integro e riciclabile. L'eventuale smaltimento di questo isolante è lo stesso della frazione umida del rifiuto domestico, compostaggio. È biodegradabile al 100% ed è stato dimostrato che sotto l'azione dei microrganismi naturalmente presenti in acqua di mare e nel terreno si trasforma in anidride carbonica e acqua in 3 mesi circa.

#### FIBRA DI CANAPA

La canapa è una delle piante maggiormente coltivate fin dall'antichità. In tre mesi riesce a raggiungere un'altezza di quattro metri e le sostanze amare che contiene la rende particolarmente resistente ai parassiti, pertanto non è necessario utilizzare pesticidi o erbicidi. Per garantire una forma stabile alcune volte è integrata con delle fibre di poliestere per un 10/15% come supporto. Altre volte la troviamo unita a della lana di pecora in percentuali variabili dal 3 al 10 %.

La fibra di canapa riesce ad assorbire umidità fino ad un terzo del proprio peso netto ed asciugarsi senza alcuna dispersione termica. Le caratteristiche della canapa permettono di utilizzare il prodotto utilizzando poche sostanze aggiuntive. Sola l'aggiunta del poliestere relativizza il bilancio ecologico positivo.

La canapa può essere smontata e riutilizzata. Trattata con Sali di ammonio può essere conferita al compostaggio, a patto che vengano eliminate le fibre di poliestere. Se impregnata di sale di boro non può essere riciclata in questo modo. Il riciclaggio per altri usi è problematico poiché si deve tenere in considerazione la presenza della fibra sintetica.

#### FIBRA DI KENAF

La pianta di kenaf, da cui si ricava l'omonima fibra è molto simile per caratteristiche alla canapa.

Per i materiali isolanti si utilizzano le fibre mediane che vengono pulite, sfibrate e, in ultimo, ridotte in fiocchi. In seguito vengono trattati con prodotti naturali ignifughi (bagni di soda) e arricchiti nella misura dell'85-90% a un 10-15% con fibra di poliestere per essere poi sottoposte al termofissaggio. Il poliestere fuso e saldato alla fibra di kenaf ha la funzione di rinforzarlo e sostenerlo.

In questo modo si ottengono pannelli di diversa densità e spessore, all'interno dei quali le fibre sono disposte tridimensionalmente e non in strati orizzontali paralleli, garantendo così una resilienza migliore. In alcuni casi invece del poliestere si aggiunge acido polilattico (PLA) derivato dal mais, legante in grado di rendere il pannello totalmente naturale e biodegradabile.

È traspirante, igroscopico e in grado di regolare l'umidità interna di un ambiente durante tutto l'anno garantendo così un clima salubre e confortevole. Il consumo di energia primaria della fibra di kenaf è paragonabile a quello piuttosto basso della canapa. La fase con maggiore incidenza è legata all'approvvigionamento delle materie prime, mentre quella legata al processo produttivo è abbastanza influente. Si tratta di un prodotto certamente innovativo, naturale ed ecocompatibile per l'intero ciclo della sua vita, riutilizzabile e riciclabile.

Nei casi di kenaf puro, senza l'aggiunta di fibra sintetica, è possibile il compostaggio dato che è biodegradabile al 100% altrimenti il materiale deve essere bruciato o portato in discarica.

#### FIBRA DI LEGNO

La materia prima con cui vengono prodotti questi pannelli sono i residui di segheria, legni deboli, scarti ecc.

Il legno viene frantumato e quindi scomposto in fibre di legno fini mediante procedimenti termici e meccanici. Dette fibre di legno conferiscono al pannello la sua stabilità tipica attraverso l'intreccio e l'infeltrimento subito durante la pressatura.

Le resine naturali proprie del legno vengono sprigionate per scomposizione con l'aggiunta di allume conferendo al pannello dopo l'essiccazione la stabilità necessaria senza dover aggiungere altri leganti. Per rendere i pannelli resistenti all'umidità vengono addizionati con alcune sostanze idrofobizzanti (lattice, cera, bitume ecc.).

Si può dire che le materie prime con cui questo prodotto viene realizzato sono pressoché disponibili in quantità illimitata, ma il consumo di energia durante le fasi di produzione resta comunque relativamente alto e quindi va a sfavore della sostenibilità del ciclo produttivo.

L'inquinamento ambientale per effetto delle acque sporche scaricate durante la produzione viene ridotto al minimo attraverso la circolazione in circuiti chiusi. I resti dei pannelli possono essere lavorati per produrre nuovi materiali isolanti oppure sono destinati al compostaggio.

Questo materiale isolante è sostanzialmente conforme ai requisiti richiesti affinché possa essere considerato ecologico.

#### LENGO MINERALIZZATO

Si tratta di un prodotto mediante un impasto di lana o fibre di legno con magnesite o cemento e additivi mineralizzati e ignifuganti. In alcuni casi le fibre, ricavate generalmente da abeti, vengono trattate chimicamente e rese inerti e poi miscelate con l'agente mineralizzante. (Cemento Portland, magnesite, ecc...). La magnesite utilizzata è quella caustica, ovvero ossido di magnesio e il processo di mineralizzazione che viene realizzato è simile alla fossilizzazione naturale, conferendo ai pannelli la capacità di rimanere inalterati per tempi molto lunghi, anche superiori alla vita dell'edificio.

Il materiale, in base al tipo di agente mineralizzante può essere altamente resistente al fuoco e non sviluppare né fumi né gas tossici in caso di incendio.

Solitamente si ha anche una buona resistenza al gelo. Pur trattandosi di un isolante e non di un materiale strutturale, le caratteristiche meccaniche sono molto interessanti. Il pannello infatti si deforma solo sotto carichi di notevole entità.

Grazie alla densità considerevole e alla elevata capacità termica, il loro utilizzo risulta interessante anche per quanto riguarda la protezione termica estiva. Sono traspiranti ed igroscopici e garantiscono un'elevata protezione al fuoco.

I pannelli possono essere riutilizzati come inerte per calcestruzzo attraverso la loro frantumazione. L'irreversibilità della mineralizzazione e l'incombustibilità del materiale rendono impossibile il suo utilizzo per il recupero di energia da combustione e difficile la sua riciclabilità. Il consumo di energia nella produzione si aggira intorno ai 30 - 50 kWh/m<sup>3</sup>.

#### CANNA PALUSTRE

Processo produttivo dell'isolante termoacustico

La canna palustre (*Phragmites communis*) è una fibra vegetale che cresce spontaneamente nelle aree paludose, lungo le rive dei fiumi e dei canali, ai margini dei laghi. Si tratta di una tra le più grandi graminacee nostrane che si sviluppa mediante la formazione periodica di getti da un rizoma nodoso sommerso. I getti si trasformano in fusti particolarmente flessibili che possono raggiungere l'altezza di 4 m, con foglie lanceolate e appuntite. L'infiorescenza ha morfologia a pannocchia lunga.

La canna palustre viene tagliata stagionalmente (gennaio/giugno) per garantire il mantenimento dell'equilibrio ambientale. Quando si raccoglie nel periodo invernale il ghiaccio che si forma sull'acqua le rende secche evitando così che si attui un processo di essiccazione artificiale. Si ripuliscono le canne dal fogliame che poi vengono compresse e legate con filo di ferro zincato o filo di nylon tramite una speciale cucitrice e una taglierina. Si confezionano in pacchetti senza rompere le cavità interne. Per ogni ettaro di canneto si producono 26 m<sup>3</sup> di prodotto finito. La canna palustre è un materiale che ha buone capacità termoisolanti, è traspirante, favorisce la diffusione del vapore e svolge funzione di equilibrio igroscopico. Quest'ultima caratteristica viene migliorata con un'intonacatura di terra cruda. Si tratta di un materiale resistente all'attacco dei roditori, alle muffe e alla putrescenza. Ha buona resistenza all'umidità, anche se un'esposizione duratura può causare fessurazioni permanenti con la riduzione delle caratteristiche meccaniche, rigonfiamenti della superficie e possibili contaminazioni da batteri. In ambiente asciutto presenta buona stabilità dimensionale e durata nel tempo.

Non contenendo sostanze tossiche in caso di incendio non risulta dannosa alla salute e all'ambiente. La canna palustre è una risorsa velocemente rinnovabile che cresce in grande quantità ogni anno. La catena di produzione è molto corta. Inoltre le canne vengono legate quasi sempre con filo di ferro, con un'incidenza minima sul prodotto finito. L'incidenza energetica totale è quindi estremamente ridotta. Si tratta di un prodotto atossico, non dannoso alla salute e all'ambiente. Non comporta impatto ambientale per il reperimento della materia prima e nella lavorazione non prevede impiego di prodotti chimici o collanti di origine sintetica. La canna palustre è una risorsa velocemente rinnovabile che cresce in grande quantità ogni anno. La catena di produzione è molto corta. Inoltre le canne vengono legate quasi sempre con filo di ferro, con un'incidenza minima sul prodotto finito. L'incidenza energetica totale è quindi estremamente ridotta.

Il riutilizzo dei pannelli isolanti è possibile senza riserve, ma la deposizione e pulizia dei pannelli deve avvenire con cura e, a volte, potrebbe essere troppo costosa. Si tratta di un materiale biodegradabile che può essere incenerito. Eliminato il filo di ferro, i residui possono essere compostati.

#### FIBRA DI COCCO

La fibra di cocco si ricava dal mesocarpo, spesso strato fibroso che

ricopre il guscio della noce di cocco. Le fibre migliori, quelle lunghe e robuste, vengono utilizzate per la produzioni di feltri per l'isolamento.

La canna palustre è una risorsa velocemente rinnovabile che cresce in grande quantità ogni anno. La catena di produzione è molto corta. Inoltre le canne vengono legate quasi sempre con filo di ferro, con un'incidenza minima sul prodotto finito. L'incidenza energetica totale è quindi estremamente ridotta. I lunghi trasporti necessari per importare in Europa il materiale incidono pesantemente sul consumo totale di energia e sul bilancio ecologico del materiale stesso. È un materiale permeabile al vapore consentendo una corretta traspirazione della struttura a patto che sia abbinata ad altri materiali permeabili. Non ha problemi a contatto con l'umidità, non marcisce, è inattaccabile da parassiti e batteri ed è estremamente resistente ed inalterabile nel tempo.

La fibra di cocco è riutilizzabile e riciclabile per altri utilizzi quali la realizzazione di drenaggi per giardini pensili e terrazzi e come rinforzo per la stabilizzazione di terreni in posizioni di forte pendenza, offrendo ancoraggio alle radici.

#### LANA DI PECORA

I pannelli isolanti in lana di pecora vengono realizzati a partire dalla tosatura degli ovini, obbligatoria affinché l'animale resti in buona salute. La lana viene lavata con saponi naturali e trattata con sostanze protettive anti-tarme. Successivamente vengono realizzati materassini isolanti attraverso delle lavorazioni meccaniche (cardatura, agugliatura e taglio); il tutto può essere realizzato anche senza fare uso di leganti sintetici o naturali.

Per l'edilizia le lane migliori sono quelle grosse, che ad oggi vengono destinate allo smaltimento essendo inadatte alla trasformazione tessile.

La lana è impermeabile all'acqua, ma permeabile al vapore che assorbe e cede in continuazione per mantenere il giusto grado di umidità. Questo lavoro garantisce un potere isolante stabile.

Dal punto di vista dell'impronta ecologica, la lana di pecora rappresenta un sottoprodotto dell'allevamento di pecore madri e quindi l'utilizzo del prodotto in eccedenza in campo edile rappresenta un vantaggio. Proviene da una fonte rinnovabile ed è l'uno prelievo di materia prima che rappresenta un beneficio e non un impoverimento o un danno.

Il dispendio di energia per la produzione è piuttosto basso, ma a

differenza delle fibre vegetali deve essere trattata contro le tarme. Inoltre ormai da alcuni anni sappiamo che materiali come la lana ricche di cheratina hanno la capacità di assorbire e neutralizzare sostanze nocive come formaldeide, Nox e Sox, presenti tra le mura domestiche; quindi utilizzando questo tipo di materiali si garantisce anche una depurazione dell'aria .

#### **FIBRE TESSILI DI RICICLO**

I pannelli isolanti in fibra tessile sono realizzati a partire dagli scarti di fibre riciclate post-consumo, ottenute da sfridi e scarti di lavorazione. Alcuni possono essere addizionati con un 15% di fibre tessili naturali vergini, ma dipende dalla casa produttrice.

Non contiene additivi chimici o collanti, ma viene trattato contro l'aggressione di funghi o batteri. La quantità di energia consumata in fase di produzione è contenuta e questo sicuramente lo rende un'alternativa molto sostenibile.

Resiste all'invecchiamento, non necessita di manutenzione e a fine vita il prodotto è riciclabile al 100%.

## TIPOLOGIA DI ISOLANTE



INORGANICO



SINTETICO



VEGETALE



NATURALE



MINERALE



ORGANICO



ANIMALE



COMPOSITO

## APPLICAZIONI



PARETE



SOLAI



COPERTURA

## SMALTIMENTO



RIUTILIZZABILE



RICICLABILE



ECOLOGICO



COMBUSTIBILE

## VALUTAZIONE



1 insufficiente - 2 sufficiente - 3 discreto - 4 buono - 5 ottimo



SOSTENIBILITA'







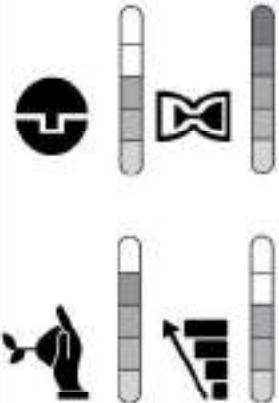




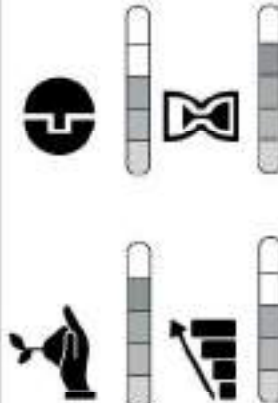




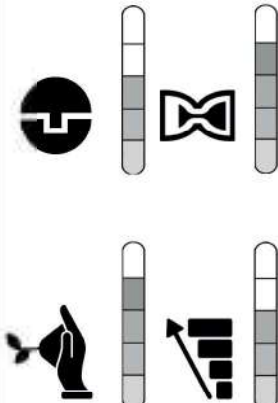




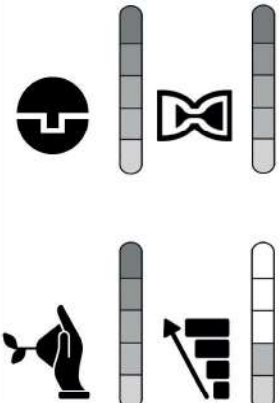
PRESTAZIONI























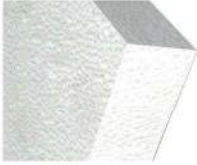














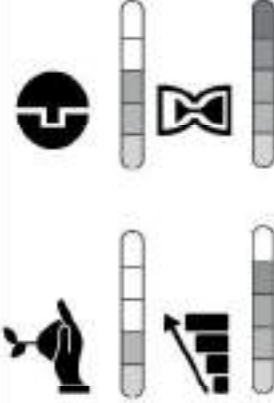




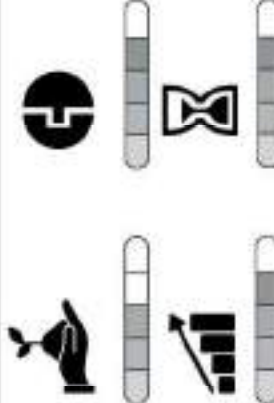




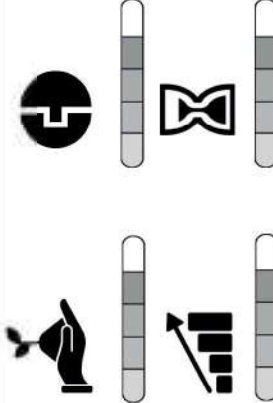




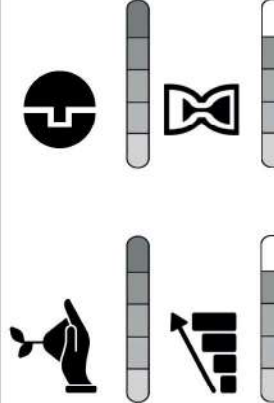
COMPATIBILITA'





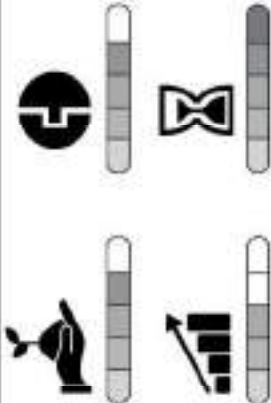




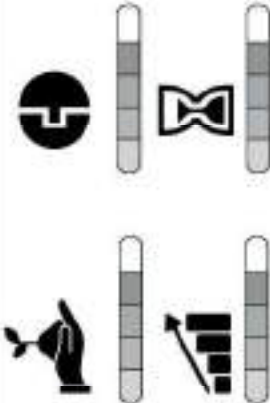




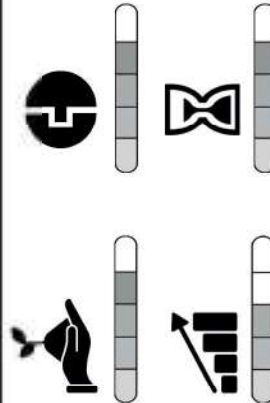




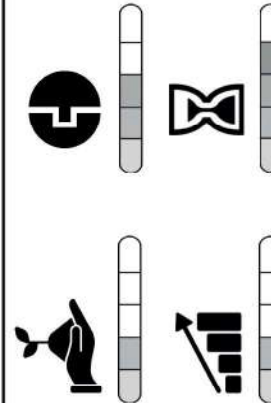





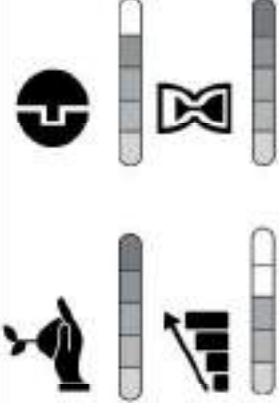



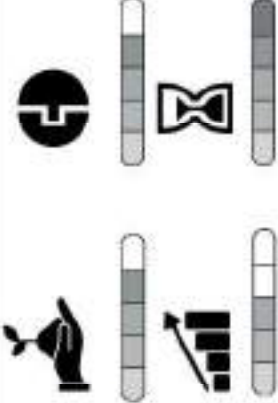



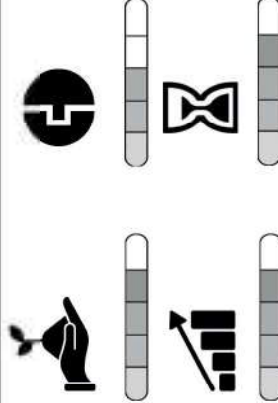



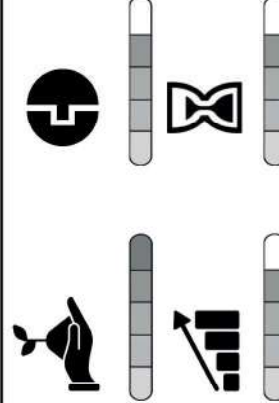
DURABILITA'

ISOLANTE	DESCRIZIONE	$\lambda$ w/(m·K)	PRODUZIONE	SMALTIMENTO	APPLICAZIONI	VALUTAZIONE
Vetro cellulare espanso 	 Vetro fuso, estruso, macinato ed infine espanso tramite carbonio. Può essere adibito con bitume e resine stireniche.	0,040 - 0,050	Il materiale di partenza è composto per il 66% da vetro riciclato e per la restante percentuale da sabbia quarzosa alla quale vengono addizionate altre sostanze specie il carbonato di calcio, ossido ferroso, ossido di sodio.	 Posato a secco è riutilizzabile solo se non trattato con collanti. Può essere di nuovo fuso.	 Non attaccabile da muffe e parassiti. Incombustibile. Non emette fumi tossici. Pone problematiche ambientali.	
Lana di vetro 	 Miscela di vetro, sabbia quarzosa, soda, dolomite, calcare.	0,040	Viene prodotta portando a fusione tra i 1.300-1.500°C una miscela di vetro e sabbia, la quale successivamente viene colata e bagnata con un legante che aumenta la coesione delle fibre. Quindi riscaldata a circa 200°C e sottoposta a calandratura.	 E' possibile riutilizzarlo se non è impregnato di umidità o contaminato.	 Traspiranza e igroscopicità dipendono dal tipo di legante utilizzati. Così come la resistenza al fuoco.	
Lana di roccia 	 Silicato amorfo a base di fibre minerali composto per il 97% da diabase, basalto e dolomite. Struttura fibrosa.	0,035 - 0,040	La roccia viene fusa a 1.400°C e quindi filata in fibre minerali artificiali. E' per dare stabilità di forma alle fibre che si usa il legante bakelite (resina fenolo-formaldeide).	 E' possibile riutilizzarlo se non è impregnato di umidità o contaminato.	 Incombustibile, permeabile al vapore, non attaccabile da microrganismi. Mantiene le sue caratteristiche stabili nel tempo.	
Calcio silicato 	 Prodotto a partire dal calcio e dall'ossido di silicio.	0,050 - 0,070	Le materie prime, calcio e ossido di silicio più il 2-10% di cellulosa in acqua, vengono mescolate e lasciate essiccare in stampi. Gli elementi vengono poi portati a maturazione in autoclave e segati nelle dimensioni volute.	 Può essere riciclato solo parzialmente. Gli scarti vanno in discarica	 Capillarità attiva. Regola l'umidità ed evita la formazione di muffa. Le caratteristiche del materiale rimangono inalterate nel tempo.	

ISOLANTE	DESCRIZIONE	$\lambda$ w/(c·K)	PRODUZIONE	SMALTIMENTO	APPLICAZIONI	VALUTAZIONE
Aerogel 	<b>I M S</b> Ricavato dal diossido di silicio (silice) Struttura fibrosa	0,013 - 0,015	Miscela simile al gel composta dal 99,8% di aria e dal 0,2% di diossido di silicio (silice), il principale componente del vetro. Prodotto in materassini da 5 a 40 mm di spessore. Per natura è idrofilo.	Informazioni riguardo LCA non sono ancora rese disponibili	 All'interno dovrà essere accoppiato quasi sicuramente ad una membrana al vapore. Insufflato può essere utilizzato anche nelle interpedini.	  In corso di valutazione  
Perlite 	<b>I M N</b> Roccia vulcanica costituita da un silicato complesso naturale di alluminio, sodio e potassio.	0,040 - 0,053	La roccia è frantumata e ridotta in granuli. I granuli vengono posti in forno. L'acqua contenuta passa allo stato gassoso, provocando un aumento di volume del granulo che acquisisce una struttura inerte a celle chiuse, che gli conferiscono le caratteristiche di isolamento.	  Non combustibile perché minerale. Riutilizzabile come inerte per cls o smaltito in discarica.	 Incombustibile, traspirante, regola l'umidità. Stabile nel tempo, non emette sostanze tossiche. Non attaccabile da muffe e roditori. Bassi valori di radioattività naturale.	   
Vermiculite 	<b>I M N</b> La vermiculite è un minerale di origine vulcanica.	0,049	Il minerale è frantumato e ridotto in granuli. I granuli riscaldati ad altissime temperature, perdono acqua per evaporazione, espandendosi e conferendo la struttura microalveolare che determina il potere isolante, la traspirabilità e l'impermeabilità all'acqua.	  Non combustibile perché minerale. Riutilizzabile come inerte per cls o smaltito in discarica.	 Traspirante, regola l'umidità. Bassi valori di radioattività naturale. Imputrescibile, resistente a invecchiamento, insetti, microrganismi; non infiammabile.	   
Polistirene espanso_EPS 	<b>O S</b> Prodotto a partire dal calcio e dall'ossido di silicio. Struttura cellulare chiusa (98% aria).	0,035 - 0,040	I componenti, benzolo ed etilene, vengono ricavati da petrolio e metano e da questi è prodotto lo stirene. Con aggiunta di pentano e altre sostanze antinfiammabili e attrattivo la polimerizzazione è trasformata in polistirolo.	   Riciclabile in forma pura, cosa rara in edilizia.	 Impermeabile all'acqua e traspirante. Non produce muffe ed è imputrescibile. Per composizione (carbonio ed idrogeno) risulta infiammabile.	   

ISOLANTE	DESCRIZIONE	$\lambda$ w/(m <sup>2</sup> ·K)	PRODUZIONE	SMALTIMENTO	APPLICAZIONI	VALUTAZIONE
<p>Polistirene estruso_XPS</p> 	 <p>Lo stirene viene prodotto in diversi stadi dal petrolio. Struttura a celle chiuse.</p>	0,035 - 0,040	<p>Il polistirolo liquido viene espanso con propellenti e pressato attraverso degli ugelli a fessura larga formando delle lastre. Uno dei propellenti utilizzati è la CO2 sottratta all'atmosfera o ricavata dalle sottoprodotti da altri processi.</p>	 <p>Riciclati tramite rifusione o termovalorizzazione in impianti autorizzati. Riutilizzo come materiale di riporto.</p>	 <p>Ridotto assorbimento di acqua (idrorepellente). Difficilmente infiammabile. Usato in aree soggette ad elevata umidità.</p>	
<p>Sughero</p> 	 <p>Si ricava dalla corteccia della quercia da sughero. Il sughero è un materiale rigenerabile, ma in quantità limitata.</p>	0,040	<p>Dalla prima decorticazione si ottiene un sughero molto ruvido e nodoso, da cui si ricava il granulare di sughero da utilizzare in edilizia, sia sfuso che agglomerato in pannelli. Il tessuto è costituito da cellule contenute in aria, che garantiscono al materiale leggerezza e elasticità.</p>	 <p>Riciclato è più efficiente ed economico di quello vergine e può essere riutilizzato in diversi modi.</p>	 <p>Traspirante. Inattaccabile da parassiti. Non propaga le fiamme. Permeabile al vapore.</p>	
<p>Fibra di lino</p> 	 <p>Ricavate da piante. La fibra di lino è conosciuta fin da tempi antichissimi ed è utilizzata già dai romani come materiale isolante.</p>	0,040	<p>Le piante sono estirpate e trattate per estrarre le fibre. Le fibre corte, per la produzione del materiale isolante, sono la parte con più cellulosa. Per i pannelli le fibre vengono trattate con sali di boro e, in alcuni casi addizionate con un supporto in fibra di poliestere.</p>	 <p>Se non sono presenti fibre di poliestere, la fibra di lino è riutilizzabile e riciclabile.</p>	 <p>Altamente traspirante, igroscopico, non contiene sostanze nocive per la salute. Assorbe umidità senza subire danni. Non proteine animali. Resistente a tarne e muffa.</p>	
<p>Fibra di mais</p> 	 <p>La fibra di mais è un prodotto di origine recente che si ricava dai chicchi di mais.</p>	0,040	<p>I chicchi devono fermentare per estrarre l'acido polilattico, poi lavorato per produrre le fibre vere e proprie. Le fibre, sovrapposte in veli sottili, sono portate a 160 C° in appositi forni per consentire la termolegatura e la formazione di pannelli di diverso spessore e densità.</p>	 <p>Biodegradabile al 100%. Non contiene sostanze tossiche per la salute.</p>	 <p>Altamente traspirante. Autoestinguento.</p>	

ISOLANTE	DESCRIZIONE	$\lambda$ w/(c·K)	PRODUZIONE	SMALTIMENTO	APPLICAZIONI	VALUTAZIONE
Fibra di canapa 	 La fibra di canapa deriva dalla canapa da fibra tessile.	0,038 - 0,045	I pannelli isolanti sono prodotti con la stoppa, fibra contenente residui legnosi, trattata con sodio o sali di boro, per migliorarne il comportamento al fuoco, e sottoposta a termofissaggio per fondere le fibre di poliestere che fanno da rinforzo e sostegno del pannello.	 Adatta a cicli di utilizzo a cascata fino alla combustione. Il compostaggio è, per la canapa pura.	 Traspirante e igroscopico. Non contiene né emette sostanze nocive per la salute. Resiste a muffa, insetti e parassiti. Non marcisce. Totalmente stagno ad acqua, vapure e gas.	
Fibra di kenaf 	 Il kenaf è una pianta "lontano parente della canapa", che appartiene alla famiglia del cotone.	0,039	Le piante vengono lasciate seccare in campo e gli steli, ormai privi di linfa, vengono poi tagliati e raccolti. Per ottenere la fibra gli steli vengono lavorati in macchine che separano la parte fibrosa dal kenafulo e dalla polvere, che vengono utilizzate per produrre altri materiali.	 Non marcisce e non lascia sostanze inquinanti. Riciclabile e riutilizzabile. Compostabile solo se pure.	 Traspirante e igroscopico, non necessita di barriera al vapore. Non cunctiene né emette sostanze nocive per la salute. Inerte agli insetti, roditori e volatili. Insensibile all'umidità.	
Fibra di legno 	 La materia prima è il legno.	0,040 - 0,055	I pannelli in fibra di legno vengono prodotti attraverso la lavorazione di legname di scarto proveniente da segherie, silvicoltura sostenibile e dalla ripulitura dei boschi.	 Se non trattati con bitume sono combustibili. Sono utilizzati per produrre nuovi materiali isolanti.	 Non vulnerabili all'umidità. Continuano ad isolare anche se contengono umidità.	
Legno mineralizzato 	 Fibre di legno e minerali.	0,045	Le fibre di legno vengono impregnate con magnesite, cemento o altri materiali per determinarne la mineralizzazione, che apporta alle fibre una notevole coesione e compattezza strutturale. In entrambi i casi segue una fase di essiccazione dei pannelli.	 La mineralizzazione non lo rende combustibile. Reso in frantumi è utilizzato come inerte per cls.	 Smorzamento degli sfasamenti di temperatura. Traspirante e con elevata capacità di accumulo termico. Buoni anche per isolamento termico estivo.	

ISOLANTE	DESCRIZIONE	$\lambda$ w/(m·K)	PRODUZIONE	SMALTIMENTO	APPLICAZIONI	VALUTAZIONE
<p>Canna palustre</p> 	<p>O N V</p> <p>Realizzato con la canna palustre che cresce spontaneamente lungo le rive di fiumi, laghi o canali. Materiale che si rigenera ogni anno.</p>	0,055	<p>Le canne seche sono raccolte con macchinari appositi durante l'inverno, quando si forma uno strato di ghiaccio sull'acqua. Vengono poi compresse e legate con filo di ferro zincato o con filo di nylon in modo da formare un pacchetto, senza rompere le cavità interne delle canne.</p>	 <p>I pannelli integrati possono essere riutilizzati. Possono essere inceneriti o compostati.</p>	 <p>Traspirante Resistente alle muffe Isola anche in condizioni di umidità Non contiene né emette sostanze nocive</p>	
<p>Fibra di cocco</p> 	<p>O N V</p> <p>La fibra di cocco si ricava dal mesocarpo, la parte fibrosa che ricopre la nocce di cocco. Struttura fibrosa.</p>	0,045	<p>Lo strato fibroso è separato dalla nocce e sottoposto ad un processo di macerazione per 6-10 mesi, in modo da eliminare le parti organiche putrescibili. Sono poi impregnate con sali di boro, silicato di sodio o solfati di ammonio per migliorarne la resistenza al fuoco.</p>	 <p>E' riciclabile per utilizzi come drenaggi per giardini pensili e terrazzi, o come rinforzo per terrapieni.</p>	 <p>Documentata per una durata di vita di 50 anni. Non marcisce in presenza di umidità ed acqua. Intaccabile da muffe e parassiti. Buona resistenza al fuoco</p>	
<p>Lana di pecora</p> 	<p>O N A</p> <p>Ricavato dal riciclaggio di fibre tessili.</p>	0,034 - 0,039	<p>La lana viene pettinata, ridotta in veli sottili e passata in macchine ad aghi, per creare rotoli e pannelli della densità desiderata. Per proteggerla da tarme e parassiti vengono utilizzati gli stessi trattamenti utilizzati nel settore tessile per l'abbigliamento, testati già da 50 anni.</p>	 <p>Riciclabile e compostabile se non vi sono supporti in polipropilene e sali di boro.</p>	 <p>Traspirante e altamente igroscopico. Può essere attaccata da tarne e parassiti.</p>	
<p>Fibre tessili di riciclo</p> 	<p>C</p> <p>Materiale composto da fibre tessili vergini e fibre riciclate pre-consumo, ottenute da sfridi e scarti di lavorazione tessile industriale.</p>	0,034 - 0,039	<p>La sua composizione prevede il 15% di fibre tessili naturali vergini e l'85% di materiale tessile pre-consumo. A volte anche 100% riciclato. Il prodotto viene tagliato facilmente e non prevede difficoltà di posa, né l'uso di protezioni per il posatore.</p>	 <p>Riciclabile al 100%. Non rilascia sostanze tossiche nell'ambiente.</p>	 <p>No additivi chimici Trattato per non essere attaccato da funghi e batteri. Poca energia per la produzione.</p>	



## 8.3 Scheda di rilevamento e sistemazione dati per la conoscenza

Nella sezione dedicata al materiale per l'utente si è pensato di inserire, oltre ad una bibliografica tematica e l'elenco di alcune norme UNI EN ISO utili al fine di una corretta progettazione, anche una scheda operativa all'interno del quale l'utente può inserire sia i dati ricavati dalle informazioni presenti sul sito, sia eventuali informazioni derivate da studi o rilievo diretto dell'edificio.

La scheda si compone di quattro pagine in cui inserire le informazioni basilari riguardo lo stato di fatto della struttura. In fase di progettazione o sperimentazione ogni fase dovrà essere ampliata ed approfondita a seconda delle esigenze ed andrà a costituire un "corredo" del processo di conoscenza e potrà essere custodito dagli utenti per eventuali interventi futuri.

La prima pagina prevede l'inserimento dei dati "anagrafici" dell'edificio quali ubicazione, destinazione d'uso, riferimenti catastali, tipologia edilizia, tessuto urbano in cui è inserita, foto e planimetria. Nella seconda scheda vengono inseriti i dati dimensionali, la classe sismica di appartenenza, l'analisi del contesto in cui è inserito, sia a livello di vegetazione che di edificato, e gli apporti energetici presenti derivati da sistemi attivi e passivi.

La terza scheda si sofferma sulla lettura del sistema costruttivo dal punto di vista tecnologico e materico suddividendolo per componenti verticali e orizzontali, opache e trasparenti e lasciando uno spazio per inserire il disegno del dettaglio costruttivo.

Infine nell'ultima pagina vi è una tabella in cui poter classificare i materiali costruttivi secondo la composizione, provenienza ed epoca; una tabella in cui fare il punto dello stato di conservazione generale dell'edificio; una tabella in cui inserire eventuali danni dovuti a presenza di umidità o l'esistenza di importanti ponti termici di cui tener conto in fase di progettazione degli interventi di riqualificazione energetica.

La scheda è vista come una piccola "Carta d'Identità" dell'edificio in cui raccogliere le informazioni dello stato di fatto e da aggiornare nel corso del tempo per essere sempre al corrente dei cambiamenti e delle modifiche effettuate alla struttura.

DATI RILEVATORE	
NOME	
QUALIFICA	
ENTE DI APPARTENENZA	
MOTIVO DEL RILLEVAMENTO DATI	
PERIODO DI RILLEVAMENTO DATI	

Fotografia Edificio

EDIFICIO	
LUOGO	
ZONA CLIMATICA	
ORIENTAMENTO	
GRADI GIORNO	
TESSUTO EDILIZIO (denso, rado, semi-isolato)	
LOCALIZZAZIONE (centrale, periferica, isolata)	
EPOCA DI COSTRUZIONE	
ULTIMI INTERVENTI	
PROPRIETA' DESTINAZIONE D'USO CATASTO	

PLANIMETRIA EDIFICIO

TIPOLOGIA EDILIZIA	
NUMERO DI PIANI	
MQ a PIANO	
DIMENSIONI TOTALI (MC)	
ALTEZZA INTERPIANO	
VINCOLI e STRUMENTI URBANISTICI VIGENTI	
CLASSE SISMICA	
ALTEZZA SUL LIVELLO DEL MARE	
PRESENZA DI VEGETAZIONE (essenze arboree)	Individuazione grafica rispetto all'edificio
1	
2	
3	
4	
TIPOLOGIE EDILIZIE CONFINANTI (rapporto con il contesto)	Individuazione grafica rispetto all'edificio
1	
2	
3	
4	

APPORTI ENERGETICI	
SISTEMI ATTIVI (caldaia, fancoi, fonti rinnovabili, ecc)	SISTEMI PASSIVI (coibentazione, ventilazione naturale, ecc)



MATERIALI IMPIEGATI	EPOCA E PROVENIENZA

STATO DI CONSERVAZIONE GENERALE	
Pessimo Quadro fessurativo evidente; alterazioni superficiali per oltre il 70% dell'involucro; presenza di crolli; assenza di infissi.	
Discreto Quadro fessurativo media diffusione; alcune lesioni passanti; alterazioni superficiali per il 50% dell'involucro; assenza di crolli.	
Buono Sporadiche lesioni; alterazioni superficiali per il 20% dell'involucro; assenza di crolli.	
Ottimo Recenti interventi di consolidamento/restauro/adeguamento sismico.	

PRESENZA DI PONTI TERMICI
1
2
3
4
5
PRESENZA DI UMIDITA'
1
2
3
4
5

ANNOTAZIONI



**ABSTRACT**

Prodotto finale è la sistematizzazione dei risultati ottenuti tramite le simulazioni termigrometriche effettuate per cercare di formulare un'analisi delle ricadute nel tempo di alcuni scenari precedentemente selezionati.

Con la premessa obbligatoria relativa alla natura e ai limiti di tali indagini, vengono fornite delle schede esemplificative di quelli che sono alcuni degli output calcolabili in fase di progetto dal software di simulazione dinamica. Consapevoli che qualsiasi ricostruzione venga fatta non corrisponderà mai pedissequamente alla realtà e che più alto è il grado di approssimazione, maggiore sarà l'errore di valutazione. Ciononostante essere supportati da uno strumento che fornisca delle valutazioni, orientative sul lungo termine, delle scelte effettuate, può essere un modo per riflettere ulteriormente su delle possibili ricadute oppure ottenere conferma della direzione presa.

Le analisi sono state condotte su quattro murature tipo, ampiamente diffuse in contesto italiano, a cui possono essere ricondotte la maggior parte dei tipi costruttivi (parametri fondamentali sono il materiale che compone la sezione, la conformazione degli elementi lapidei e la loro disposizione), in quattro contesti climatici differenti corrispondenti alle diverse zone climatiche individuate da normativa. Abbiamo così 16 differenti scenari ai quali sono applicati differenti pacchetti isolanti scelti sulla base delle indicazioni delle schede tecniche reperite e dei materiali presenti all'interno del database del software.

Le simulazioni sono state calcolate su un periodo di 5 anni per verificarne l'andamento nel tempo.

Di ogni muratura sono analizzate temperatura interna alla sezione e umidità relativa, riferendosi a una giornata invernale ed una estiva, altrimenti il lavoro di schedatura dei risultati sarebbe risultato ridondante e non di lettura immediata.

L'obiettivo è la costruzione di scenari di riferimento, che possano essere di supporto all'attività decisionale in fase di progettazione per indirizzare il tecnico verso un'accurata analisi delle problematiche connesse a determinate strutture in particolari condizioni climatiche.



## 9.1. Premessa e illustrazione del metodo proposto.

Abbiamo visto fino ad ora come le politiche europee degli ultimi anni in materia di efficienza energetica si pongano obiettivi sempre più ambizioni riguardo i requisiti minimi di rendimento energetico e l'utilizzo di fonti rinnovabili. Parallelamente si è posto il problema degli edifici esistenti che rappresentano una parte considerevole su cui intervenire per poter ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> e aumentarne l'efficienza energetica.

Nel momento in cui si interviene su una struttura esistente e, quindi, molto spesso storica, non si può agire in modo arbitrario, ma verificare che l'intervento risponda ai principi di riconoscibilità, reversibilità, compatibilità e minimo intervento propri della teoria del restauro nella sua accezione più generale. Per questi motivi, la tesi ha fin dall'inizio sottolineato l'importanza di prendere in considerazione la possibilità di optare per un sistema di isolamento interno, in quanto permette di mantenere inalterate le facciate degli edifici e di conservarne i caratteri che li identificano. Fatto salvo per quelle strutture in cui vi siano delle condizioni per cui non risulta possibile lavorare nemmeno sui paramenti interni per la presenza di decorazioni.

Per quanto molti studi dimostrino che intervenire sull'isolamento dell'involucro riduca in modo considerevole le dispersioni termiche, un aspetto su cui si sta ancora indagando è la compatibilità chimico-fisica dei nuovi materiali con le pareti storiche. Nonostante quindi gli esempi virtuosi a nostra disposizione, restano ancora alcuni dubbi riguardo la possibilità che la parete vada in contro a forme di degrado dovute alla poca traspirabilità e l'accumulo di umidità con conseguente formazione di condensa.

A tale proposito in questi capitoli vengono presentati i risultati di simulazioni termoigrometriche eseguite con il software Delphin 5.8.3 della Bauklimatik Dresden, per verificare le prestazioni di una serie di pacchetti isolanti in diversi contesti climatici, su quattro tipologie differenti di pareti.

6. I pacchetti isolanti sono stati selezionati nell'ambito della stesura del paper "VALUTAZIONE ECONOMICA DELL'ISOLAMENTO INTERNO IN EDIFICI STORICI TRAMITE IL "COST OPTIMALITY" APPROACH" per il XXXIII° Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali "LE NUOVE FRONTIERE DEL RESTAURO. Trasferimenti, Contaminazioni, Ibridazioni" Bressanone, 27 - 30 giugno 2017, a cura di Elena Lucchi, Magdalena Tabak, Michela Pascucci, Alexandra Troi, Franziska Haas. Per la selezione dei materiali si è fatto riferimento a quanto disponibile nel database di Delphin e sono state poi contattate le seguenti aziende per avere dei chiarimenti riguardo l'applicabilità su pareti esistenti in muratura: PE: Sto; CS: Calsitherm, Röfix; ROCK: Rockwool, GLASS: KnaufInsulation, Isover; FOAM: Pittsburgh Corning Europe, Foamglass; m-WOOD: BetonWood; F-WOOD: Naturalia Bau; CORK: Röfix, Silvestre et al., 2016; EPS: Exiba, Isover; XPS: Isover.

Prima di effettuare le simulazioni sui vari pacchetti muratura-isolante, sono state eseguite delle simulazioni sulle pareti semplici in modo da capire quale fosse la situazione di partenza e in che modo questa cambi nel momento in cui si va ad inserire un materiale di natura diversa. I paragrafi dal due al cinque esamineranno quindi le sezioni murarie semplici e mostreranno i risultati ottenuti; il paragrafo sei illustrerà invece il comportamento delle varie murature al cambiare del clima e del pacchetto isolante proposto.

Dal momento che mostrare i risultati completi di 166 simulazioni avrebbe significato produrre una quantità di materiale pari a quello di un'altra tesi, rischiando anche di finire fuori tema, si è scelto di mostrare un solo grafico per ogni quadro di riferimento con tutte le curve degli isolanti sovrapposte. Inoltre per garantire una maggiore comprensione sono state inserite quattro tabelle in cui vengono valutati i risultati per una più semplice comprensione.

I materiali scelti e ritenuti compatibili con l'edilizia storica sono:

- Perlite (PE,  $\lambda = 0,045$  W/mK);
- Calcio silicato (CS,  $\lambda = 0,060$  W/mK);
- Lana di roccia (ROCK,  $\lambda = 0,035$  W/mK);
- Lana di vetro (GLASS,  $\lambda = 0,032$  W/mK);
- Vetro cellulare (FOAM,  $\lambda = 0,038$  W/mK);
- Fibra di legno minerale (m-WOOD,  $\lambda = 0,035$  W/mK);
- Fibra di legno flessibile (f-WOOD,  $\lambda = 0,037$  W/mK);
- Sughero (CORK,  $\lambda = 0,040$  W/mK);
- XPS (XPS,  $\lambda = 0,034$  W/mK);
- EPS (EPS,  $\lambda = 0,036$  W/mK).

La compatibilità termoisometrica dei diversi sistemi costruttivi è stata verificata con il software Delphin 5.8.3, un software per il calcolo dinamico del comportamento di quattro pareti selezionate:

- Muratura a sacco;
- Muratura con doppio paramento ammorsato;
- Muratura a due teste in laterizio;

- Muratura mista pietra e laterizio.

Per prima cosa si è operata una semplificazione geometrica delle sezioni murarie scelte affinché potesse essere rappresentata all'interno del software mantenendo le sue peculiarità costruttive. Sono state impostate poi le condizioni al contorno sulla base di quattro differenti file climatici (Bolzano zona E, Ancona zona D, Napoli zona C, Palermo zona A), esponendo la parete a ovest e ponendo l'attenzione sul passaggio del calore attraverso i materiali, la diffusione del vapore e l'influenza della pioggia battente.

Si è simulato, per un periodo di 5 anni, l'andamento della temperatura all'interno della sezione, la quantità di umidità assorbita e l'eventuale formazione di condensa nelle zone di contatto dei materiali.

I sistemi ipotizzati sono di due tipi, secco e umido, ovvero senza e con collante.

I due materiali montati a secco sono la lana di roccia e la lana di vetro; di quest'ultima vi è anche la versione con collante quindi il totale delle simulazioni su ogni parete è di 11 e non 10 come il numero degli isolanti.

I sistemi costruiti a secco richiedono un minore intervento rispetto a quelli con collante, offrendo anche una maggiore reversibilità e un minore impatto fisico-chimico sulla materia storica. Gli interventi con collante, infatti, non sono reversibili e, per questa ragione non possono essere realizzati sulle pareti storiche quando è necessario preservare l'intonaco e la superficie interni, oppure bisogna considerare l'utilizzo di speciali collanti a base di argilla che garantiscono reversibilità.

A differenza del sistema costruttivo con colla, quello a secco prevede l'applicazione di un pannello in cartongesso dopo lo strato isolante al posto della rete e dell'intonaco. Nel caso specifico della lana di roccia ci è stato suggerito di inserire un doppio pannello in cartongesso e tra i due una barriera al vapore.

Bisogna però sottolineare che il sistema montato a secco è più "rigido", in quanto i pannelli vengono incastrati tra due montanti che fanno da supporto e a volte, viste le discontinuità delle pareti storiche, questo sistema risulta poco flessibile e si rischia di avere uno strato di aria tra pannello e parete. Per questo motivo, i due sistemi privi di colla sono simulati prendendo in considerazione anche questa eventualità.



## 9.2 Muratura in pietra dal nucleo gettato a sacco

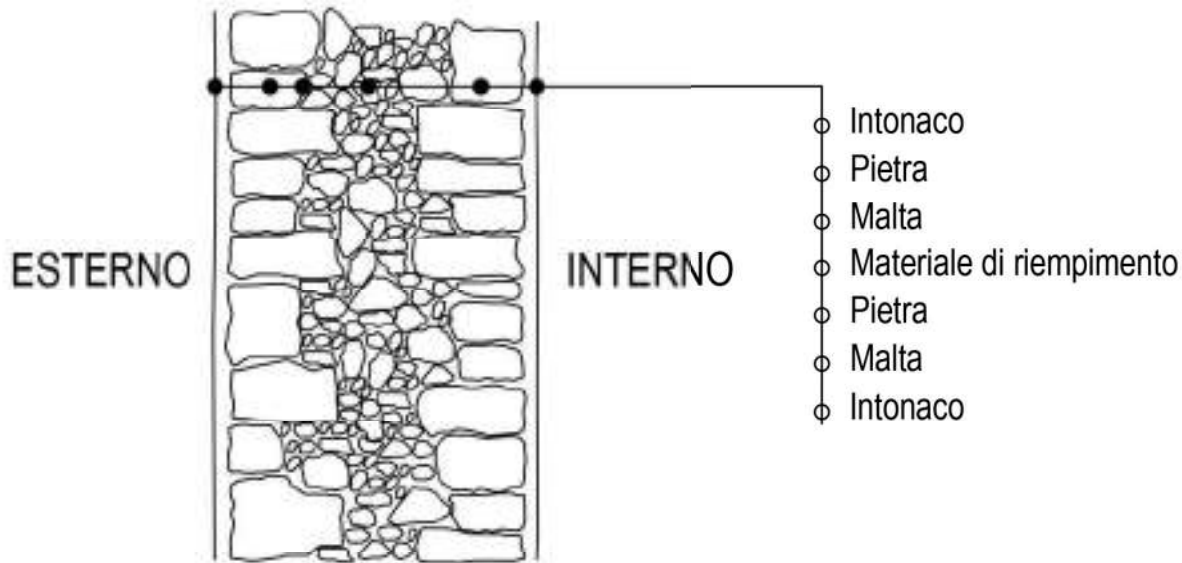
Il sistema costruttivo in esame si compone di due paramenti murari, generalmente costruiti contemporaneamente, posti uno di fronte all'altro e distanziati tra loro. Sono riempiti all'interno con una miscela di pietrame di piccola pezzatura e materiale di scarto (frammenti di pietre o mattoni, legno, ciottoli avanzi di lavorazione dei paramenti), legati da malta di cemento o di calce. Le origini di questo sistema costruttivo risalgono a tempi molto antichi e il suo utilizzo si è ampiamente diffuso sul territorio italiano in quanto permetteva di realizzare sezioni murarie molto ampie, che potevano superare anche il metro, come ci dimostrano le strutture difensive di origine medievale.

Questo tipo di struttura non può essere considerata dal comportamento monolitico; infatti, tende ad essere analizzata come composta da tre elementi che lavorano insieme, ma non come un unico blocco, questo perché la malta non riesce a dare sufficiente legame alla sezione e possono verificarsi dei problemi a livello statico con il passare del tempo. Quindi la grande quantità di malta e la struttura eterogenea sono un elemento di debolezza.

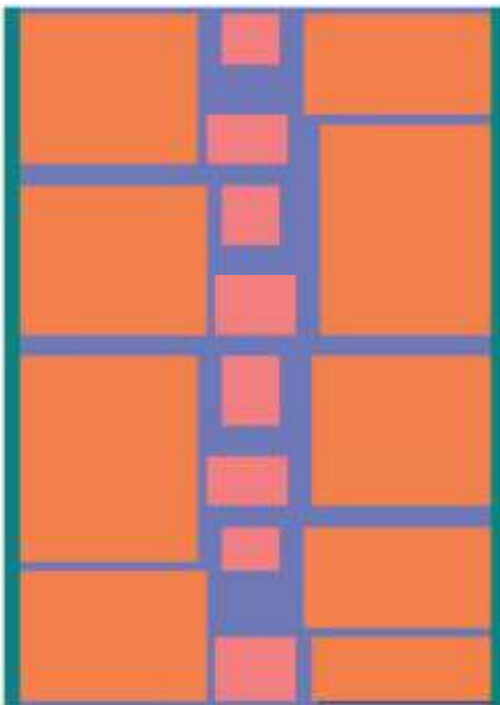
Dal punto di vista delle analisi termo-igrometriche si è scelto di mantenere questa caratteristica della muratura tripartita e dare rilievo alla presenza di malta, che in questo caso non può essere considerato un elemento trascurabile. Per questo motivo nel processo di semplificazione geometrica si sono mantenuti i due paramenti murari come elementi indipendenti matericamente dal nucleo, all'interno del quale si è deciso di rappresentare degli elementi di dimensioni notevolmente più piccole dei blocchi in pietra. Tale scelta rappresentativa è stata dettata dal fatto che sarebbe stato scorretto considerare un nucleo di sola malta, vista la presenza di altri materiali di riempimento, e visto che anche per l'umidità la malta risulta un elemento debole nella struttura, per cui avremmo rischiato di rappresentare una situazione troppo distante da quella reale. Resta il fatto che questo sistema costruttivo rimane il più complesso da rappresentare all'interno di un rigido sistema geometrico e ciò rappresenta un grande limite nella sua valutazione.

# MURATURA CON NUCLEO A SACCO

## SISTEMA COSTRUTTIVO



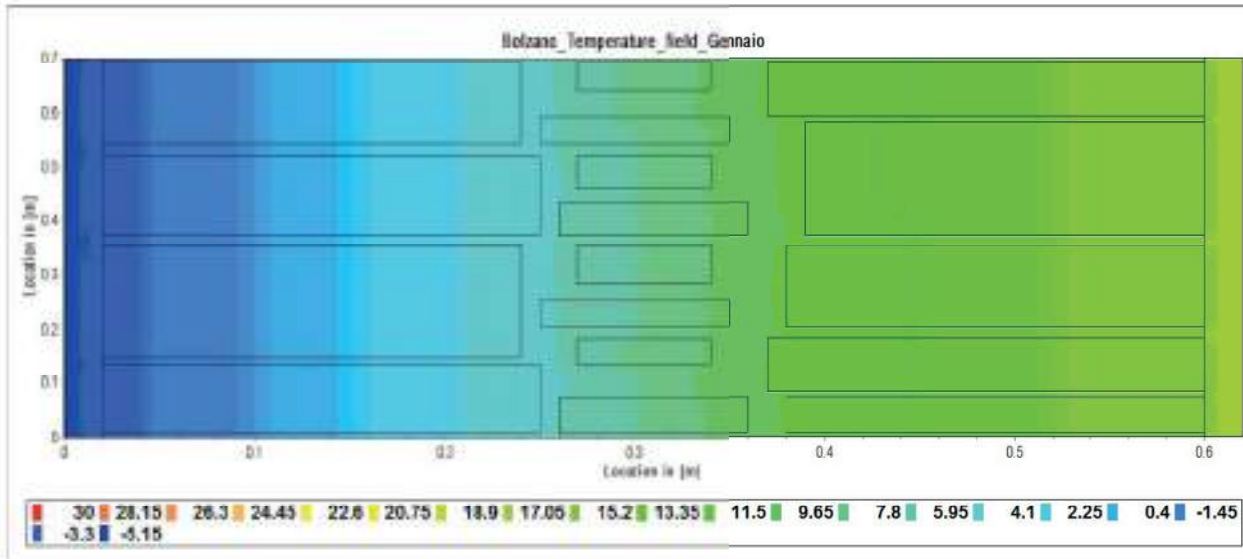
## SCELTE OPERATE ALL'INTERNO DEL SOFTWARE



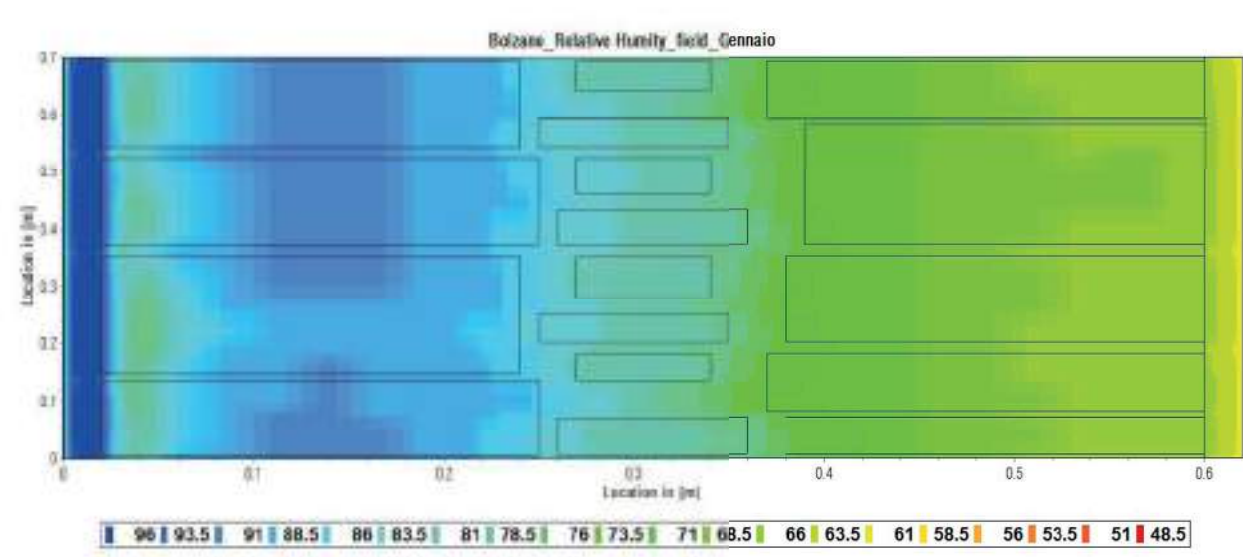
MATERIALE	DIMENSIONI (cm)	CONDUTTIVITA' ( $\lambda$ )
Intonaco esterno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK
Blocchi in pietra calcarea Sandstone Velblce	Dimensioni variabili da pochi cm a grandi blocchi	1,83 W/mK
Malta di argilla Clay Mortar (historical)	0.75 cm a -- 3 cm	0,58 W/mK
Materiale di riempimento Sandstone Monte Merlo	Dimensioni variabili a seconda della necessità	0,95 W/mK
Intonaco interno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK

# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

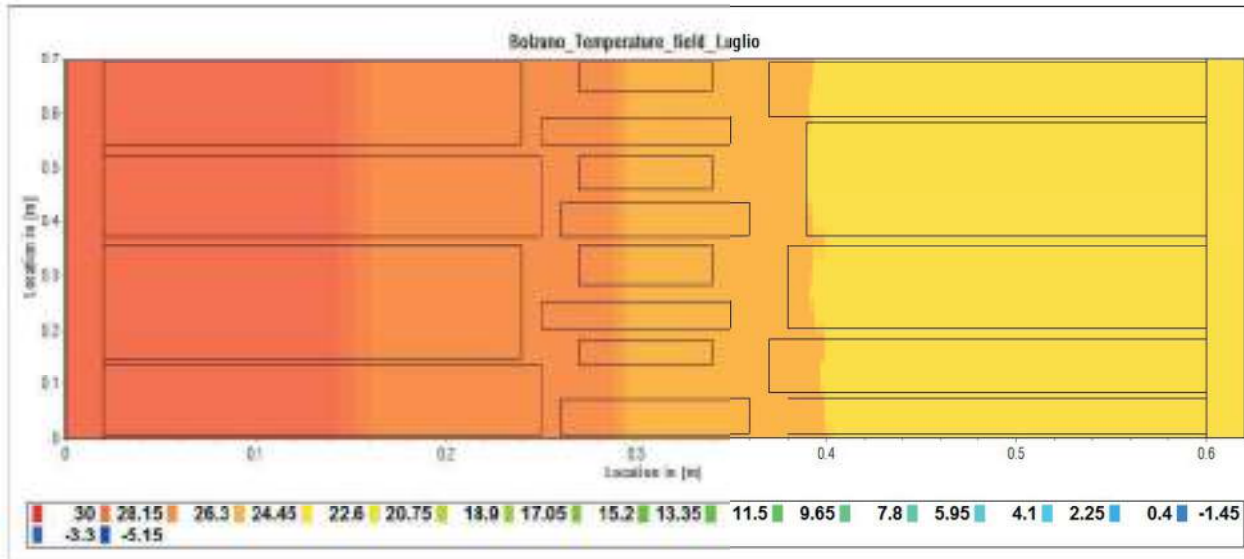


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

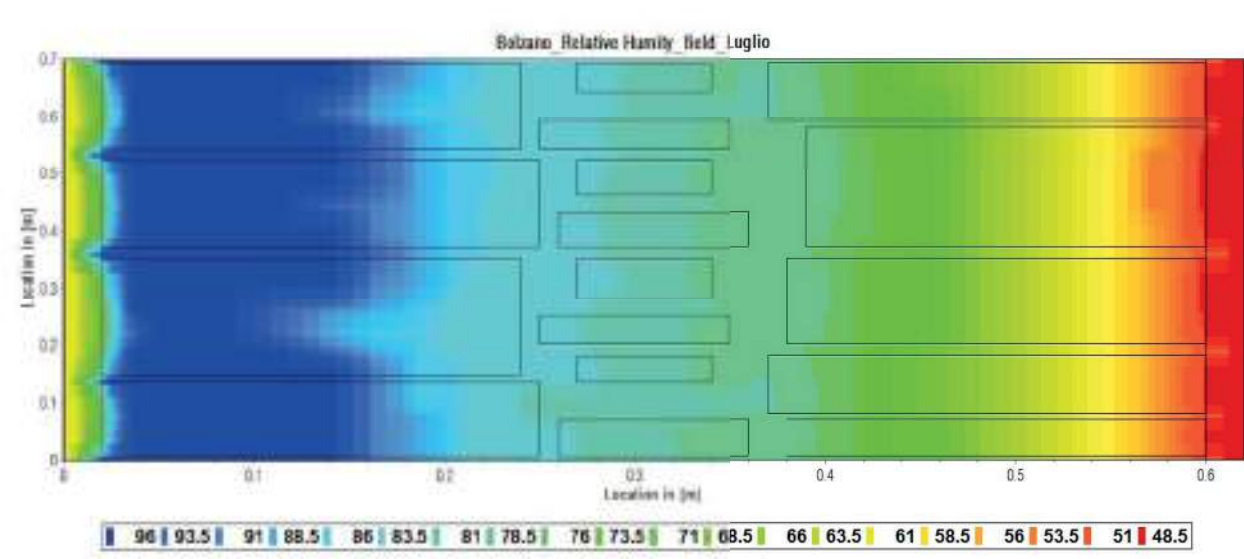


# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

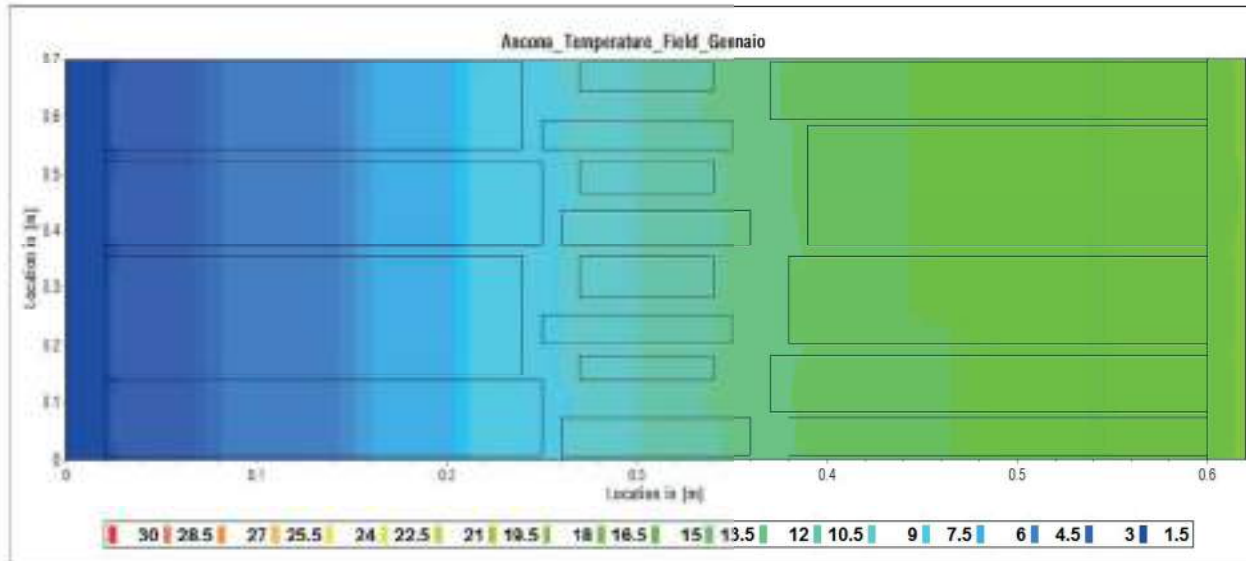


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

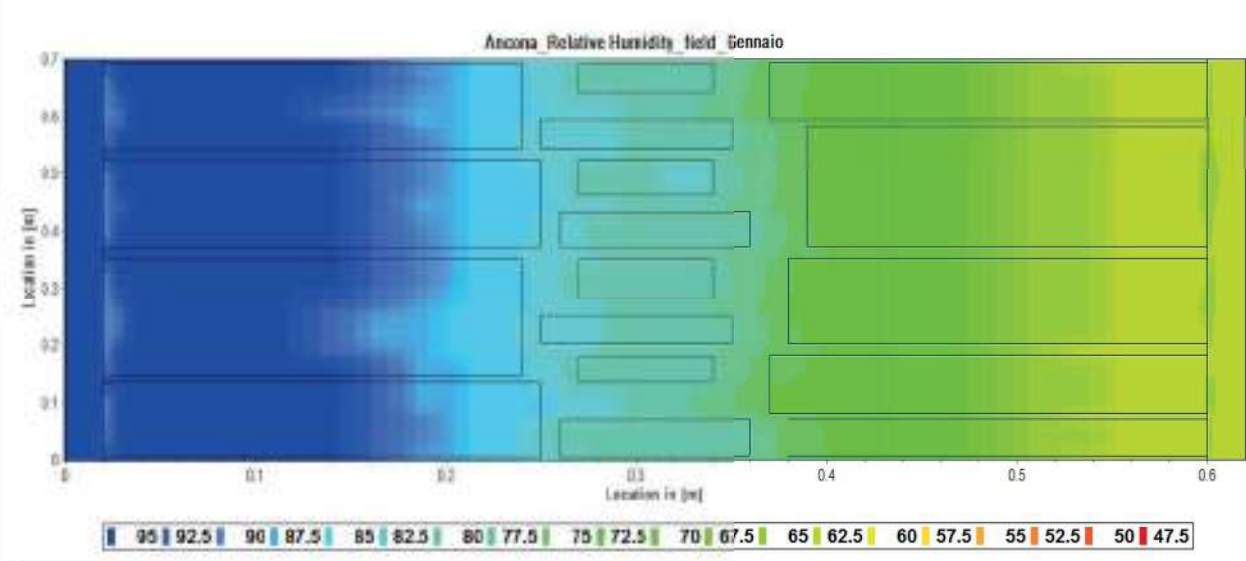


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

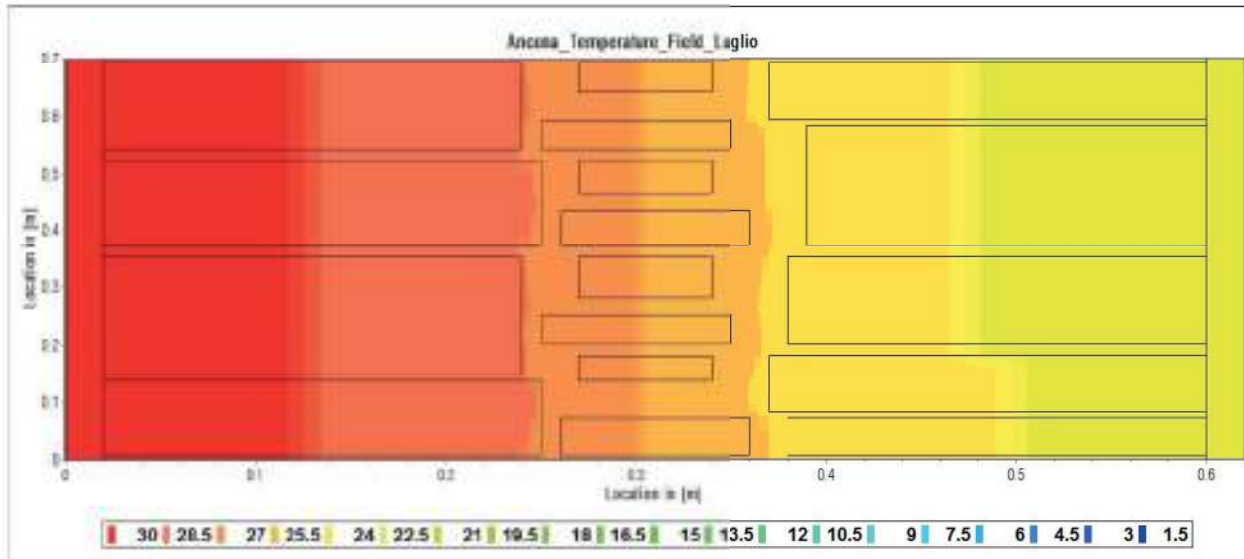


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

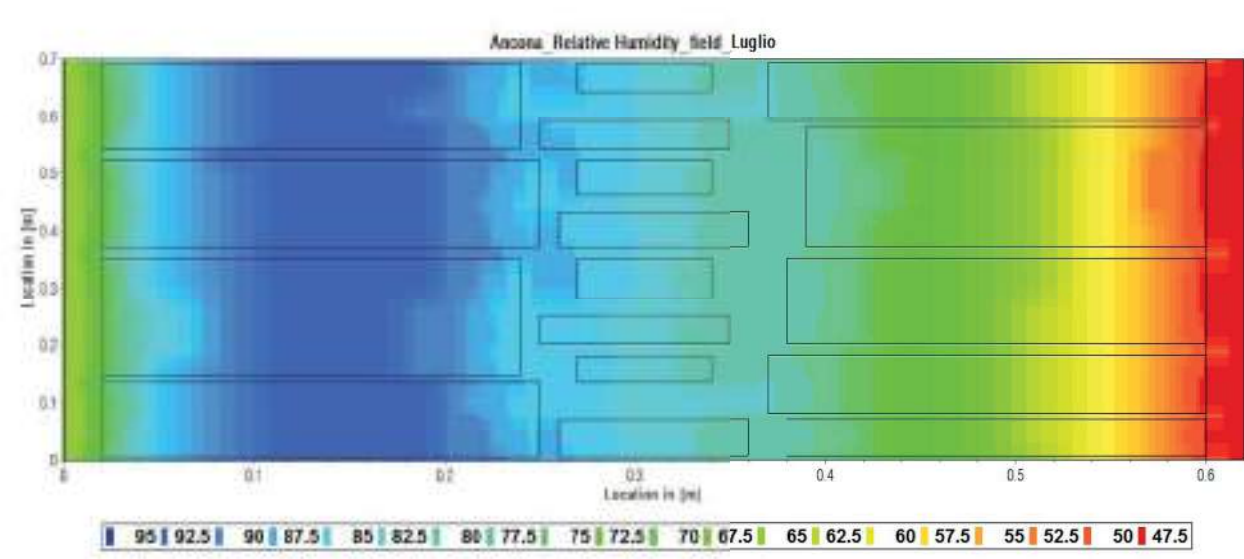


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

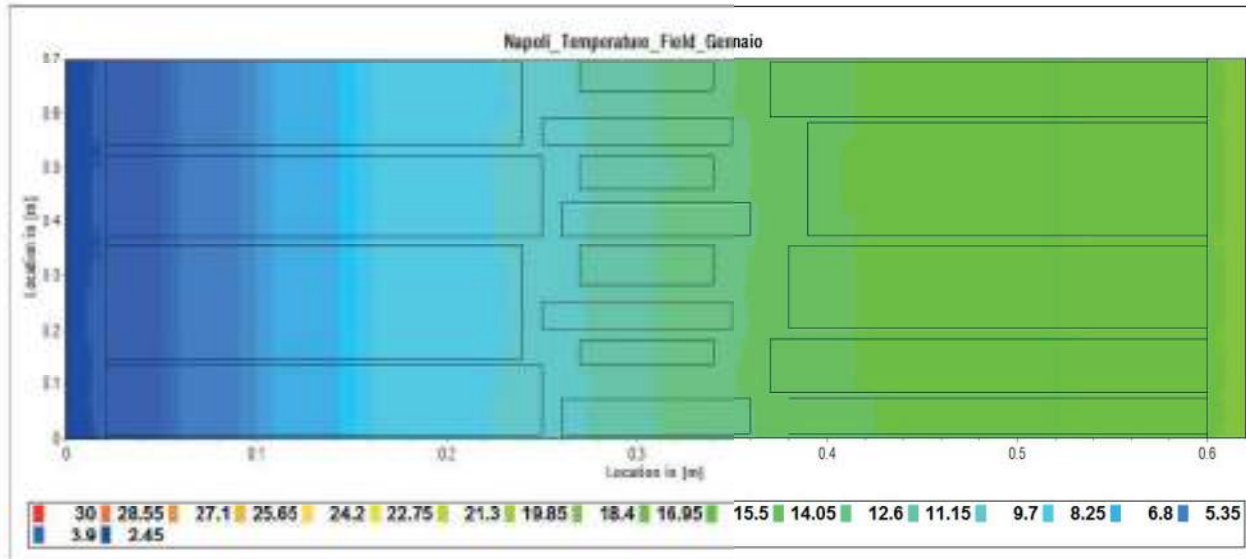


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

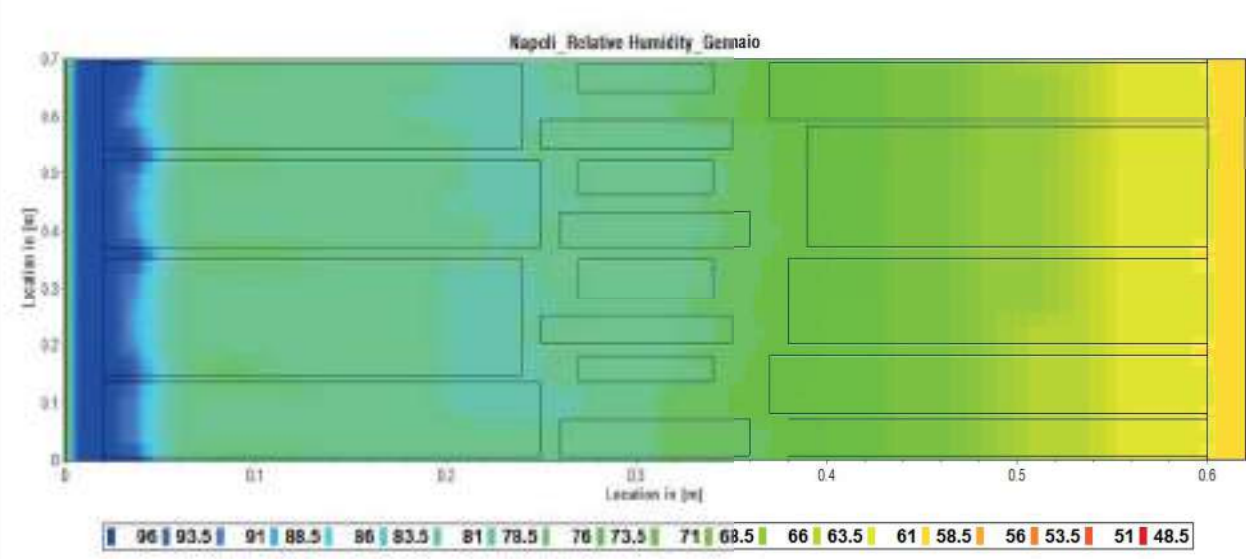


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

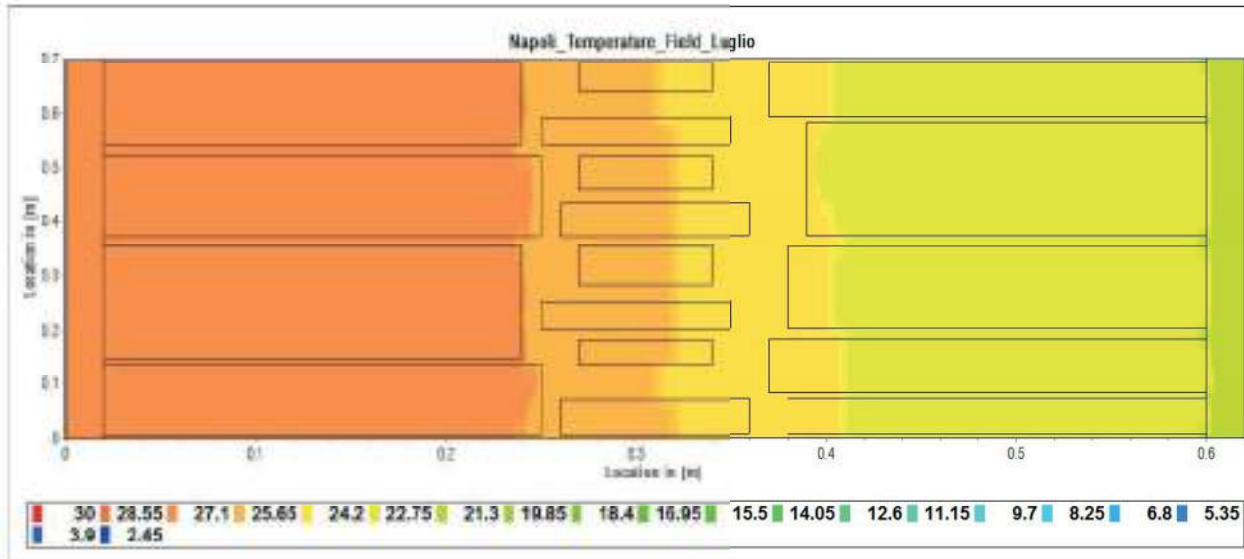


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

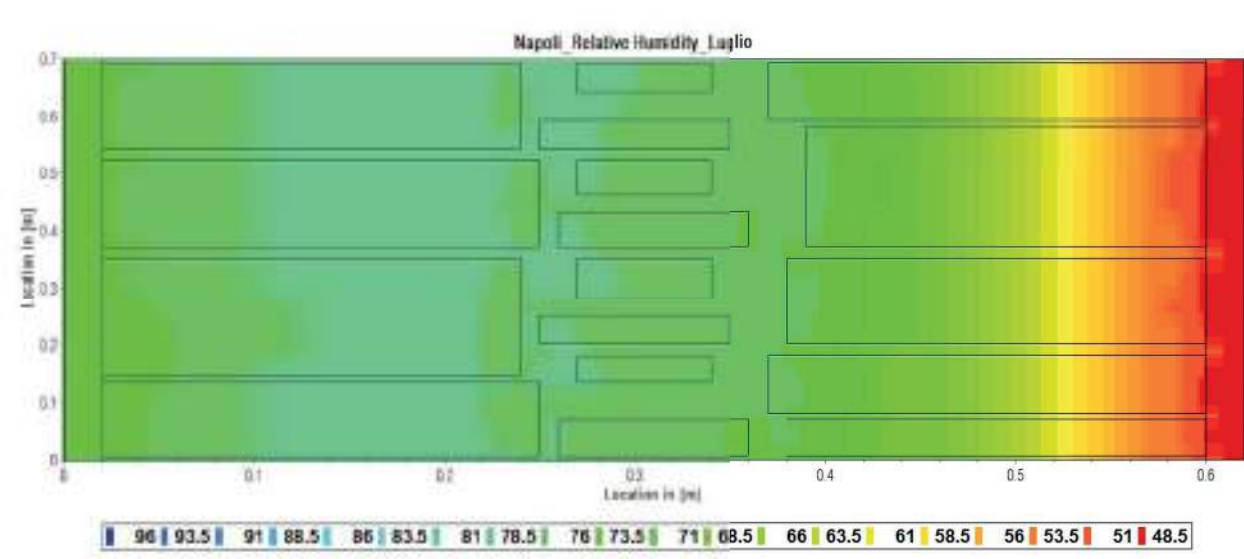


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

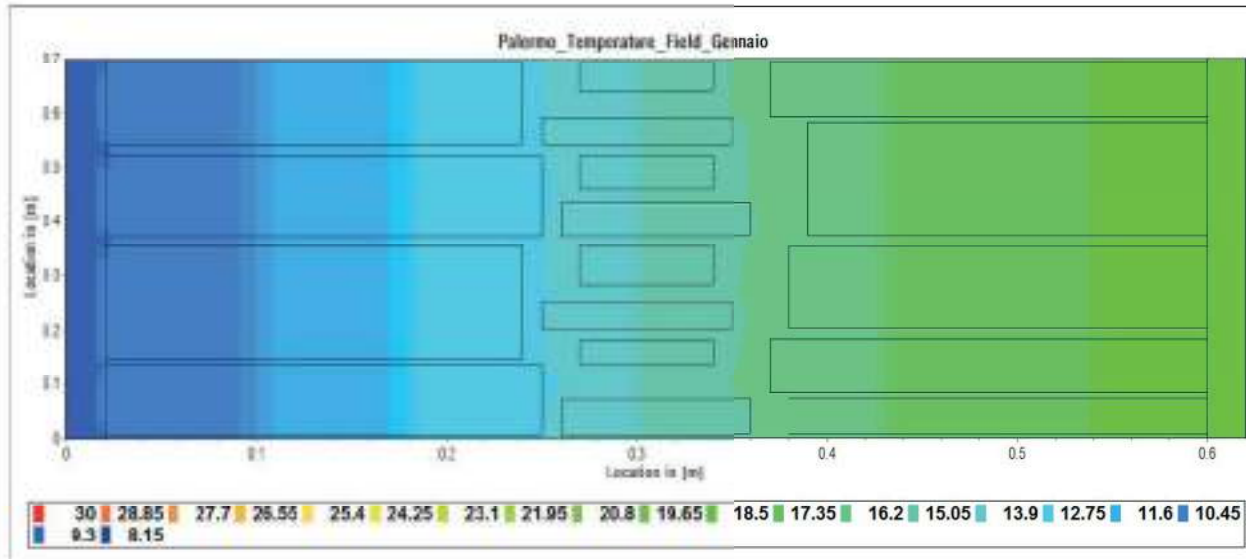


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

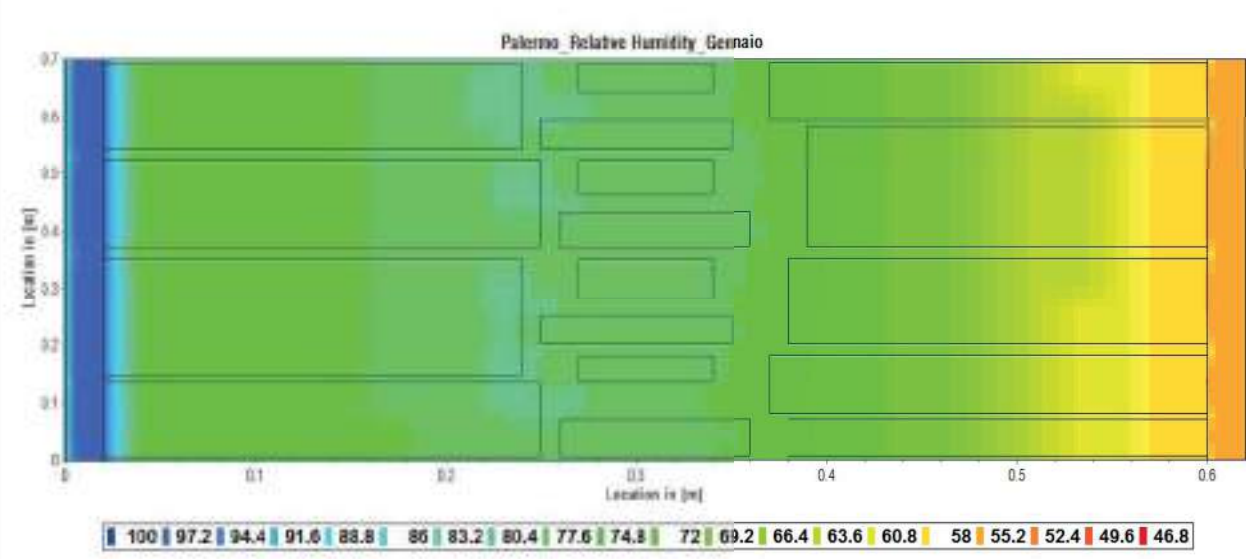


# ZONA CLIMATICA B PALERMO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

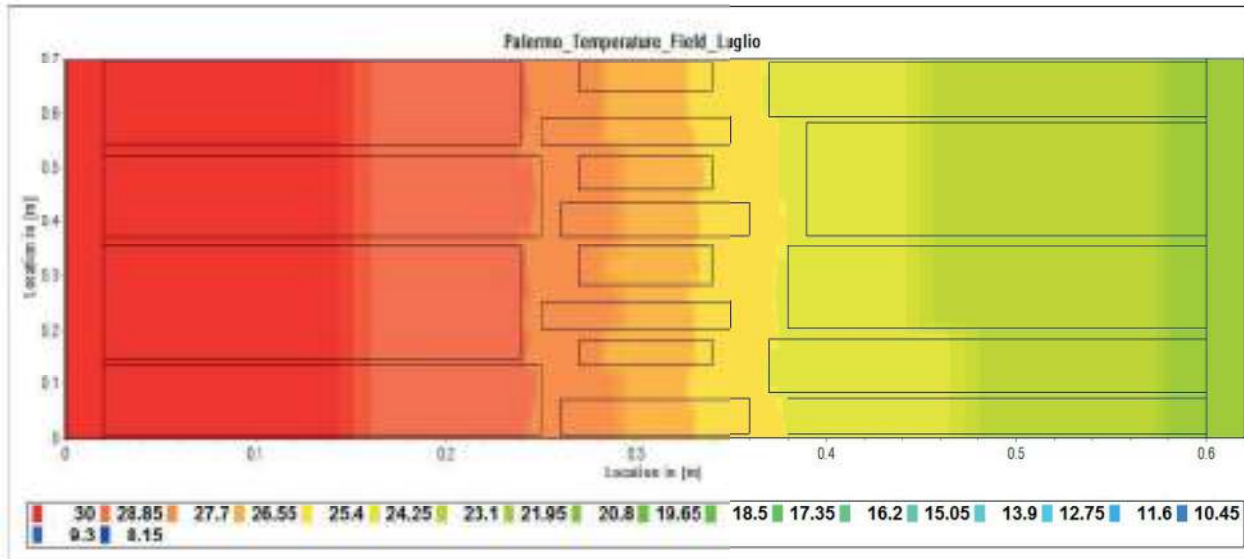


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

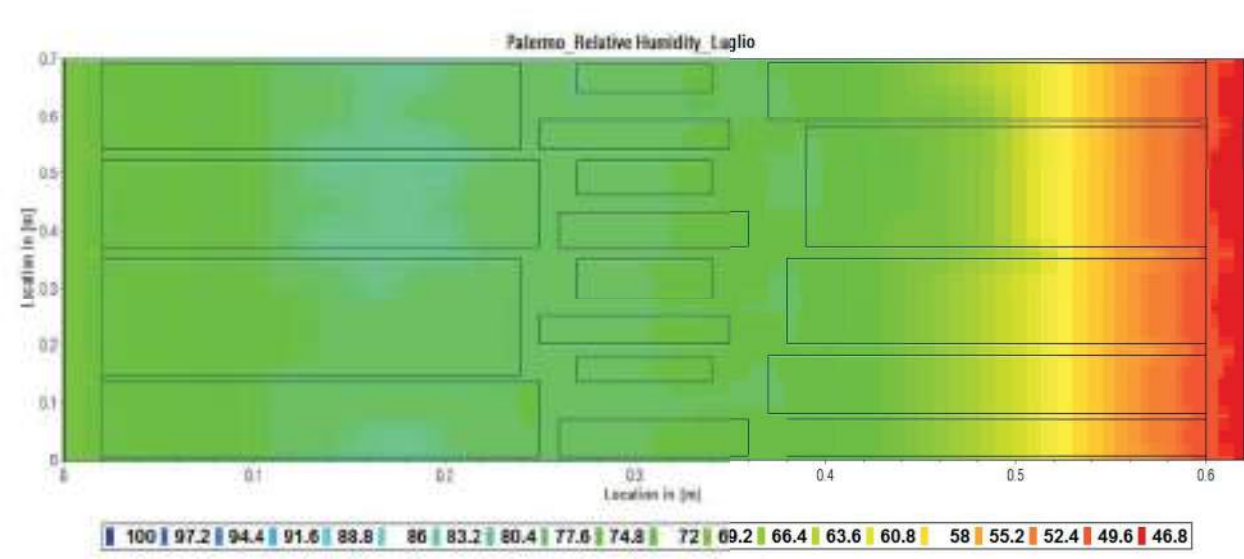


# ZONA CLIMATICA B PALERMO

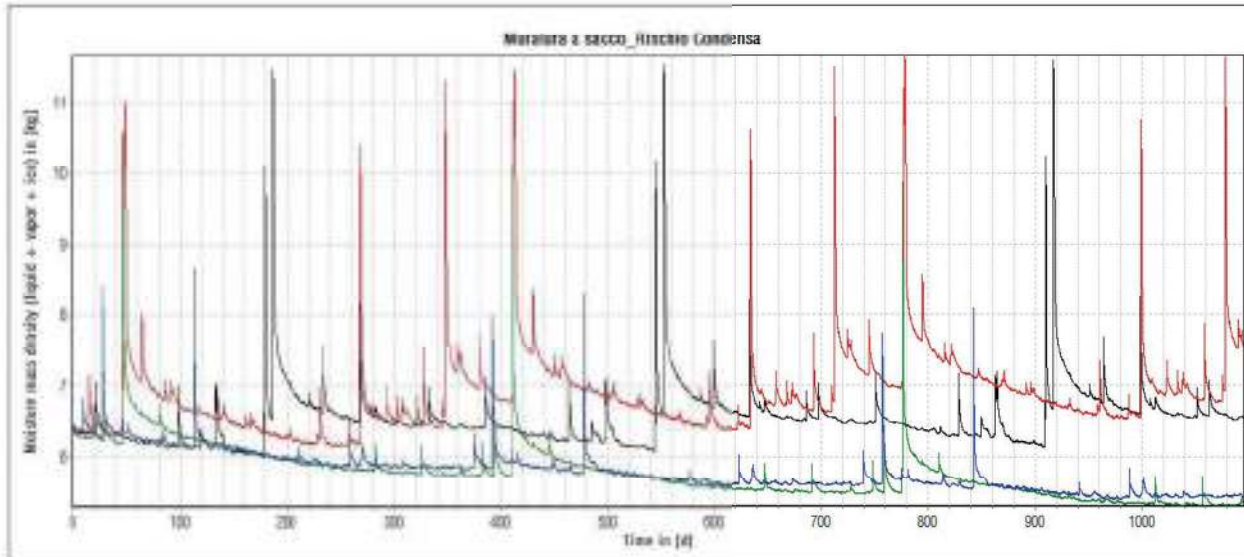
## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE



## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE



# VALUTAZIONE DEI RISULTATI



## ZONE CLIMATICHE A CONFRONTO

CITTA'	ZONA CLIMATICA	RISCHIO CONDENZA
BOLZANO 	E	
ANCONA 	D	
NAPOLI 	C	
PALERMO 	B	

In tutti e quattro i casi la parete è considerata esposta a Ovest con pioggia battente, ovvero nella condizione più sfavorevole, dove il rischio della formazione di condensa è più elevato.

 Alto rischio

 Discreto rischio

 Basso rischio



## 9.3 Muratura in pietra dal nucleo incastrato

La muratura in pietra dal nucleo incastrato o ammorsato è un precursore del sistema in laterizio, che in realtà non l'ha mai sostituita completamente. Costituita da due paramenti affiancati e incastrati tra loro tramite l'utilizzo di diatoni, può presentarsi in due forme differenti: una più simile alla muratura a sacco, in cui possiamo riscontrare la presenza di un piccolo nucleo riempito con materiale differente dal principale e in cui i paramenti murari sono costituiti da pietre sbazzate e poco regolari; l'altra realizzata per mezzo di pietre tagliate accuratamente secondo le regole della stereotomia, che quindi creano una struttura piuttosto regolare con giunti di malta che non variano eccessivamente l'uno dall'altro nello spessore.

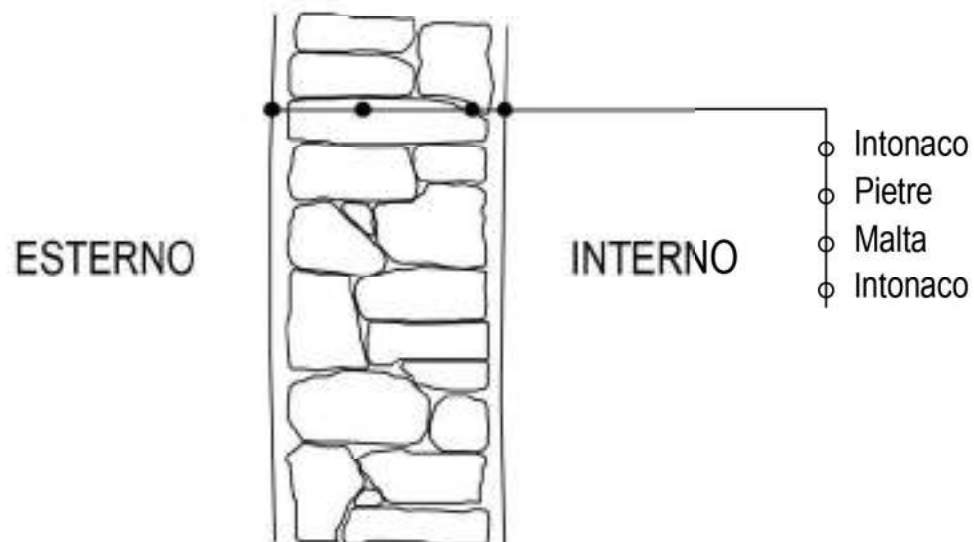
All'interno del software utilizzato per le simulazioni termo-igrometriche la struttura è stata rappresentata costituita da una serie di elementi lapidei di diverse dimensioni, senza trascurare la presenza di malta tra i vari elementi.

Le scelte rappresentative hanno cercato di avvicinarsi il più possibile ad un ipotetico scenario reale. Le dimensioni dei blocchi possono ovviamente variare da una struttura all'altra, per questo motivo il nostro scenario di riferimento cerca di variare molto gli elementi inseriti.

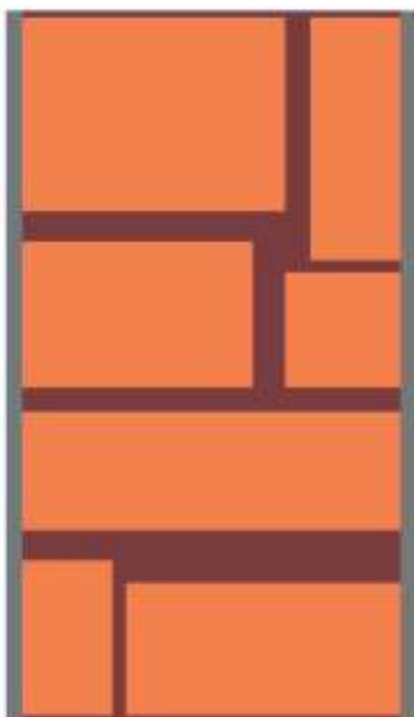
Nonostante la struttura molto più omogenea di quella a sacco, non si ritiene opportuno trascurare l'elemento malta, in quanto in alcuni casi gli spessori possono essere ancora molto elevati e rappresentare un punto debole della struttura.

# MURATURA CON NUCLEO AMMORSATO

## SISTEMA COSTRUTTIVO



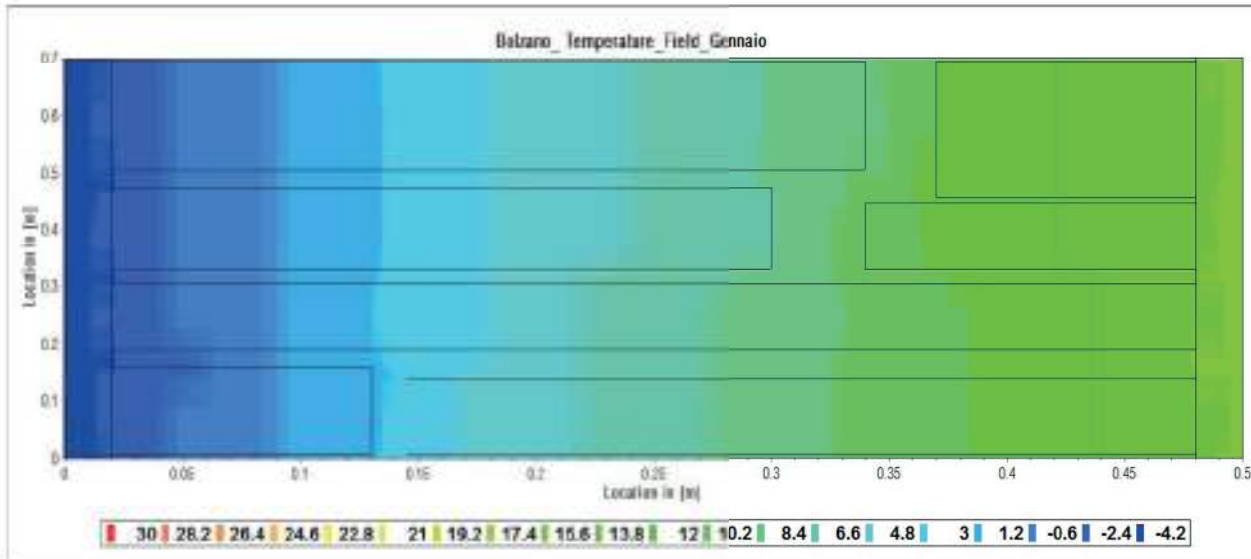
## SCELTE OPERATE ALL'INTERNO DEL SOFTWARE



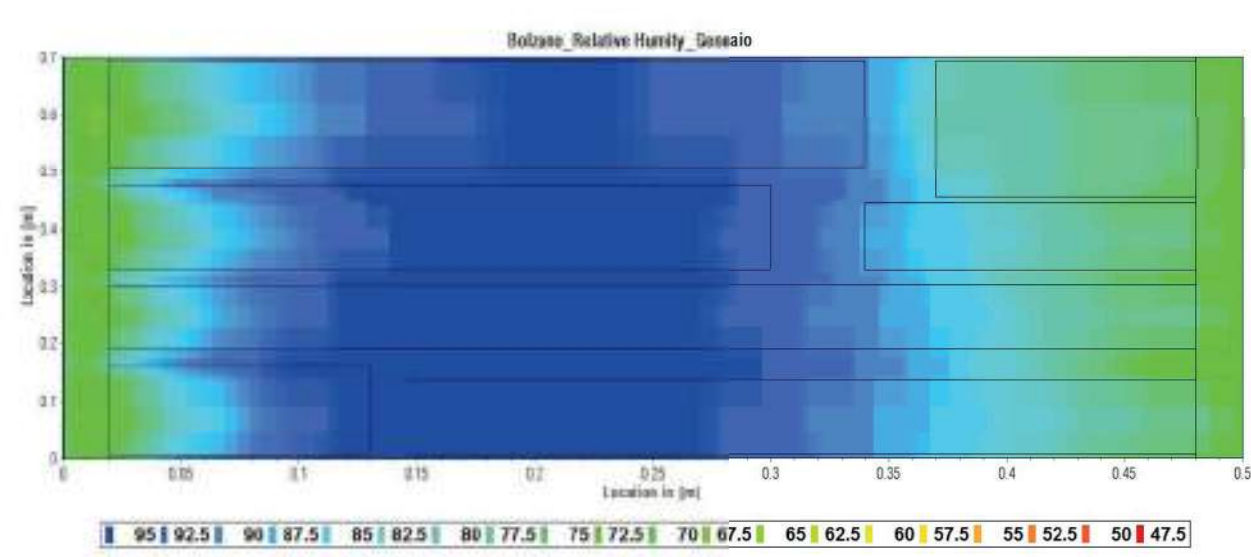
MATERIALE	DIMENSIONI (cm)	CONDUTTIVITA' ( $\lambda$ )
Intonaco esterno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK
Blocchi in pietra calcarea Sandstone Velbke	Dimensioni variabili da pochi cm a grandi blocchi	1,83 W/mK
Malta di argilla Clay Mortar (historical)	1 cm a -- 4 cm	0,58 W/mK
Intonaco interno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK

# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

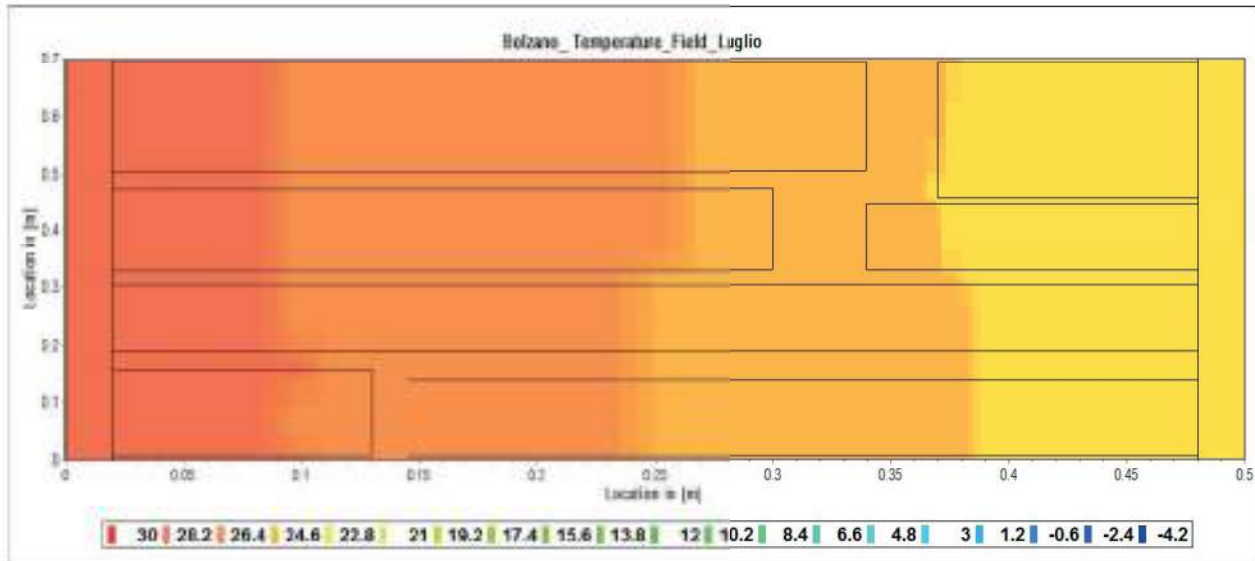


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

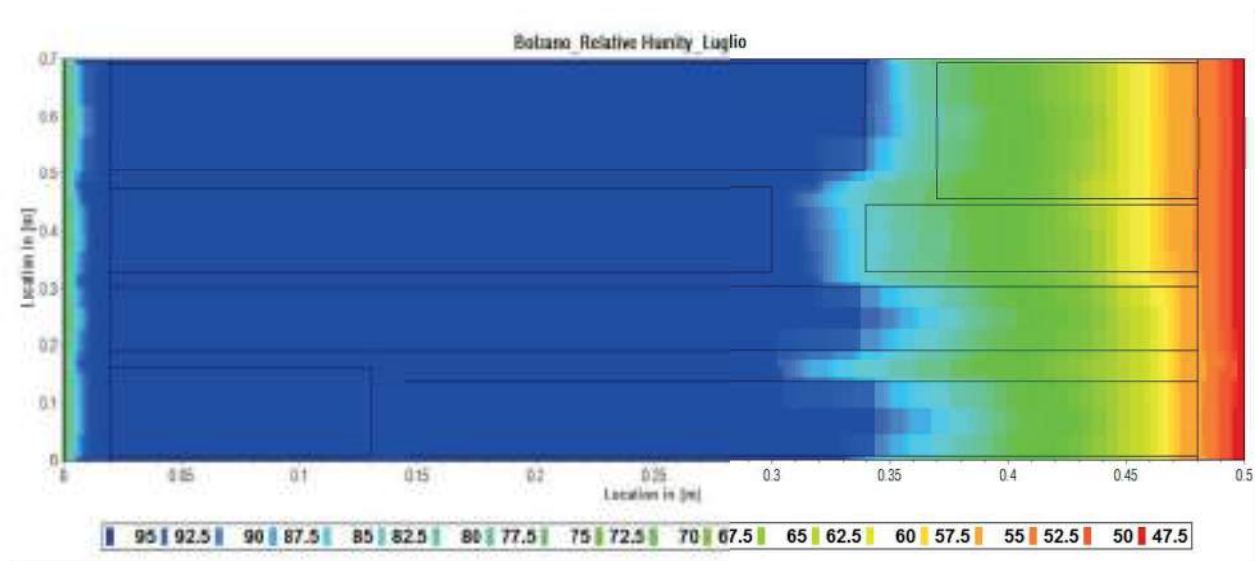


# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

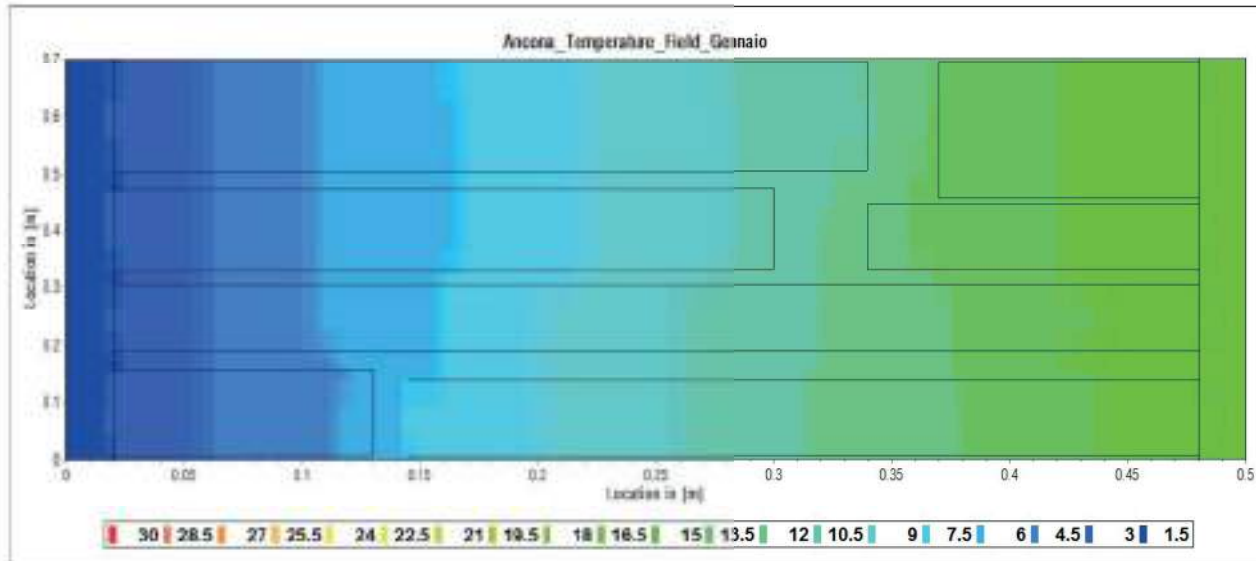


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

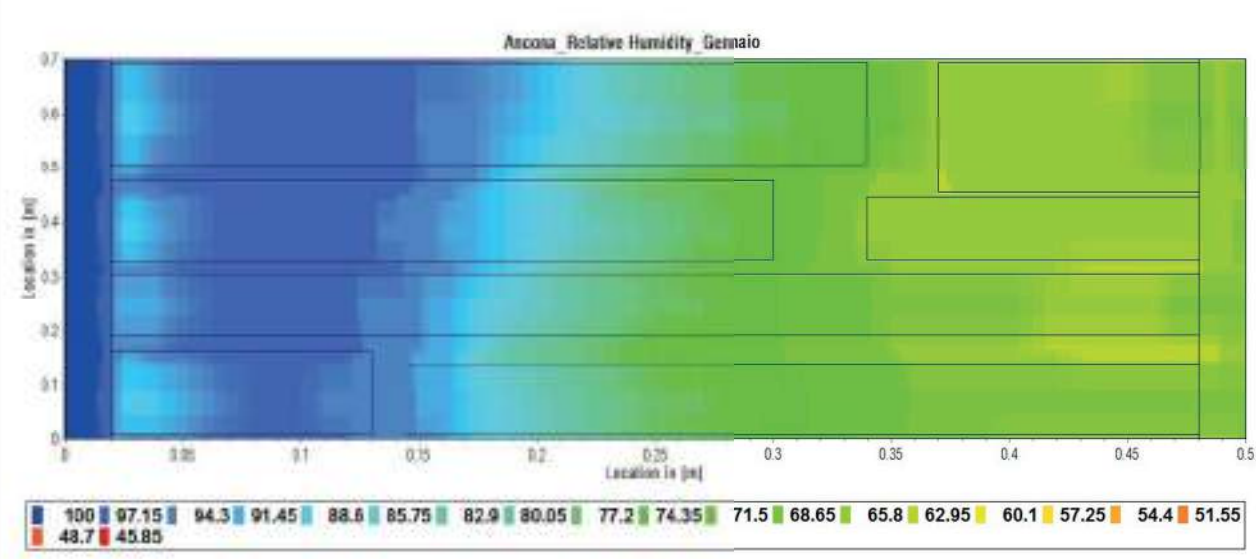


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

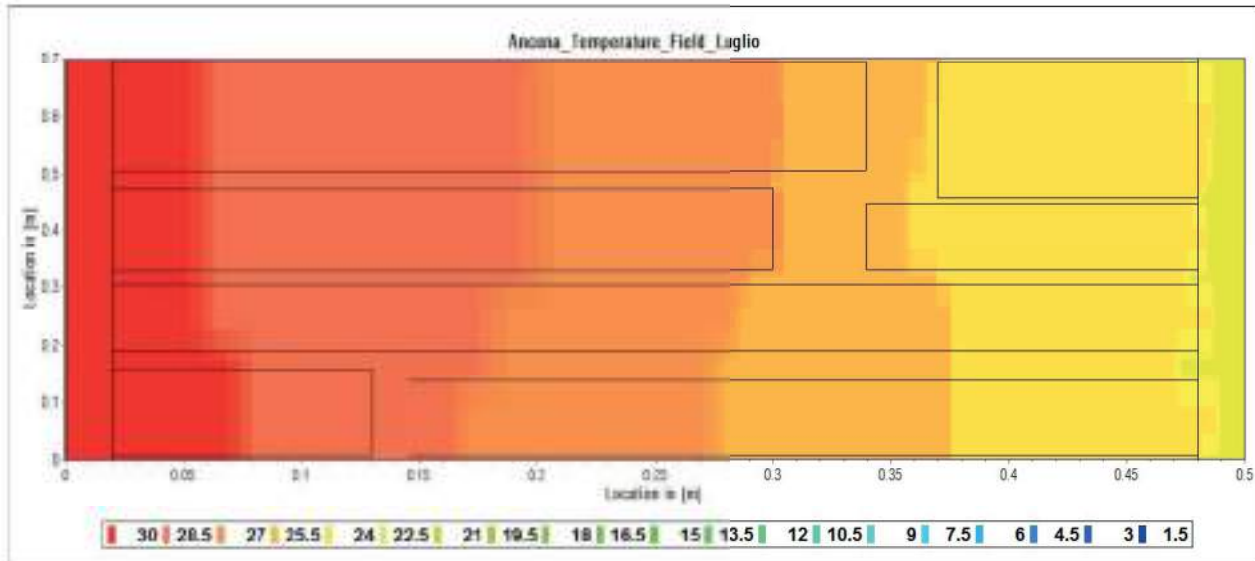


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

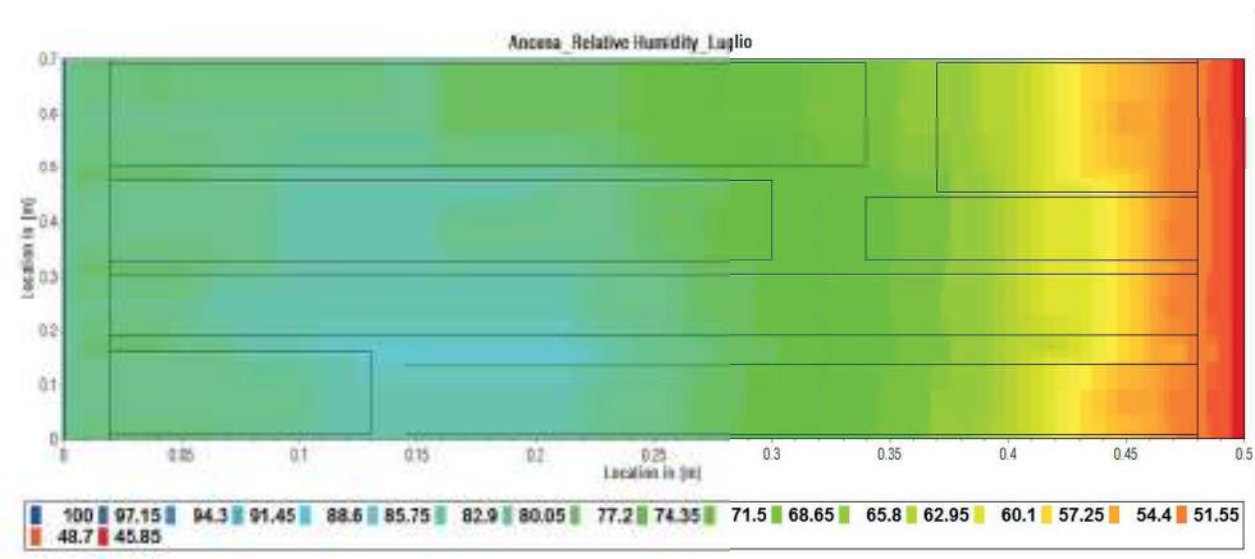


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

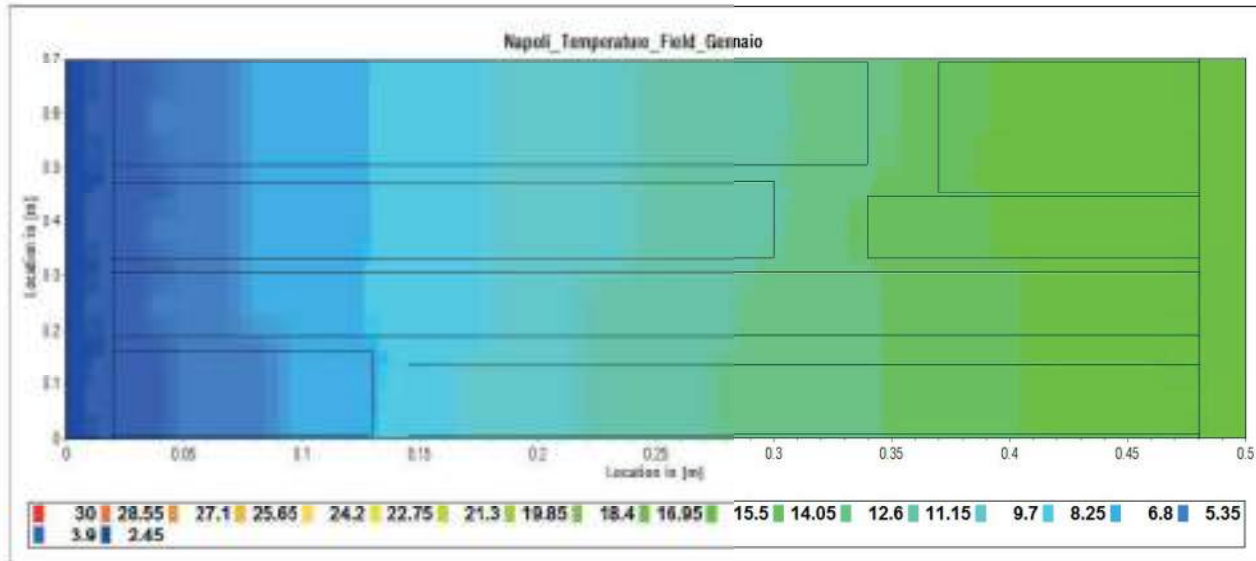


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

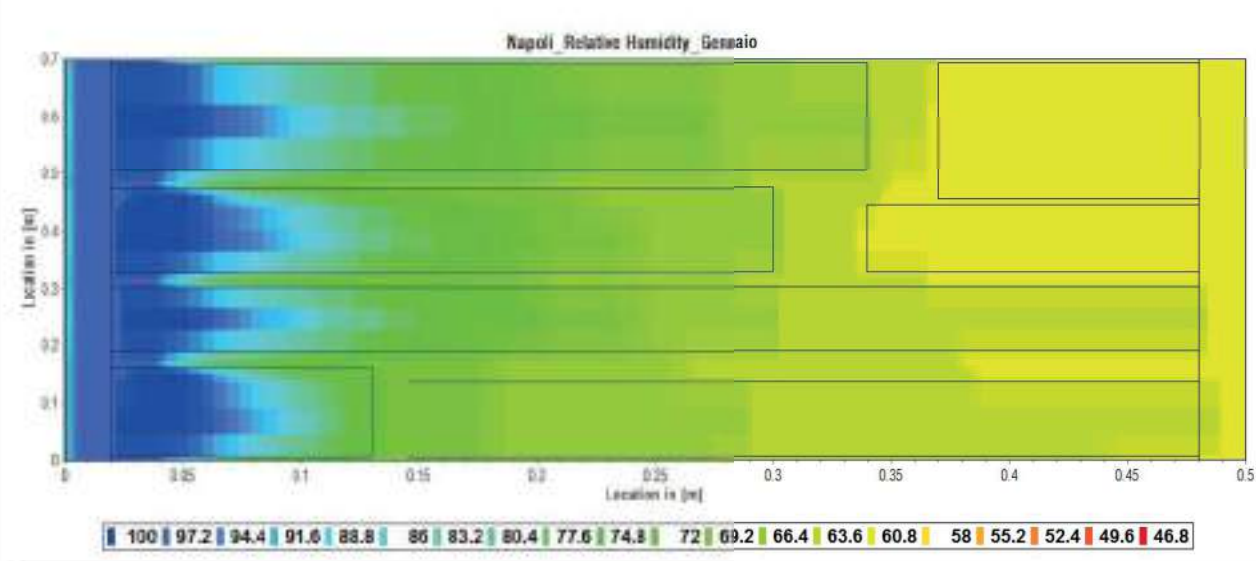


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

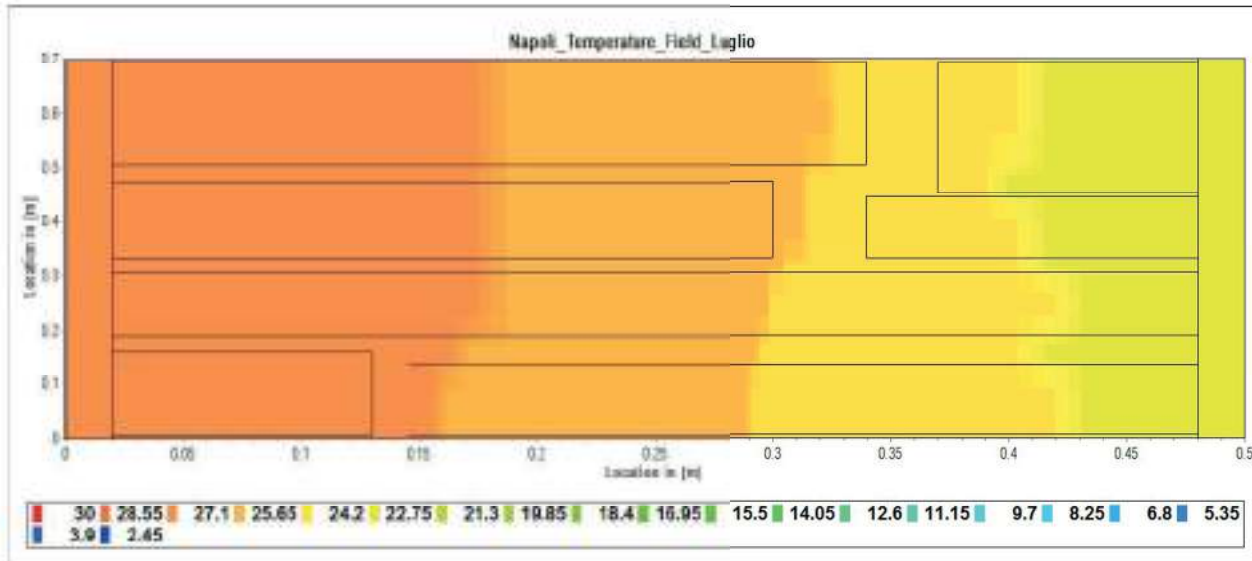


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

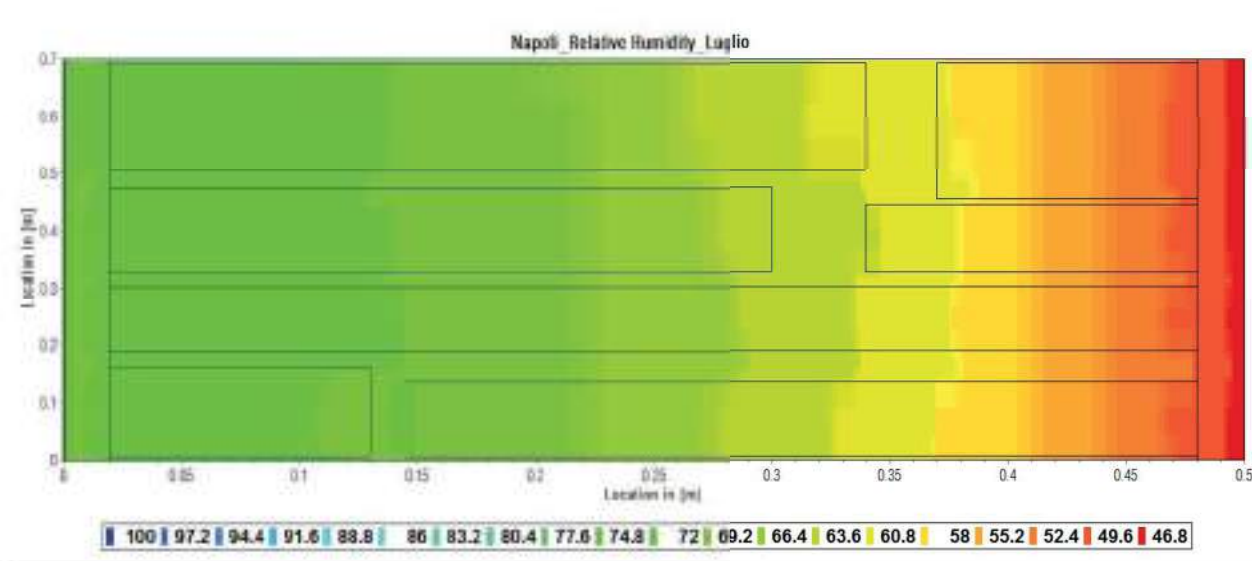


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

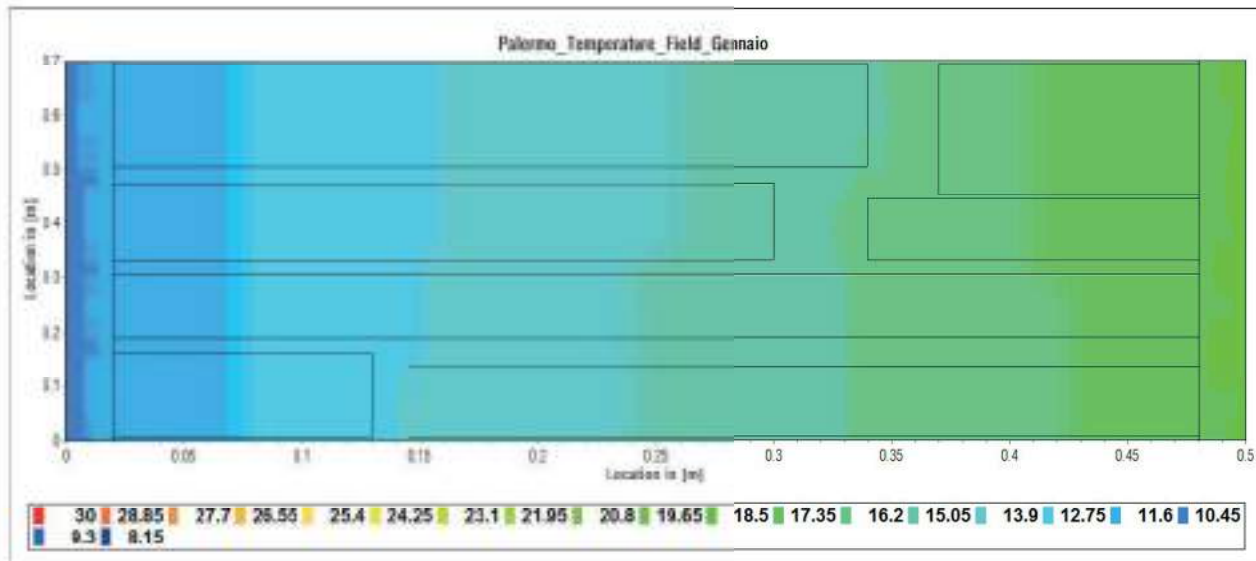


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

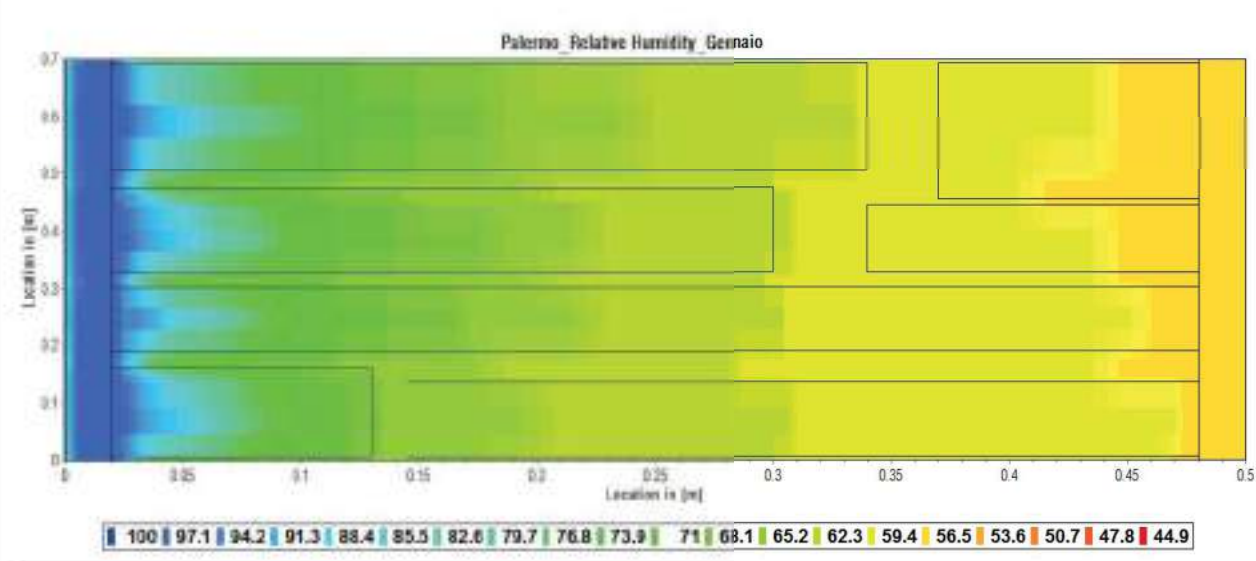


# ZONA CLIMATICA B PALERMO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

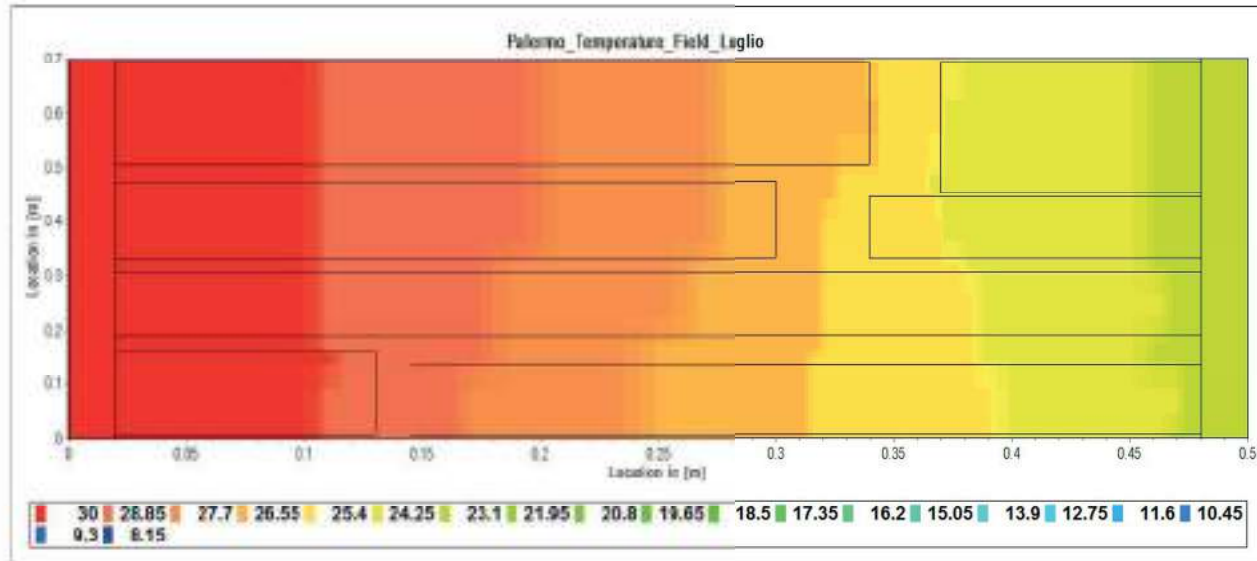


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

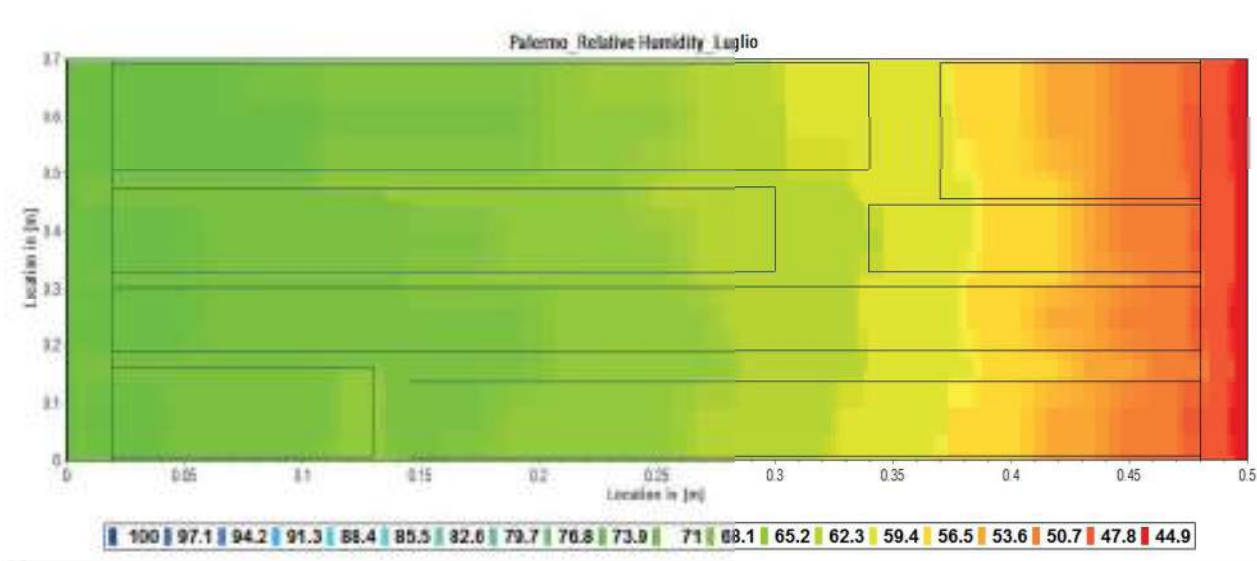


# ZONA CLIMATICA B PALERMO

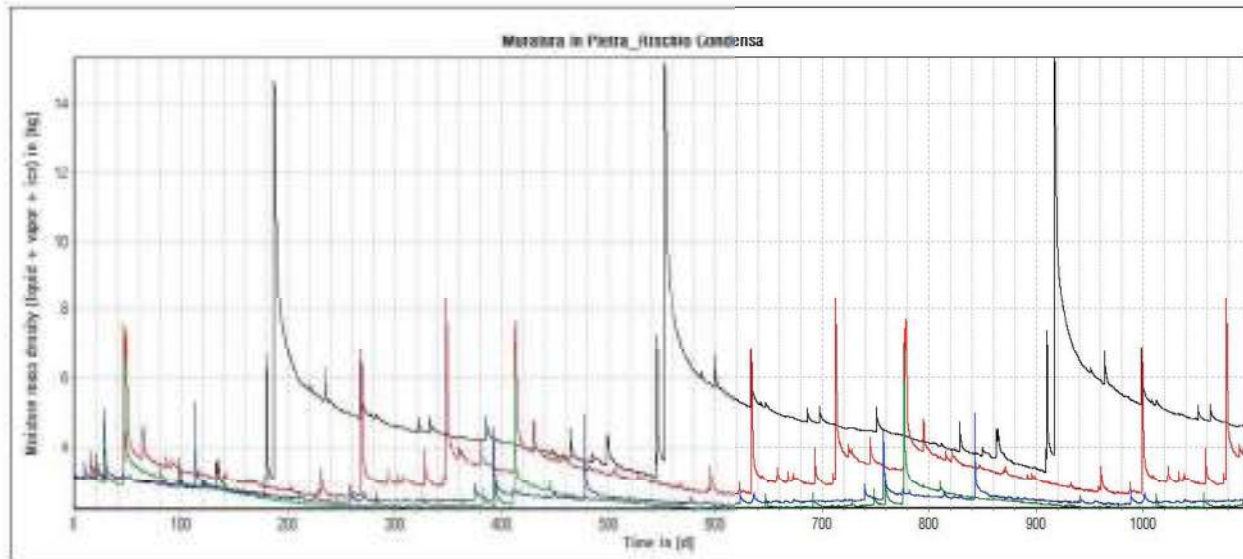
## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE



## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE




# VALUTAZIONE DEI RISULTATI




## ZONE CLIMATICHE A CONFRONTO

CITTA'	ZONA CLIMATICA	RISCHIO CONDENSA
BOLZANO 	E	
ANCONA 	D	
NAPOLI 	C	
PALERMO 	B	

In tutti e quattro i casi la parete è considerata esposta a Ovest con pioggia battente, ovvero nella condizione più sfavorevole, dove il rischio della formazione di condensa è più elevato.

 Alto rischio

 Discreto rischio

 Basso rischio



## 9.4 Muratura in laterizio

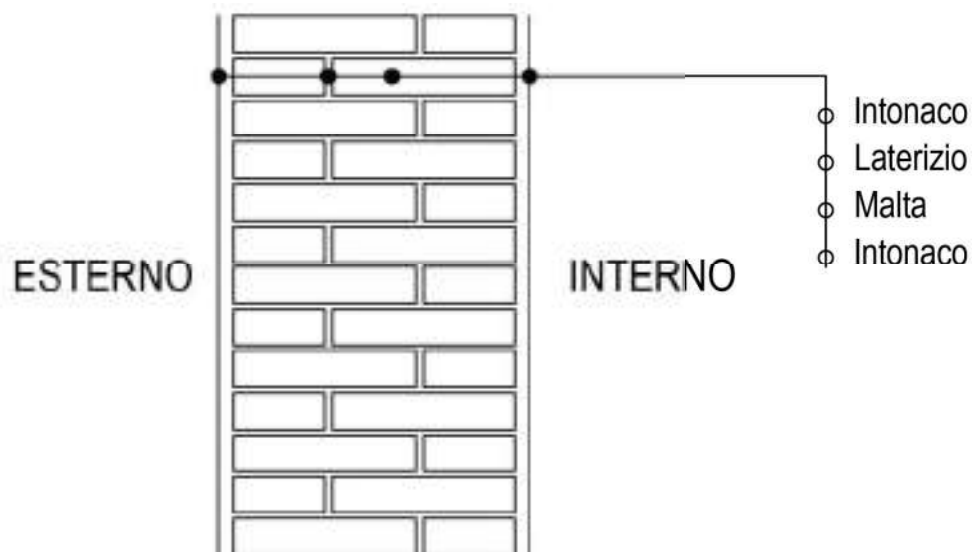
La muratura in laterizio può essere formata da una, due o più file di mattoni (una testa, due teste, tre teste ecc) concatenati tra loro a formare un unico paramento murario, che varia in sezione in base alle teste e alla grandezza del laterizio stesso. Sebbene ci fossero delle regole e delle proporzioni da seguire, la grandezza del mattone e del giunto di malta variano in base all'epoca e al luogo di provenienza. Quella presa in esame in questo caso è una porzione di muro a due teste, con giunti di malta inferiori al cm e laterizio di misure 25x15x5 cm. Nonostante in questo caso la malta è veramente un elemento minimo rispetto al resto si è deciso di rappresentarla per due motivi: il primo è che facendo una prova di simulazione in cui la parete era considerata un unico blocco di laterizio i risultati ottenuti si discostavano molto da quelli della sezione in cui il legante era presente; il secondo è perché in questa sede si vogliono dare delle indicazioni a carattere generale su come approcciarsi al problema e proporre di escludere un elemento potrebbe indurre in errore in casi in cui la malta tra i laterizi si trova in quantità che superano il cm. Si pensi ad esempio a Santa Sofia ad Istanbul dove in alcuni punti lo spessore di malta eguaglia quello del laterizio, il che lo rende un materiale assolutamente non trascurabile, oltre a rappresentare un punto debole per la struttura.

Inoltre bisogna aggiungere che quando si approssima una sezione muraria ad un unico elemento omogeneo, come può essere il calcestrutto, effettivamente è così che il software lo considererà; ovvero un unico blocco di pietra o un unico grande mattone, che non è esattamente ciò con cui ci troviamo a lavorare.

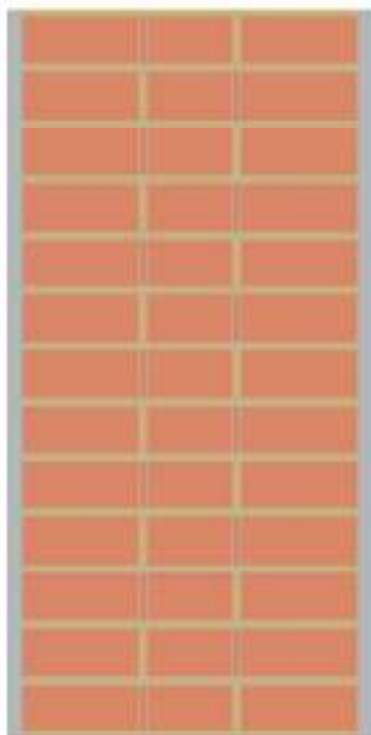
La rappresentazione grafica è delle 4 realizzate sicuramente quella che più si avvicina alla realtà vista la regolarità dei mattoni sia dal punto di vista dimensionale, che geometrico, che materico.

# MURATURA IN LATERIZIO

## SISTEMA COSTRUTTIVO



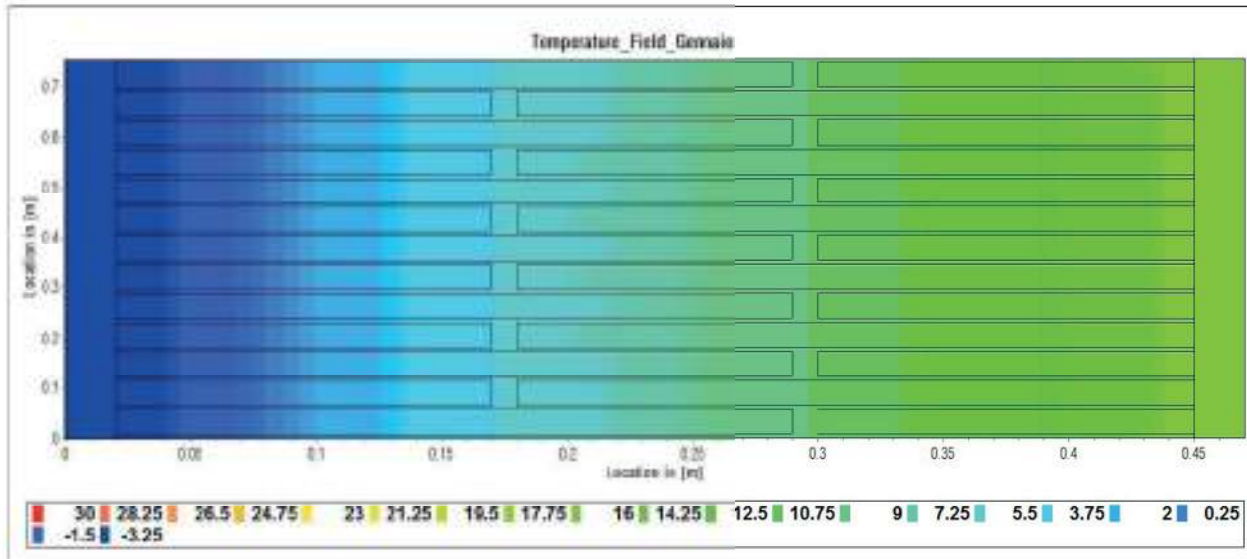
## SCELTE OPERATE ALL'INTERNO DEL SOFTWARE



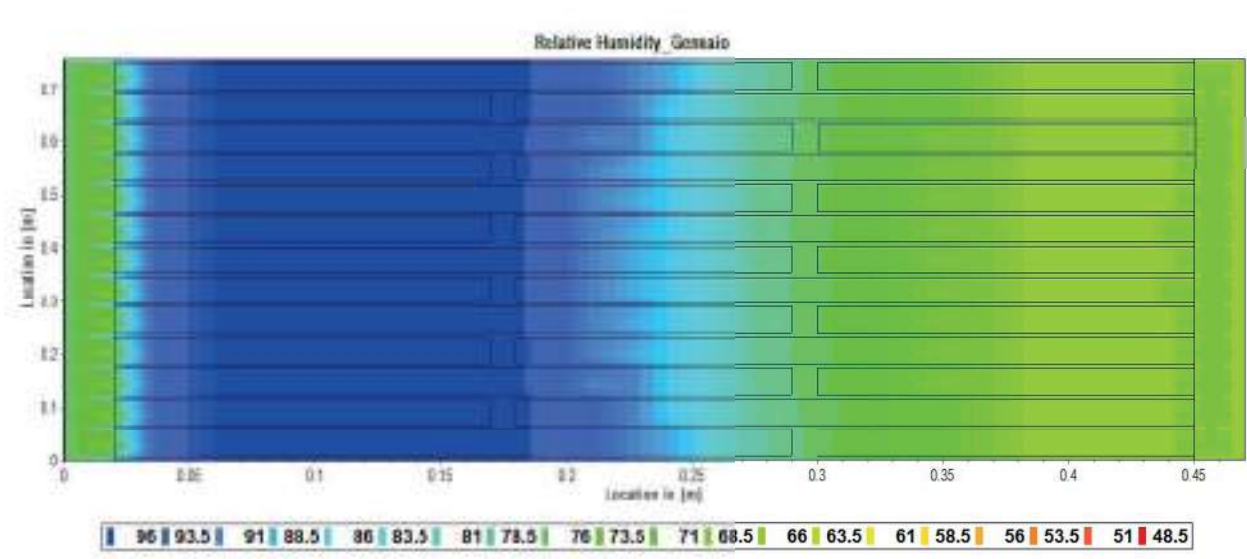
MATERIALE	DIMENSIONI (cm)	CONDUTTIVITA' ( $\lambda$ )
Intonaco esterno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK
Malta di argilla Clay Mortar (historical)	0.75 cm	0,58 W/mK
Laterizi Historical Brick (edge)	25 x 12,5 x 5 cm	0,99 W/mK
Intonaco interno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK

# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

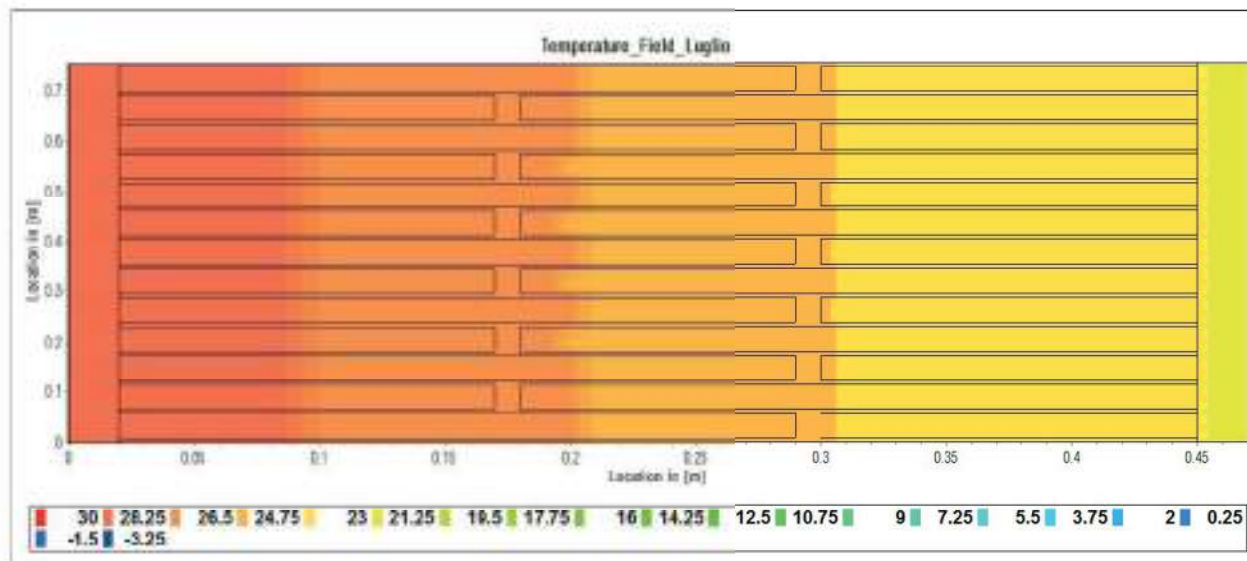


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

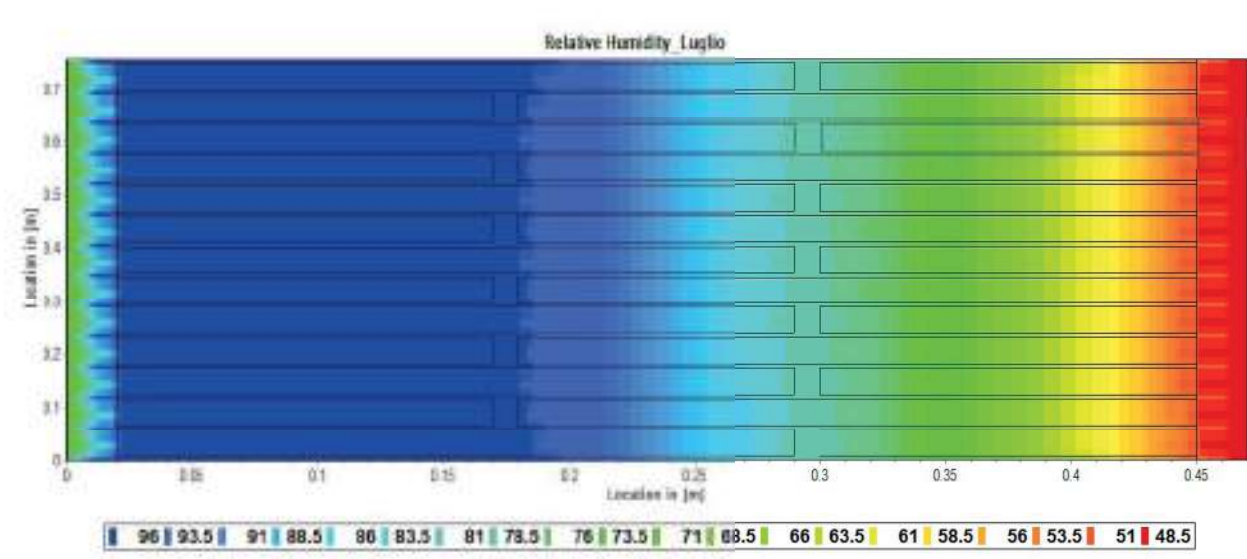


# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

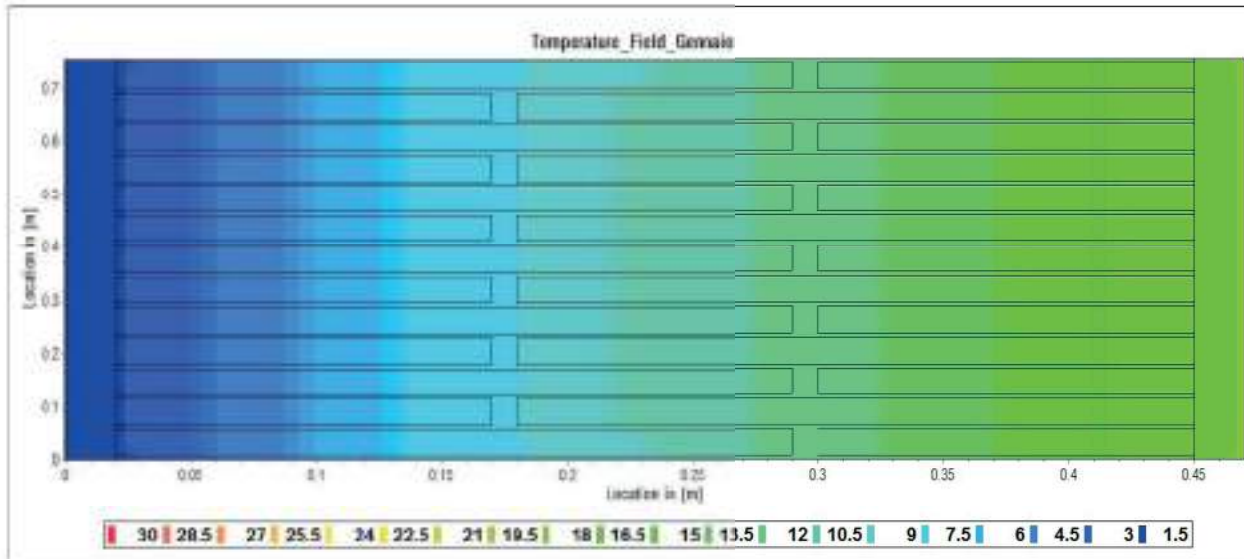


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

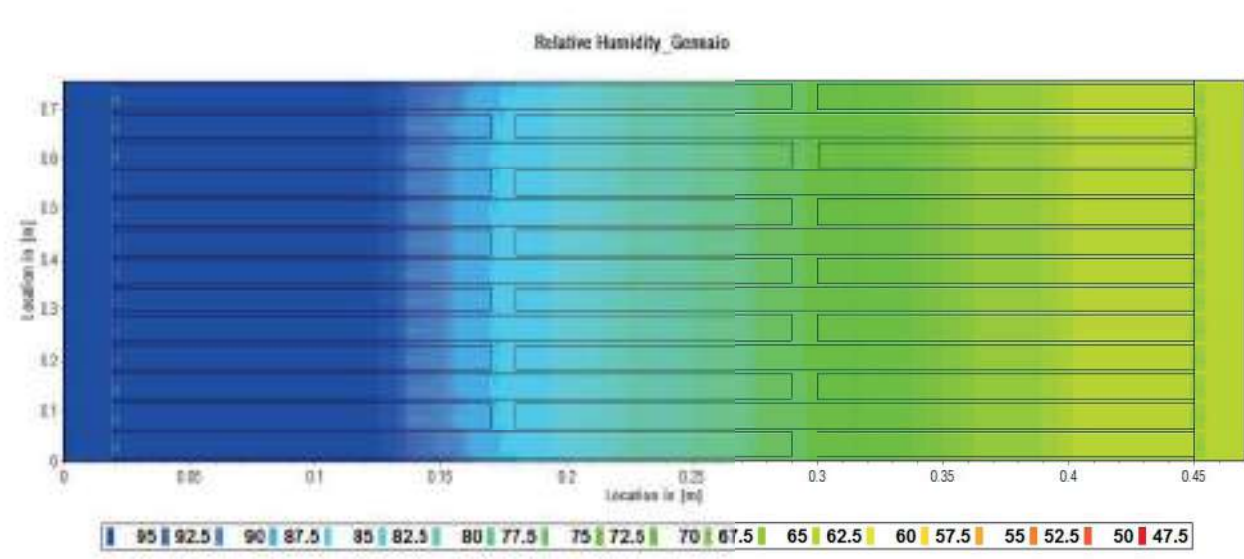


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

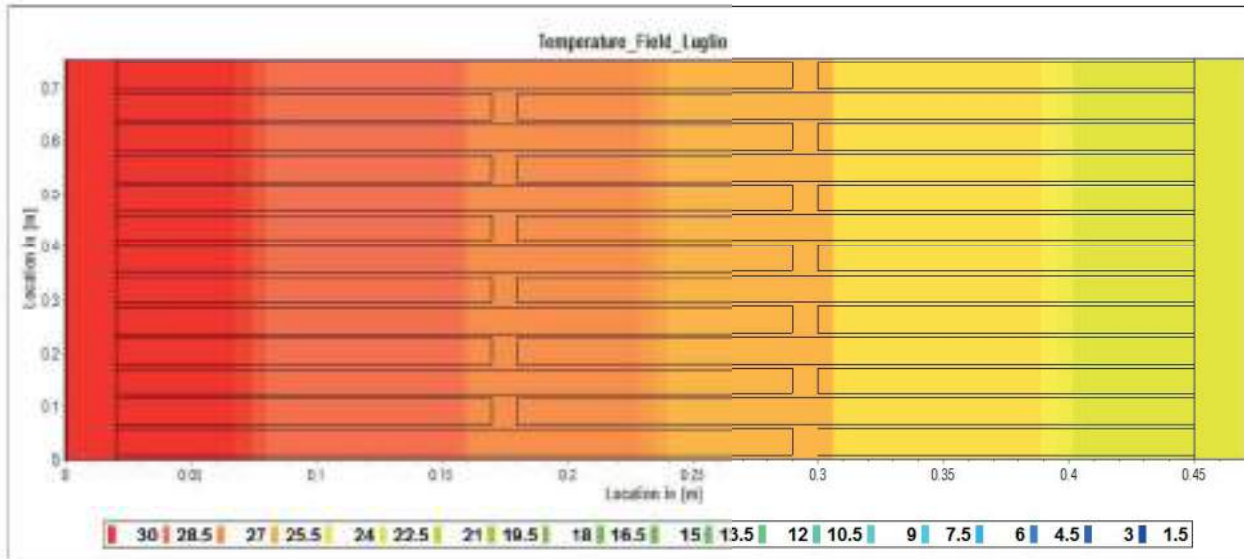


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

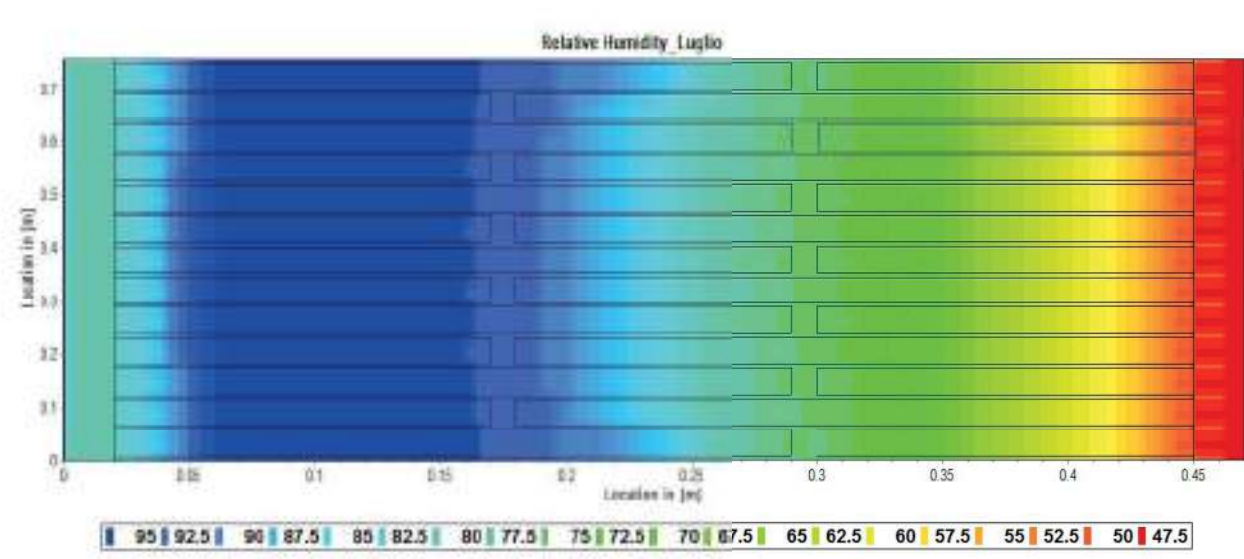


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

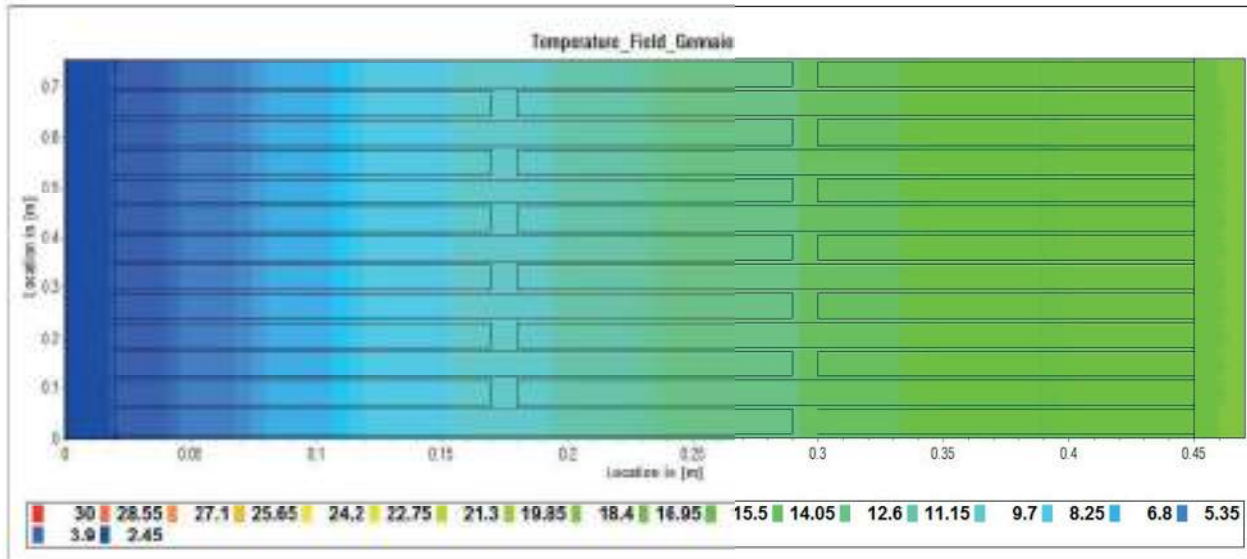


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

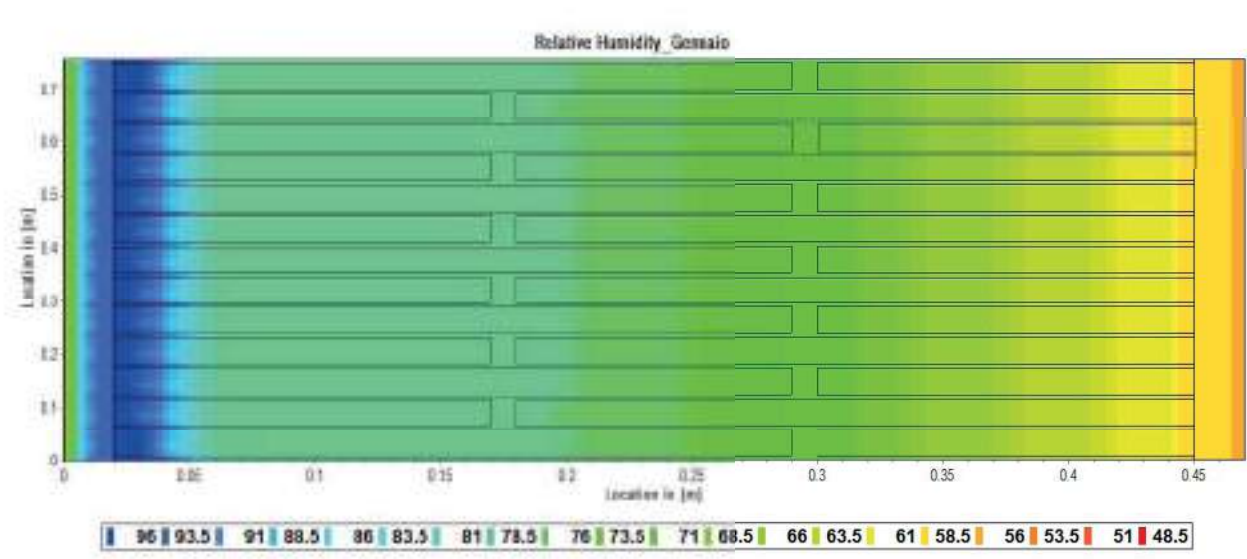


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

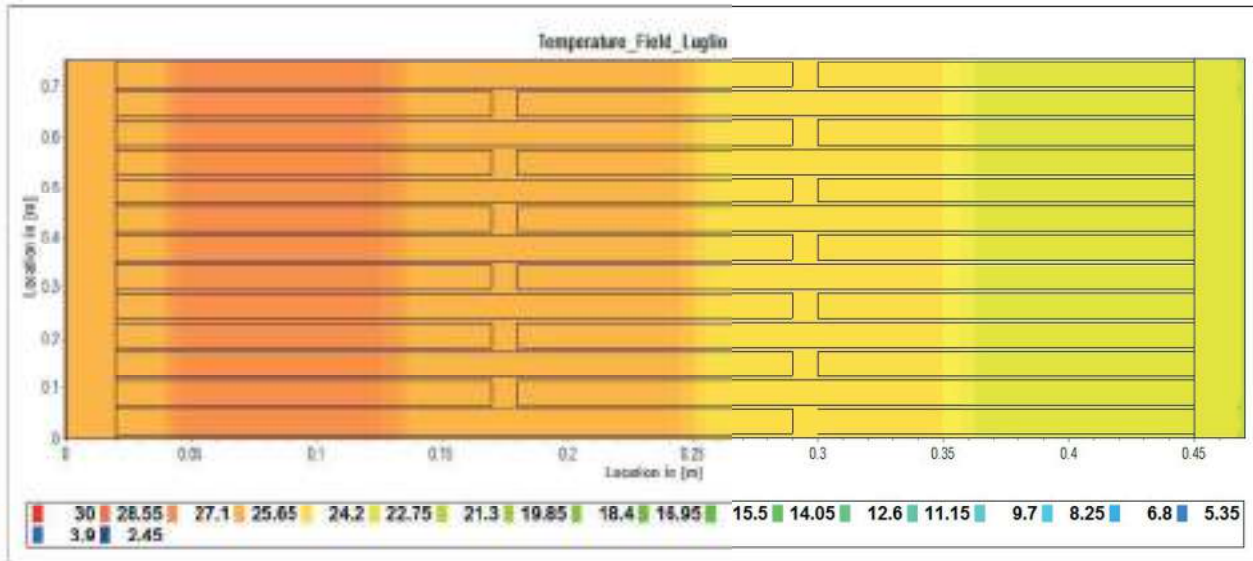


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

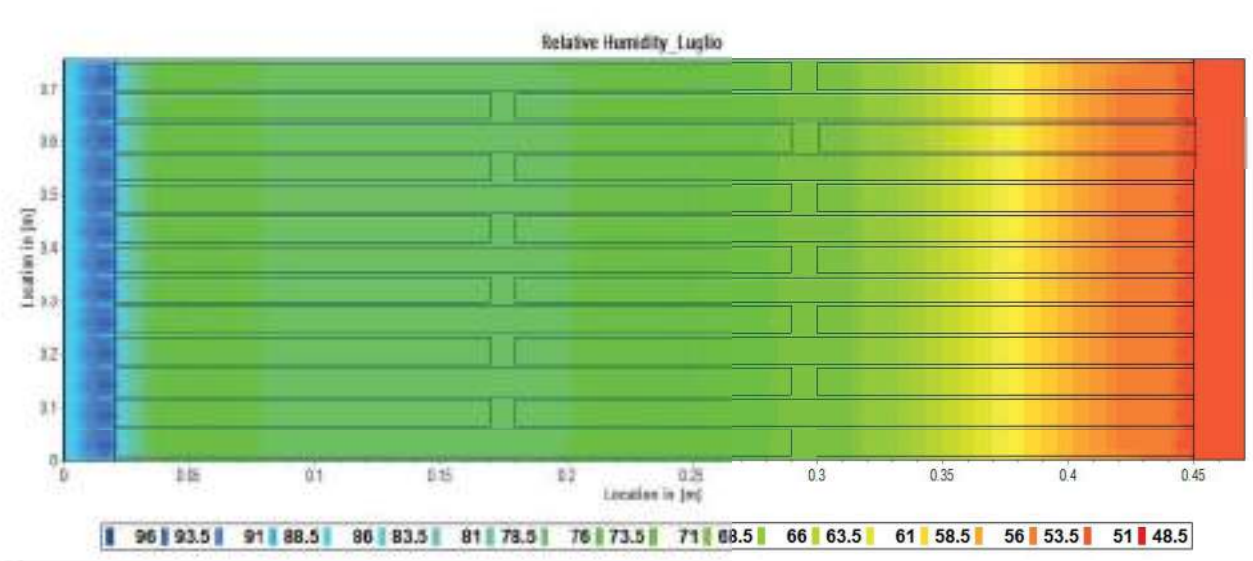


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

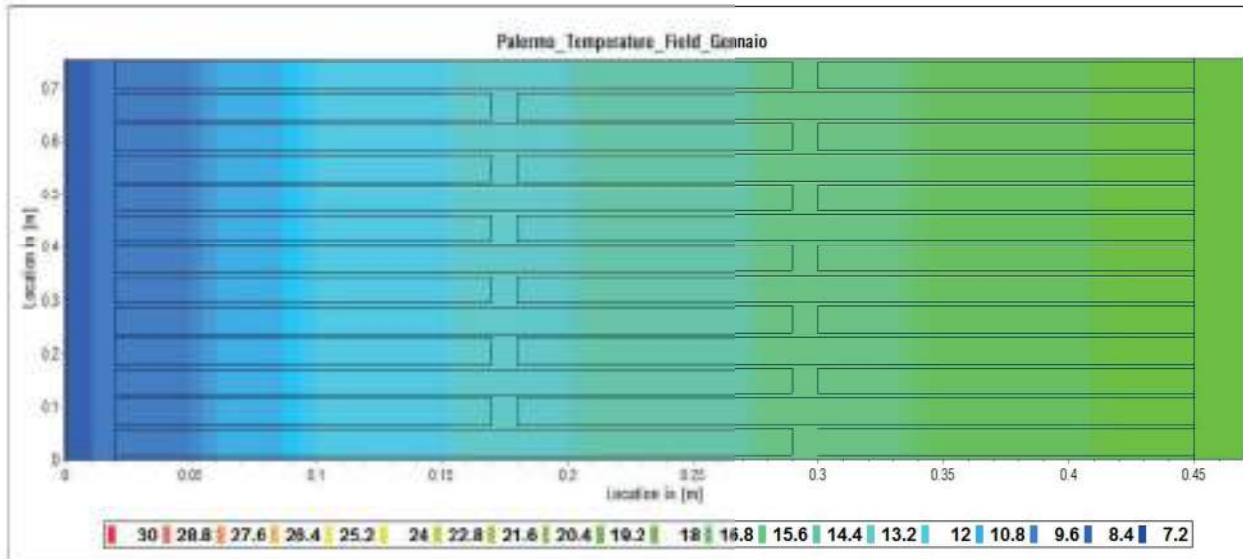


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

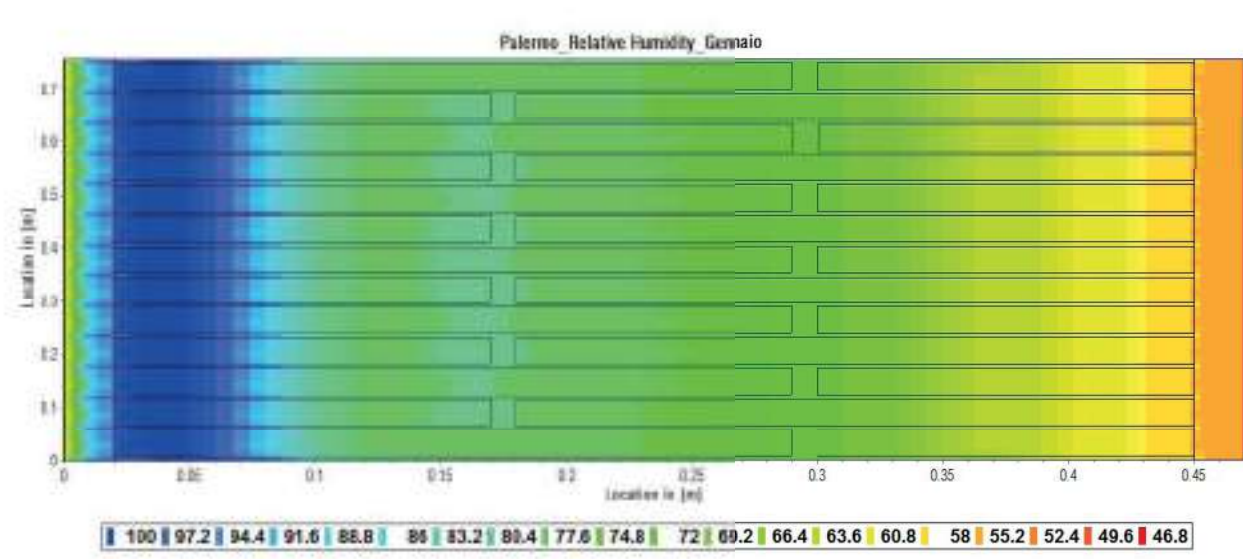


# ZONA CLIMATICA B PALERMO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

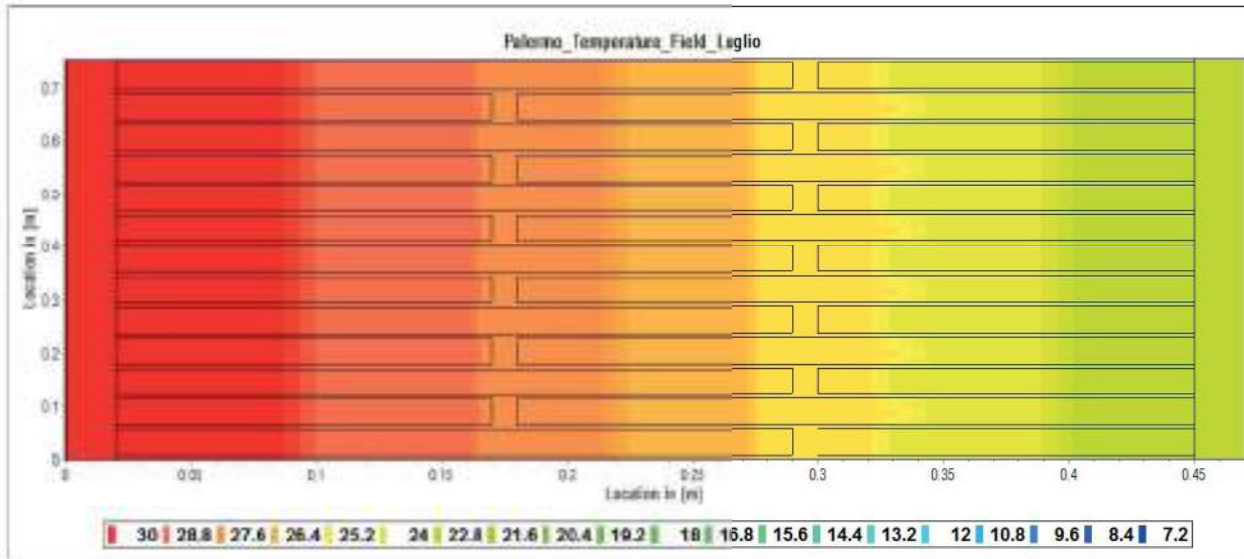


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

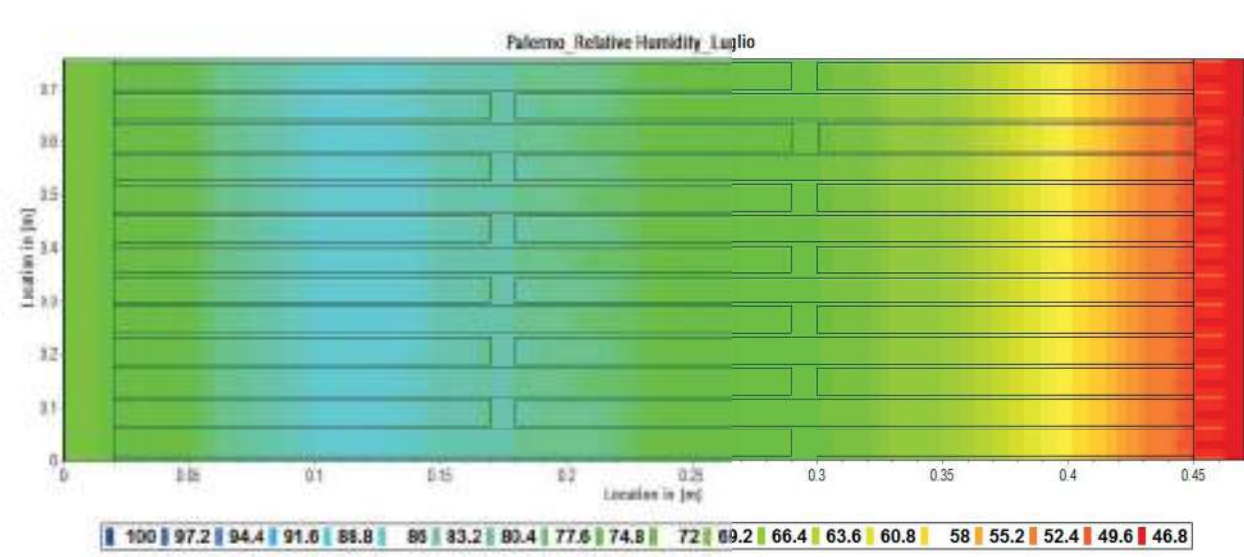


# ZONA CLIMATICA B PALERMO

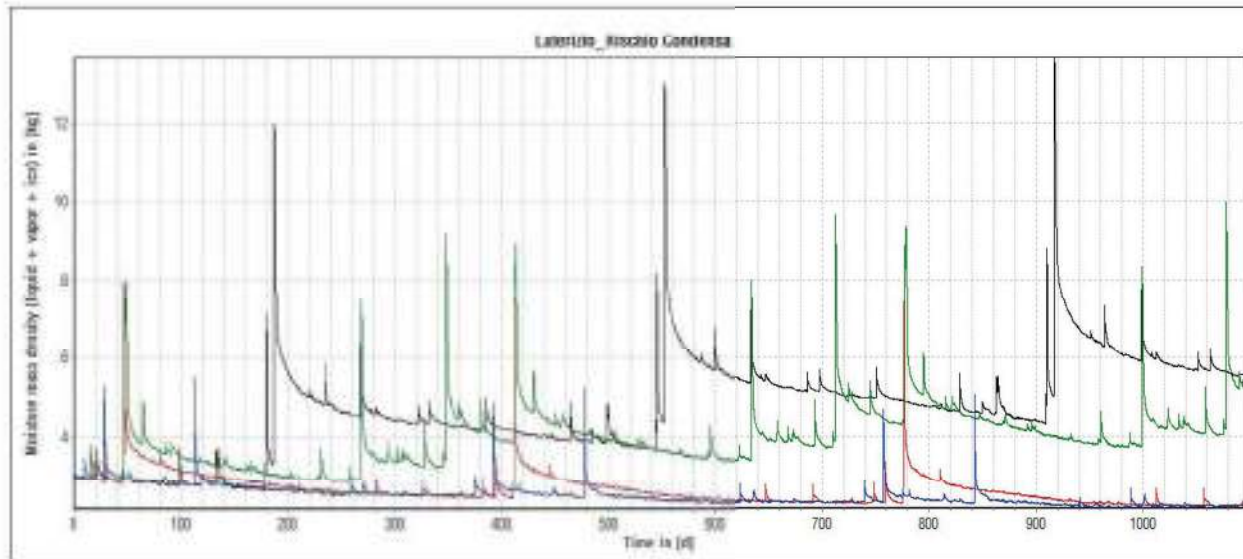
## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE




## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE



# VALUTAZIONE DEI RISULTATI



## ZONE CLIMATICHE A CONFRONTO

CITTA'	ZONA CLIMATICA	RISCHIO CONDENSA
BOLZANO 	E	
ANCONA 	D	
NAPOLI 	C	
PALERMO 	B	

In tutti e quattro i casi la parete è considerata esposta a Ovest con pioggia battente, ovvero nella condizione più sfavorevole, dove il rischio della formazione di condensa è più elevato.

 Alto rischio

 Discreto rischio

 Basso rischio



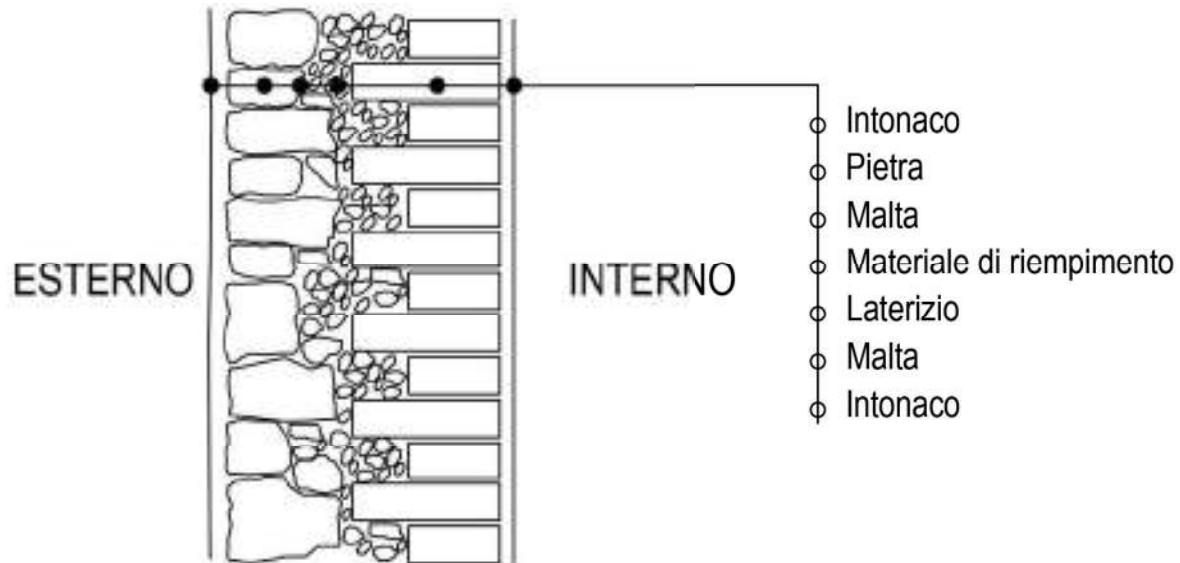
## 9.5 Muratura mista pietra e laterizio

Per muratura mista si intende un tipo di parete costituita da materiali costruttivi differenti posti in opera con tecnologie differenti. Quella analizzata è una sezione costituita in parte in pietra e in parte laterizio, uniti a formare un unico paramento murario. Spesso pietra e laterizio sono stati utilizzati insieme per la realizzazione di apparecchi murari, ma non sempre nella medesima combinazione: a volte il laterizio era posto esternamente ed era a vista a formare una cortina, a volte era la pietra invece che era posta esternamente, a volte l'intonaco ricopriva le pareti e la scelta di materiale misto era solo dovuta alla disponibilità dei materiali, oppure possiamo trovarli disposti orizzontalmente in strati alternati. Quindi quella proposta è una delle tante varianti che possiamo trovare, ma ci permette di avere un'idea su cosa succede quando materiali molto diversi per composizione lavorano insieme.

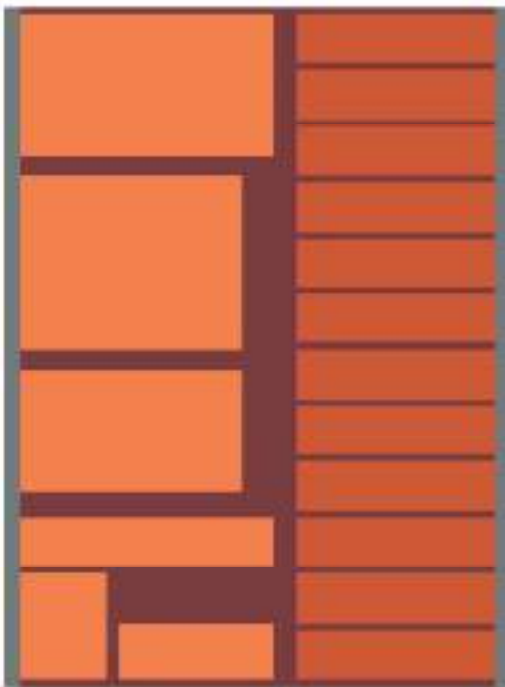
La semplificazione grafica ha tenuto conto delle peculiarità della struttura e si pone in continuità con i discorsi dei paragrafi precedenti, ovvero il laterizio corrisponde a una delle tipologie presenti anche nella realtà (25x15x5 cm), mentre i blocchi di pietra sono il frutto di ipotesi che approssimano i blocchi a dei rettangoli geometrici. Come sempre sono stati considerati tutti gli elementi compresa la malta di allettamento

# MURATURA MISTA

## SISTEMA COSTRUTTIVO



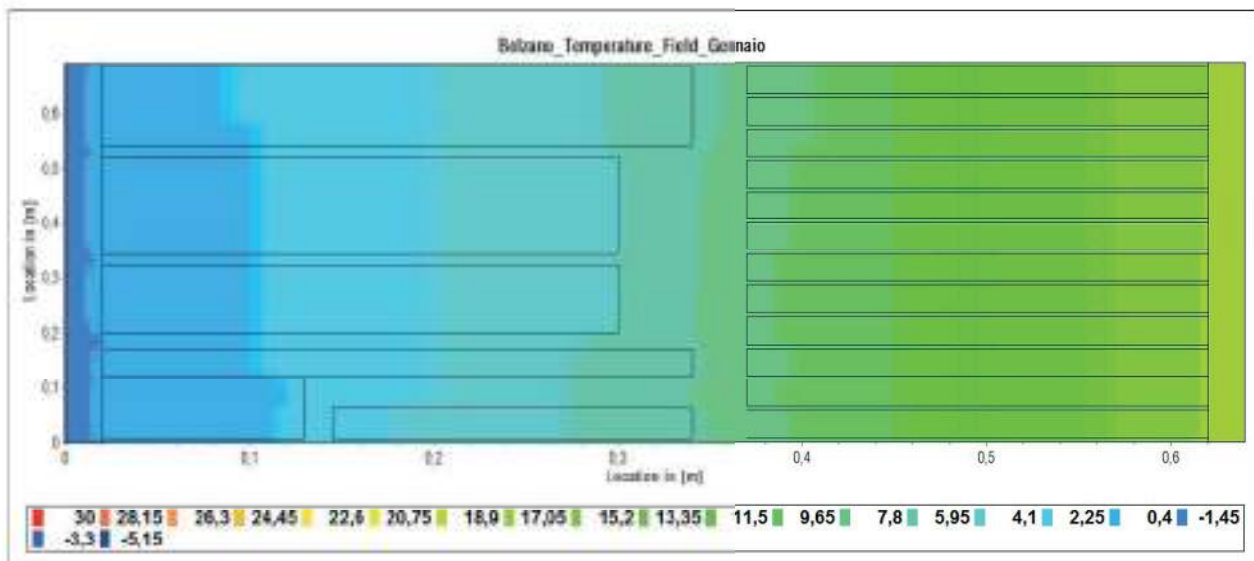
## SCELTE OPERATE ALL'INTERNO DEL SOFTWARE



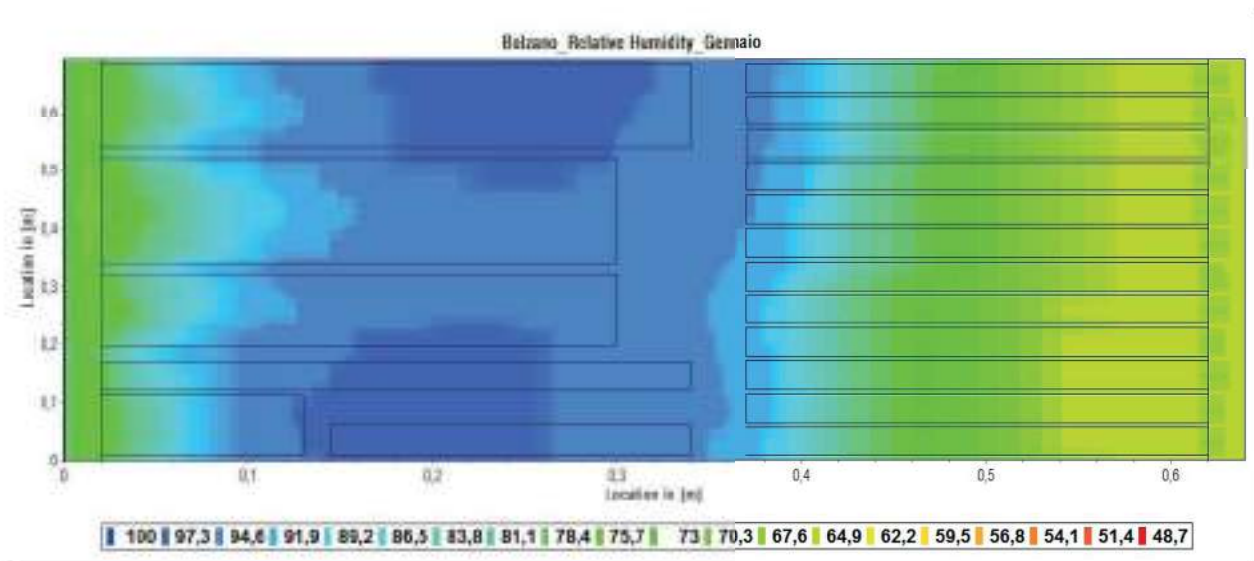
MATERIALE	DIMENSIONI (cm)	CONDUTTIVITA' ( $\lambda$ )
Intonaco esterno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK
Blocchi in pietra calcarea Sandstone Velbke	Dimensioni variabili da pochi cm a grandi blocchi	1,83 W/mK
Malta di argilla Clay Mortar (historical)	0.75 cm a -- 3 cm	0,58 W/mK
Laterizi Historical Brick (edge)	25 x 12,5 x 5 cm	0,99 W/mK
Intonaco interno in calce Lime plaster (historical)	2 cm	0,82 W/mK

# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

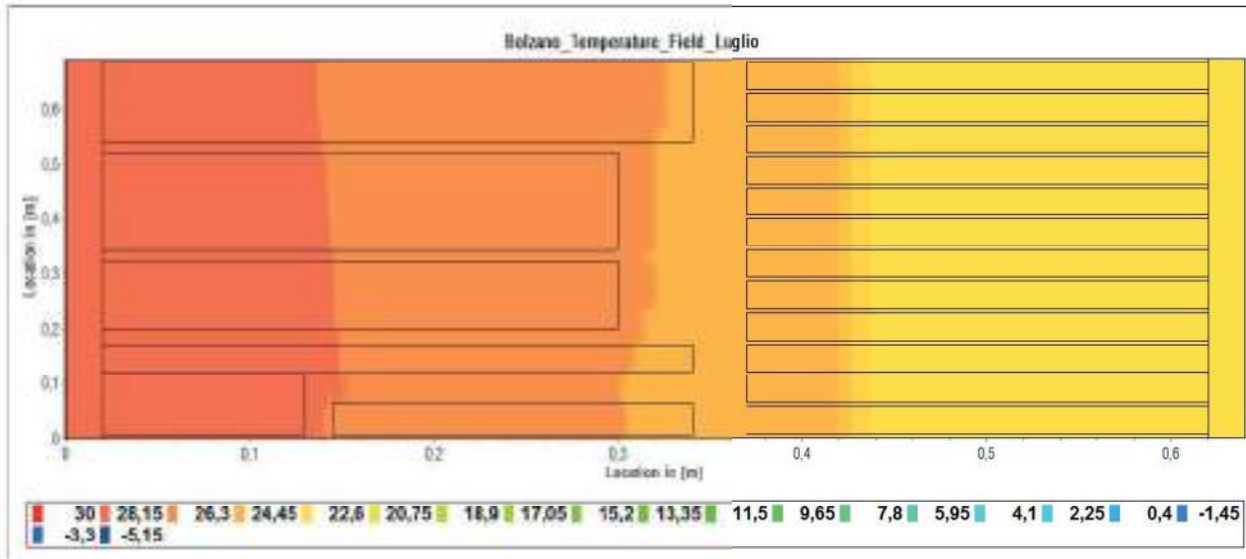


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

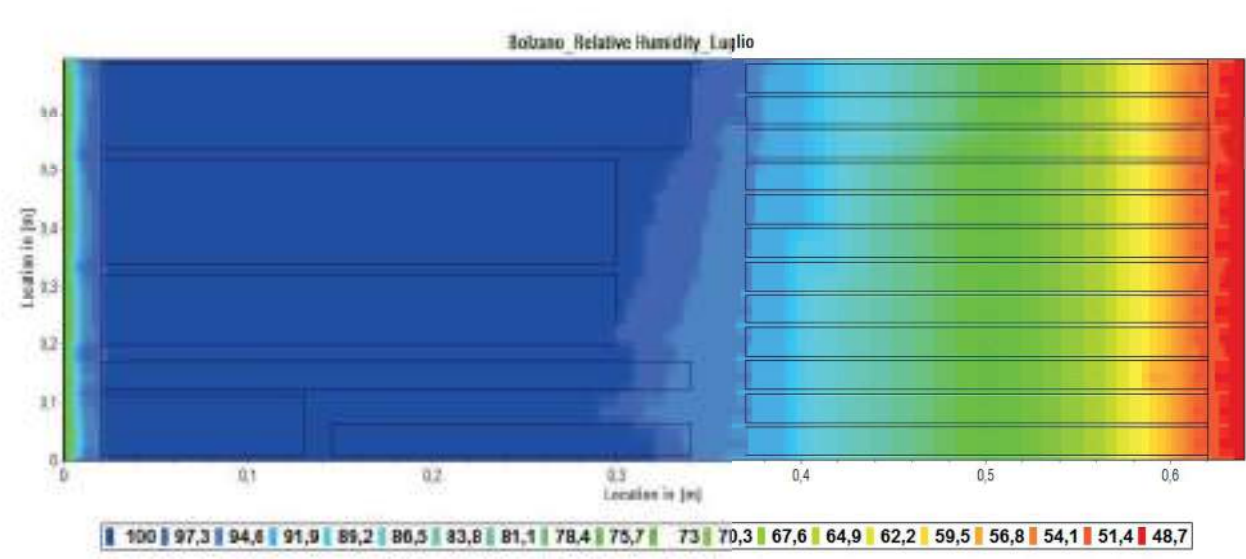


# ZONA CLIMATICA E BOLZANO

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

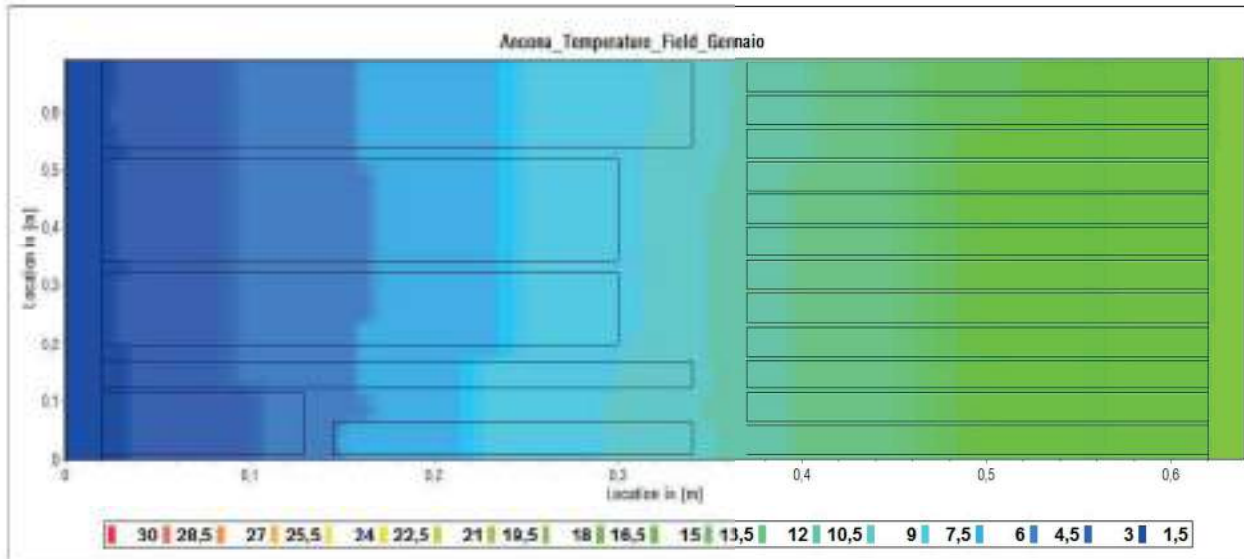


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

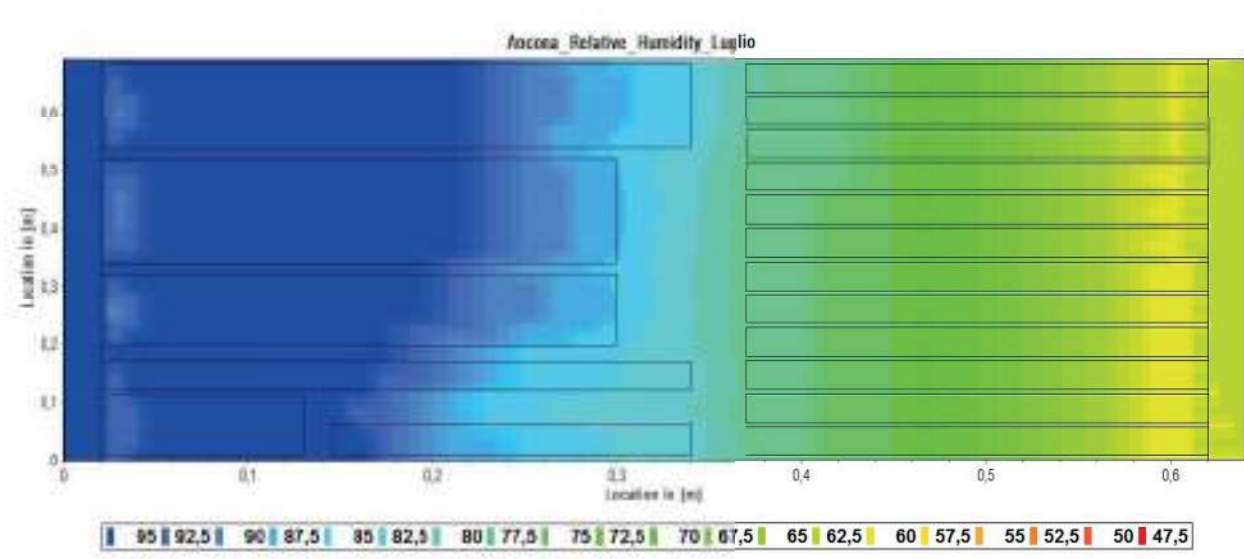


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

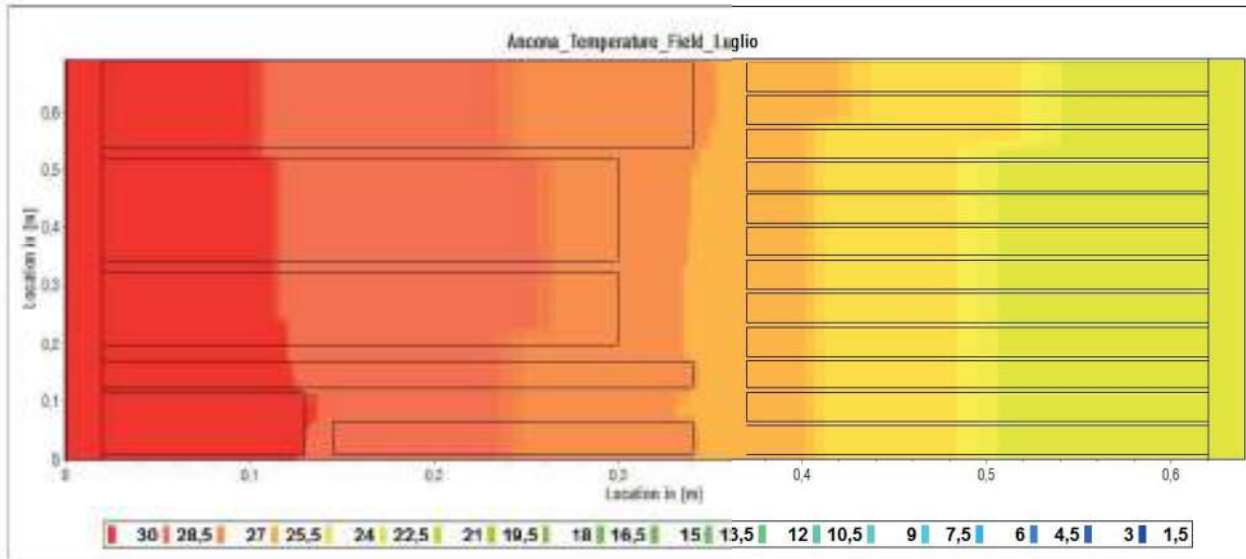


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

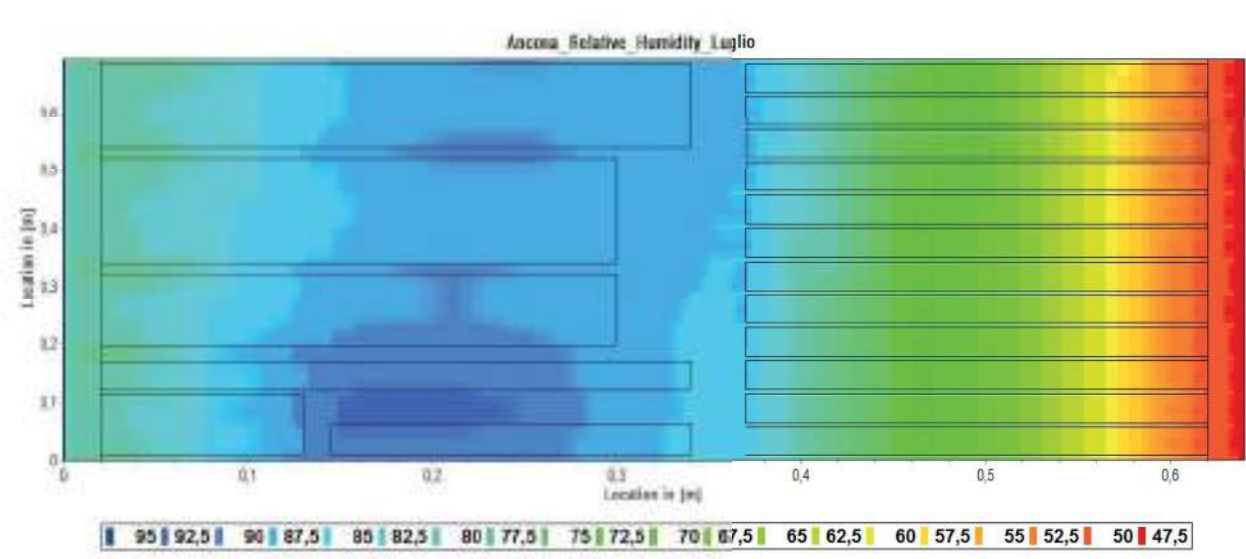


# ZONA CLIMATICA D ANCONA

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

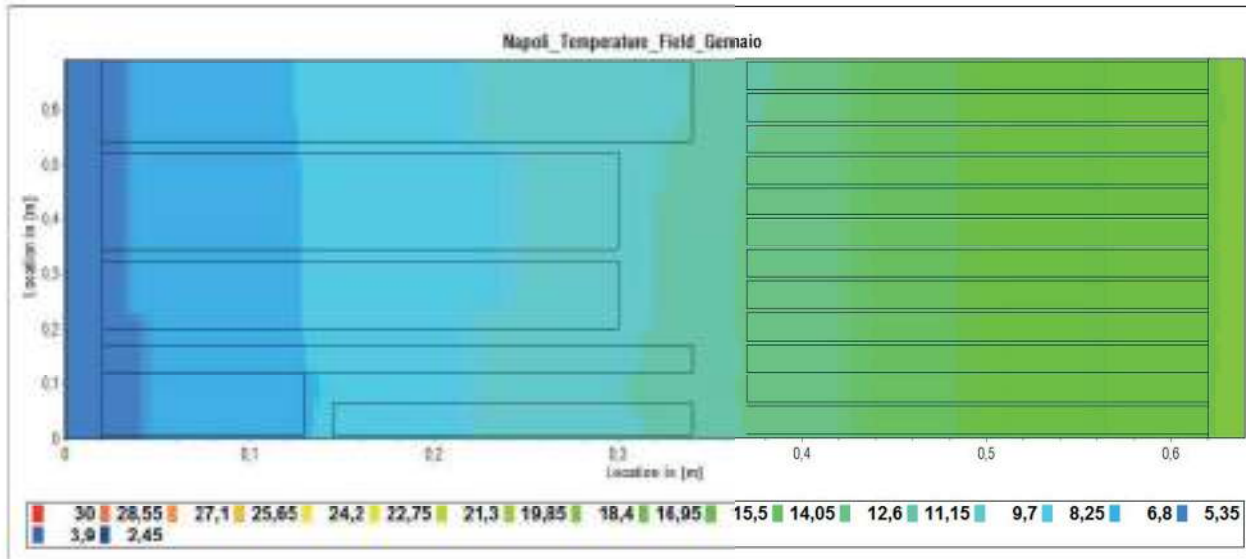


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE

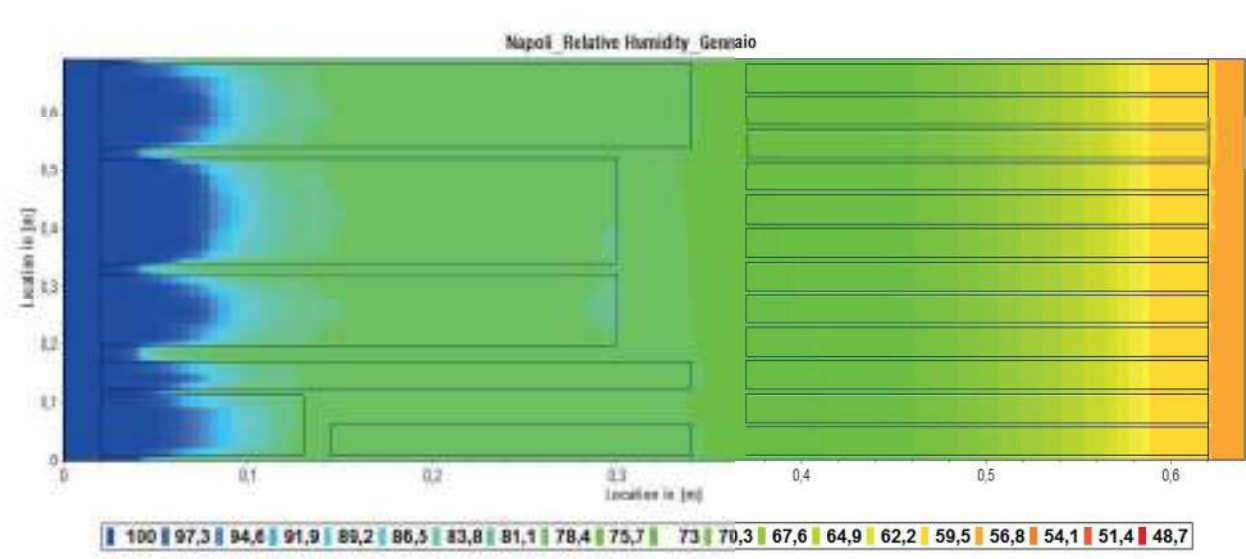


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

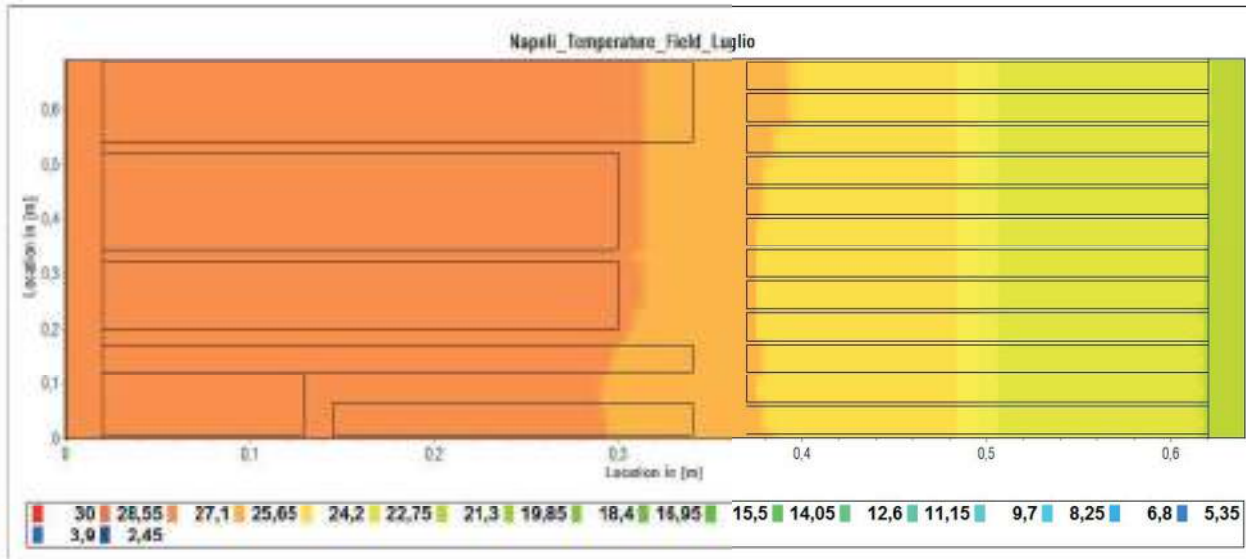


## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO AUTUNNO-INVERNO

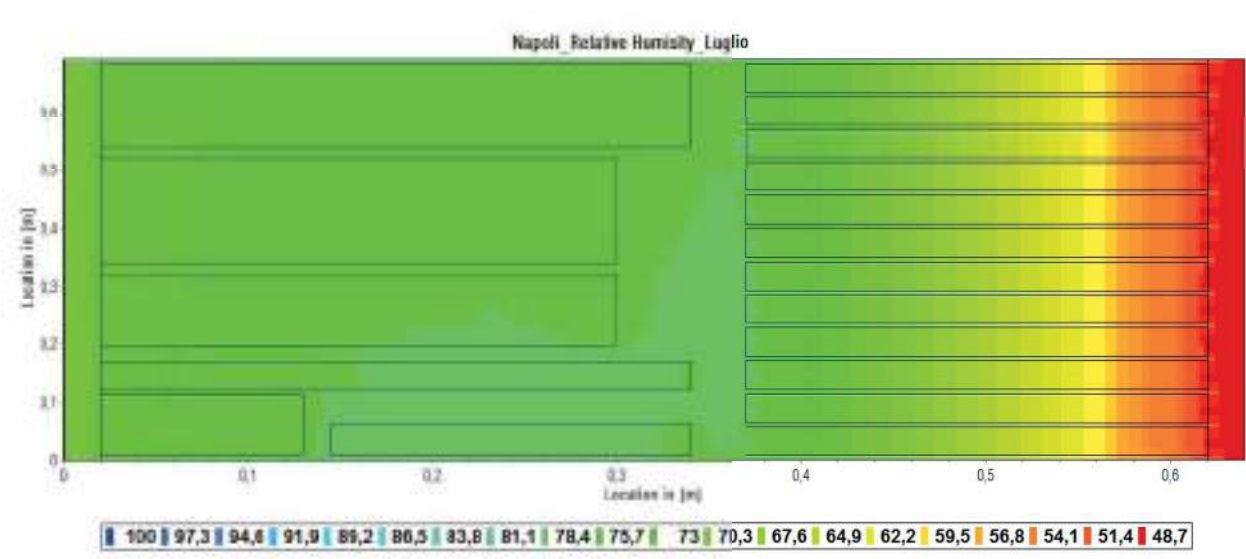


# ZONA CLIMATICA C NAPOLI

## ANALISI TEMPERATURA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE



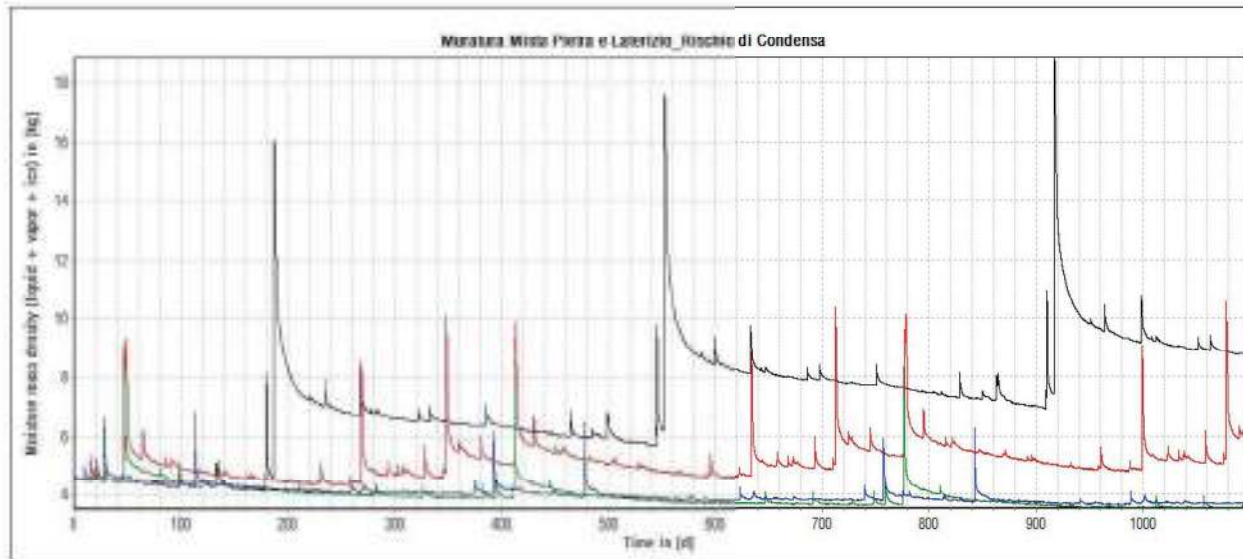
## ANALISI UMIDITA' RELATIVA MEDIA PERIODO PRIMAVERA-ESTATE









# VALUTAZIONE DEI RISULTATI



## ZONE CLIMATICHE A CONFRONTO

CITTA'	ZONA CLIMATICA	RISCHIO CONDENZA
BOLZANO 	E	
ANCONA 	D	
NAPOLI 	C	
PALERMO 	B	

In tutti e quattro i casi la parete è considerata esposta a Ovest con pioggia battente, ovvero nella condizione più sfavorevole, dove il rischio della formazione di condensa è più elevato.

 Alto rischio

 Discreto rischio

 Basso rischio



## 9.6 Ipotesi di isolamento interno. Valutazione e confronto prestazionale

Al fine di comprendere meglio i risultati ottenuti con le simulazioni dinamiche si è deciso questa volta di ragionare per zone climatiche, confrontando il comportamento delle quattro tipologie murarie al variare delle condizioni esterne.

Partendo dalla Zona E fino ad arrivare alla B è inserita prima una tabella riassuntiva dei risultati e poi i quattro grafici a cui fa riferimento.

Ogni grafico riporta i risultati degli 11 pacchetti isolanti analizzati per una determinata zona climatica su una specifica parete.

Le curve sovrapposte mostrano l'andamento della quantità di umidità accumulata dalla parete, considerata in termini di acqua, vapore e ghiaccio che tende a formarsi all'interno della sezione muraria. Durante le simulazioni sono stati valutati i parametri relativi all'andamento della temperatura della parte, alla percentuale di umidità relativa, al passaggio di calore e diffusione del vapore al fine di comprendere se vi fossero rischi legati alla formazione di condensa nella zona di contatto tra la superficie vecchia e quella nuova contrapposta.

Sappiamo infatti che l'umidità è una delle cause maggiori di degrado nelle murature storiche e l'intervento di isolamento deve cercare di non andare a gravare sulla struttura danneggiandola, visto che l'obiettivo primario rimane quello della conservazione.

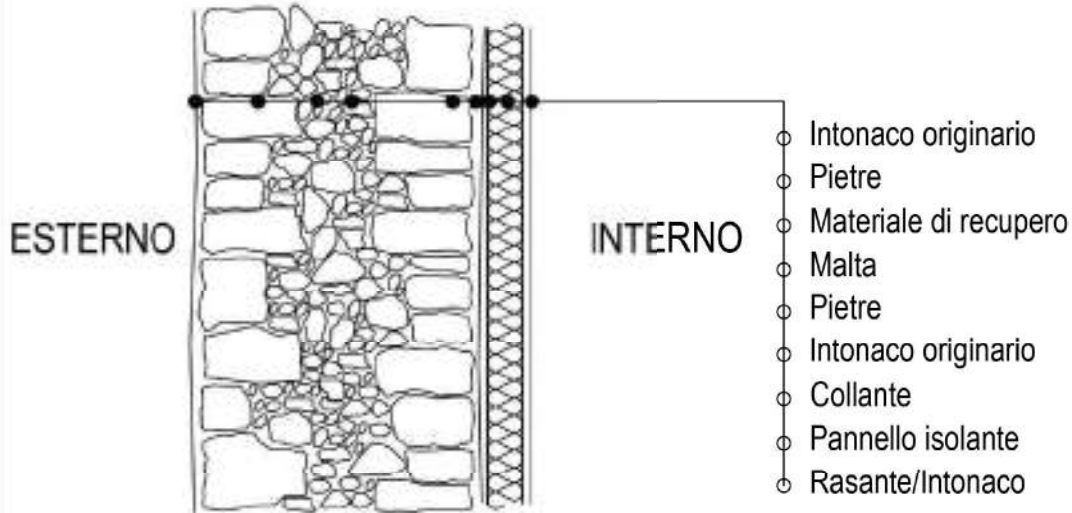
I file climatici utilizzati sono quelli presenti all'interno del software, mentre le condizioni imposte all'interno sono state considerate stazionarie dal punto di vista di temperatura (20°C) e umidità relativa (50%).

La valutazione ha tenuto conto di cinque possibili scenari rispetto alla condizione di partenza:

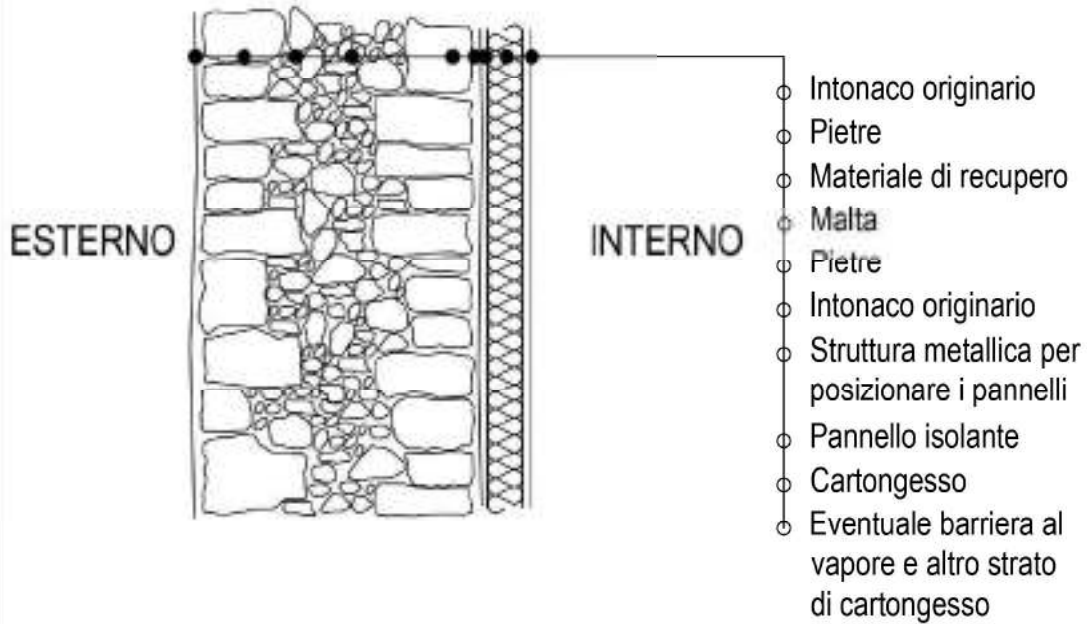
- Stabilità
- Lieve miglioramento
- Miglioramento
- Lieve peggioramento
- Peggioramento



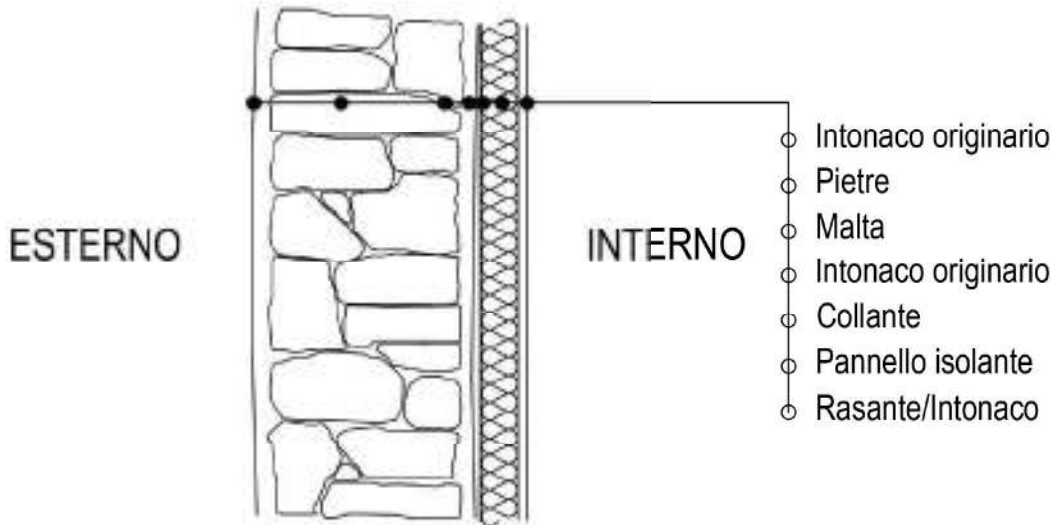
### SISTEMA COSTRUTTIVO CON COLLANTE



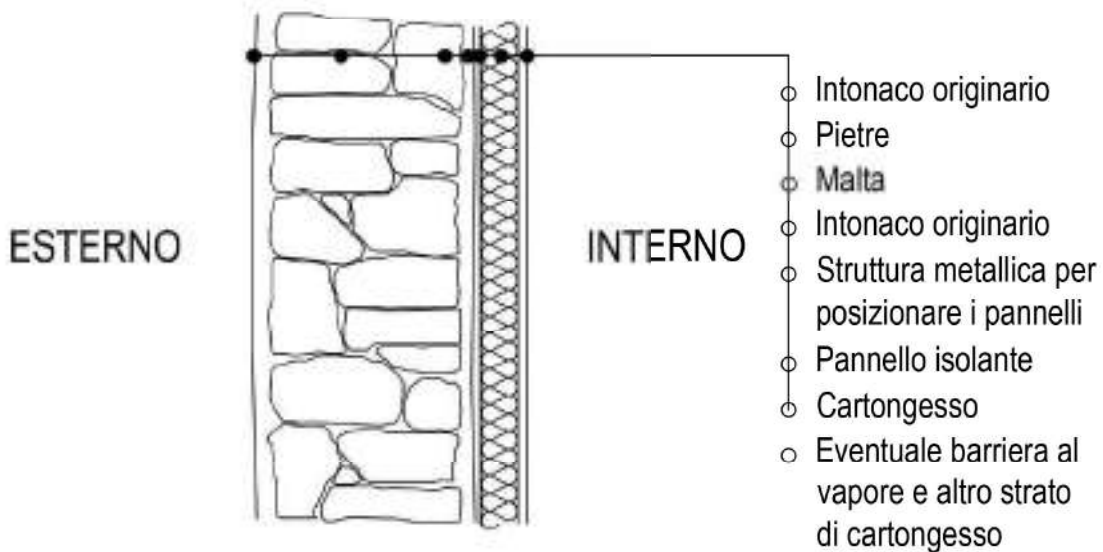
### SISTEMA COSTRUTTIVO A SECCO



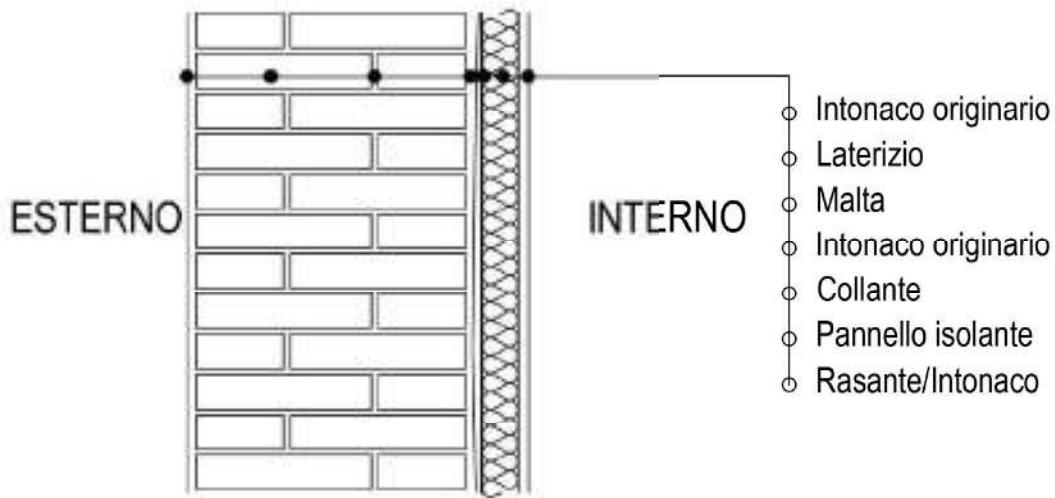
## SISTEMA COSTRUTTIVO CON COLLANTE



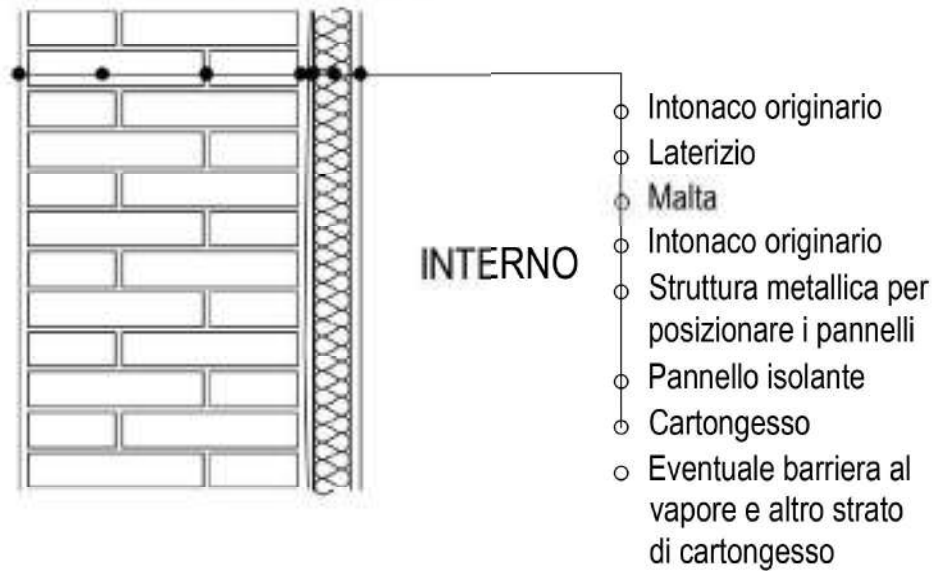
## SISTEMA COSTRUTTIVO A SECCO



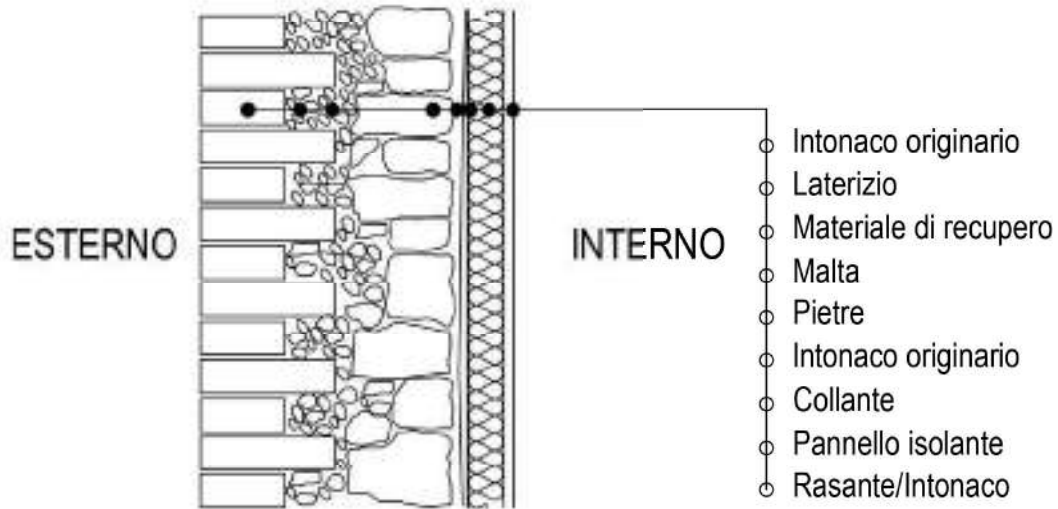
## SISTEMA COSTRUTTIVO CON COLLANTE



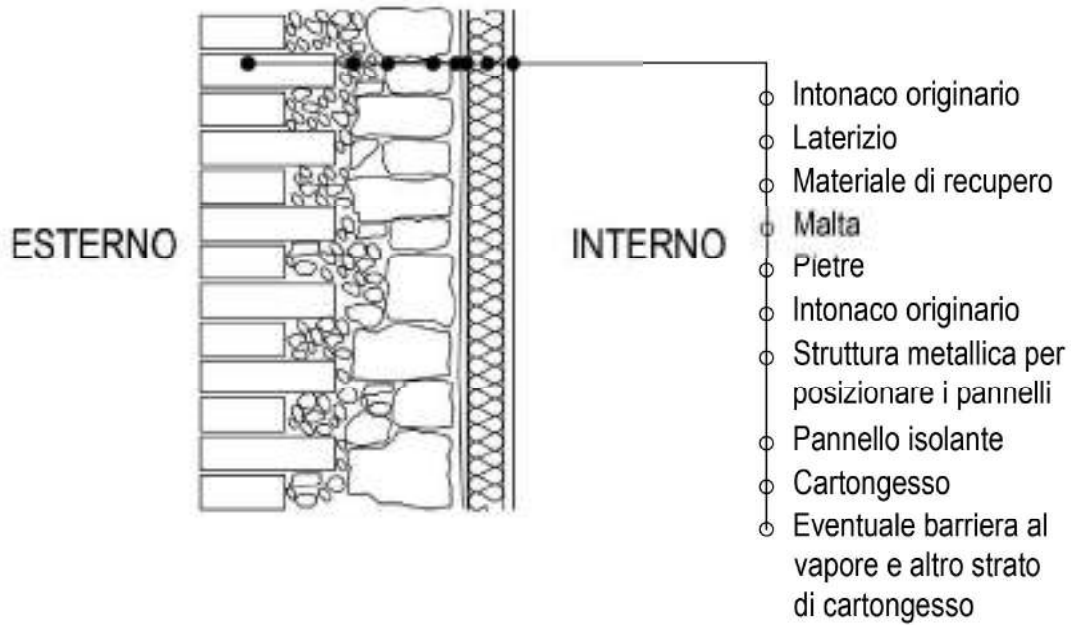
## SISTEMA COSTRUTTIVO A SECCO



### SISTEMA COSTRUTTIVO CON COLLANTE



### SISTEMA COSTRUTTIVO A SECCO



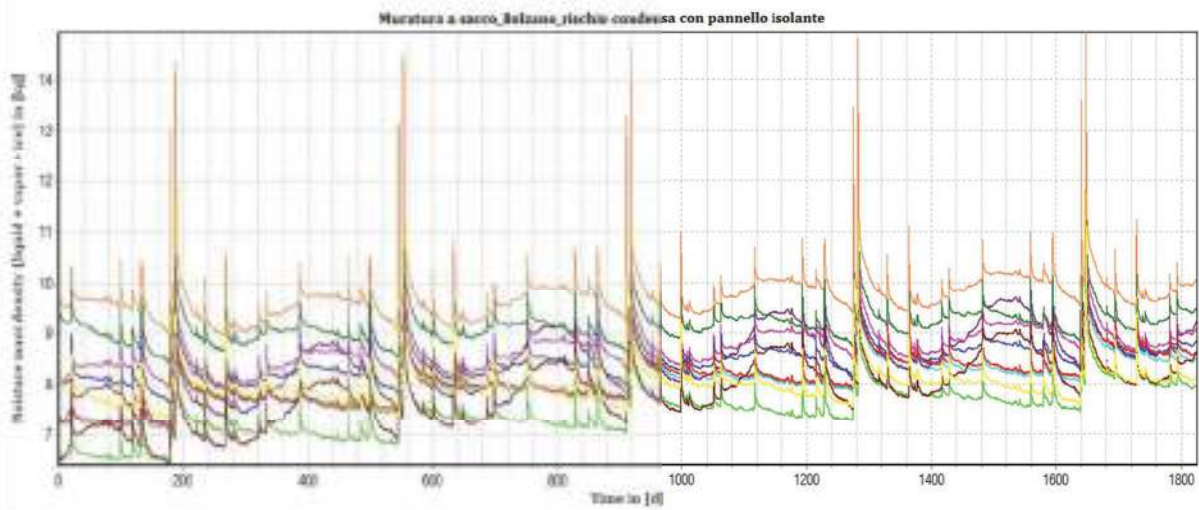
### ZONA CLIMATICA E - BOLZANO

SISTEMI CON COLLA	Muratura a sacco	Muratura con doppio paramento ammortato	Muratura a due teste in laterizio	Muratura mista pietra e laterizio
Perlite	↑	↑	↑	==
Calcio Silicato	==	↑	↑	↑↑
XPS	↑	↑↑	↑↑	↑
EPS	↑	↑↑	↑↑	↑
Sughero	↑	==	↑	==
Fibra di legno flessibile	==	↑	↑	↑
Fibra di legno minerale	==	==	↑	==
Vetro cellulare	↑	↑↑	↑↑	↑
Lana di vetro	↑↑	==	↑↑	↑
<b>SISTEMI A SECCO</b>				
Lana di vetro	↑↑	==	↑↑	↑
Lana di roccia	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑

## ZONA CLIMATICA E - BOLZANO

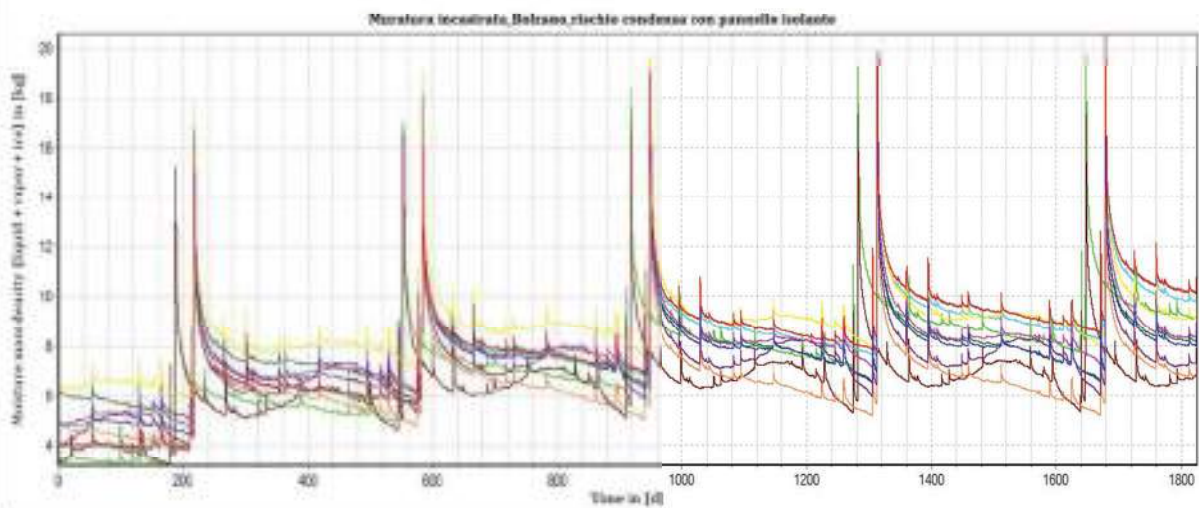
### Muratura a sacco

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



### Muratura con doppio paramento ammorsato

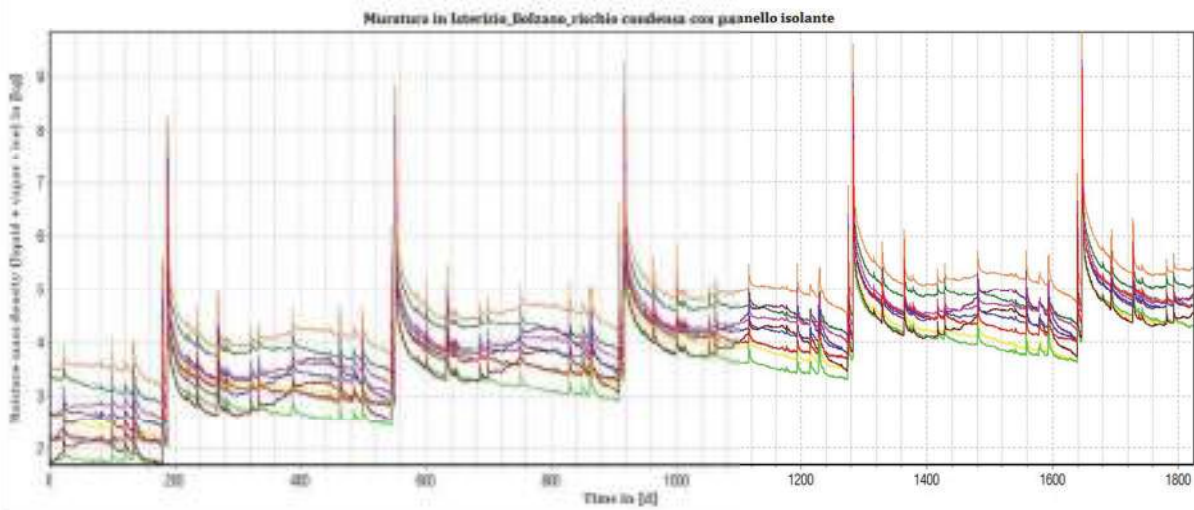
Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



## ZONA CLIMATICA E - BOLZANO

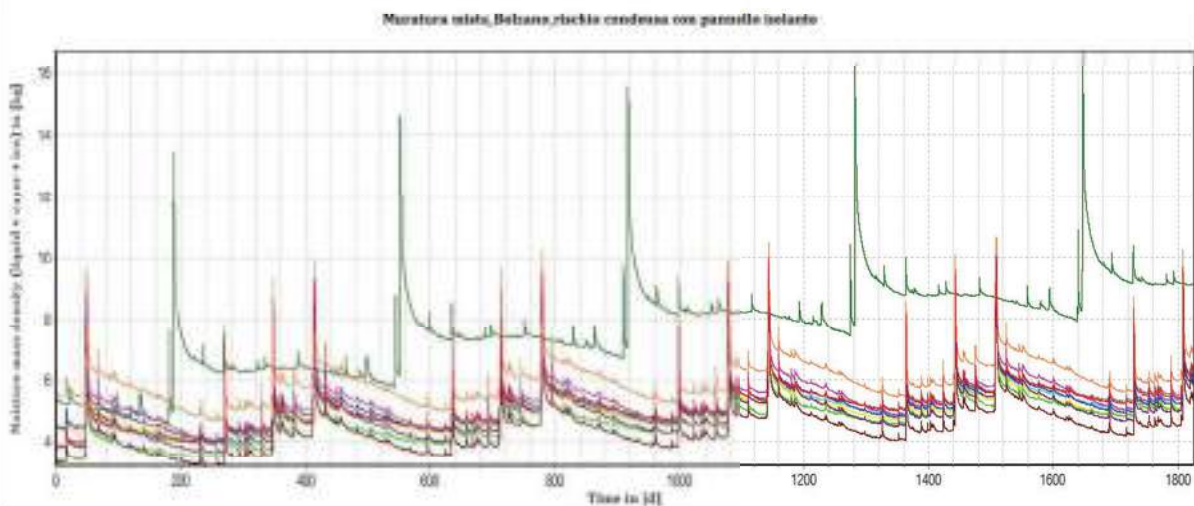
### Muratura a sacco

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



### Muratura mista pietra e laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



**ZONA CLIMATICA D - ANCONA**

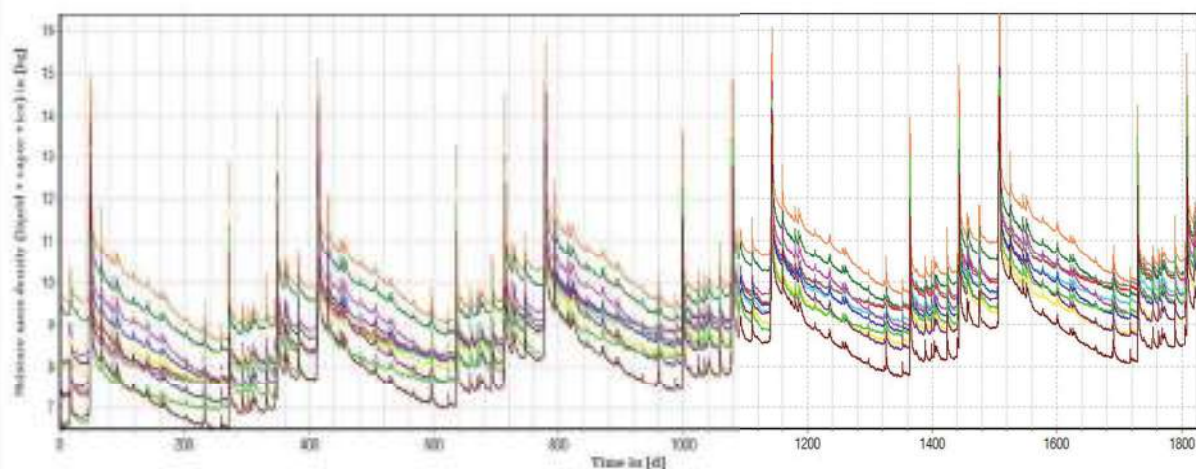
SISTEMI CON COLLA	Muratura a sacco	Muratura con doppio paramento ammorsato	Muratura a due teste in laterizio	Muratura mista pietra e laterizio
Perlite				
Calcio Silicato				
XPS				
EPS				
Sughero				
Fibra di legno flessibile				
Fibra di legno minerale				
Vetro cellulare				
Lana di vetro				
<b>SISTEMI A SECCO</b>				
Lana di vetro				
Lana di roccia				

## ZONA CLIMATICA D - ANCONA

### Muratura a a due teste in laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni

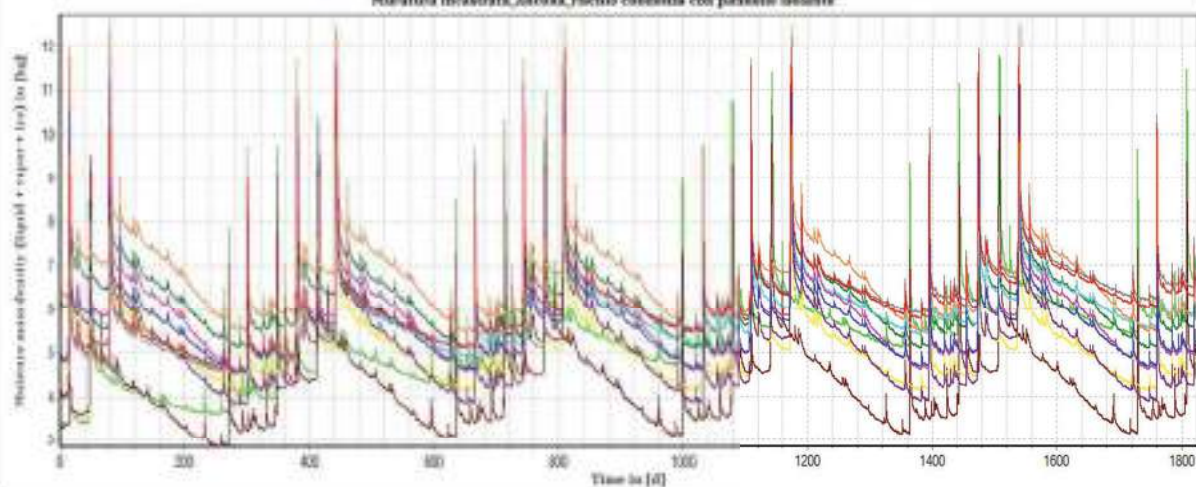
Muratura a sacco\_Ancona\_Rischio condensa con pannello isolante



### Muratura con doppio paramento ammorsato

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni

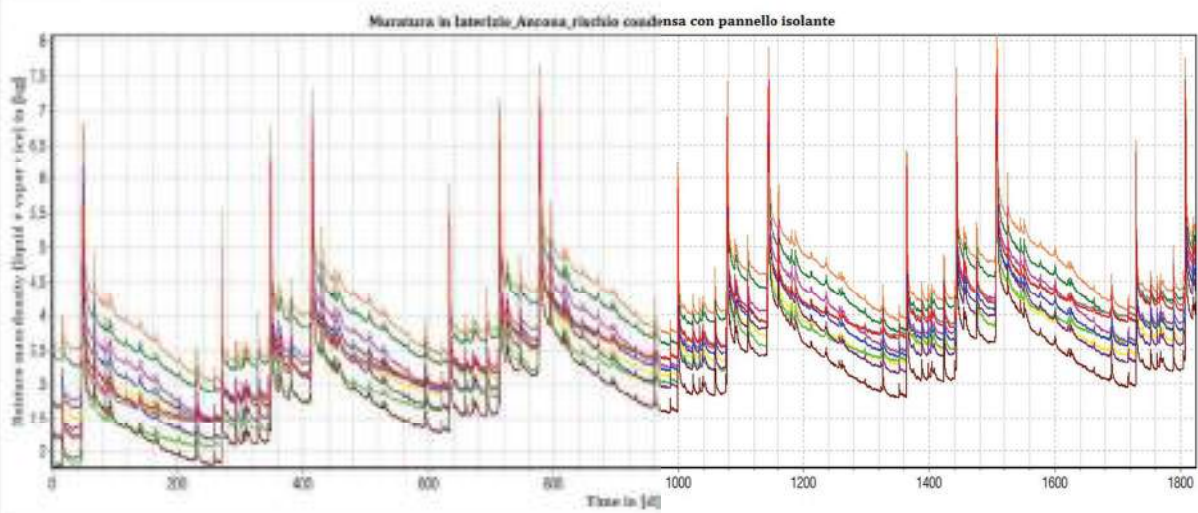
Muratura incastata\_Ancona\_rischio condensa con pannello isolante



## ZONA CLIMATICA D - ANCONA

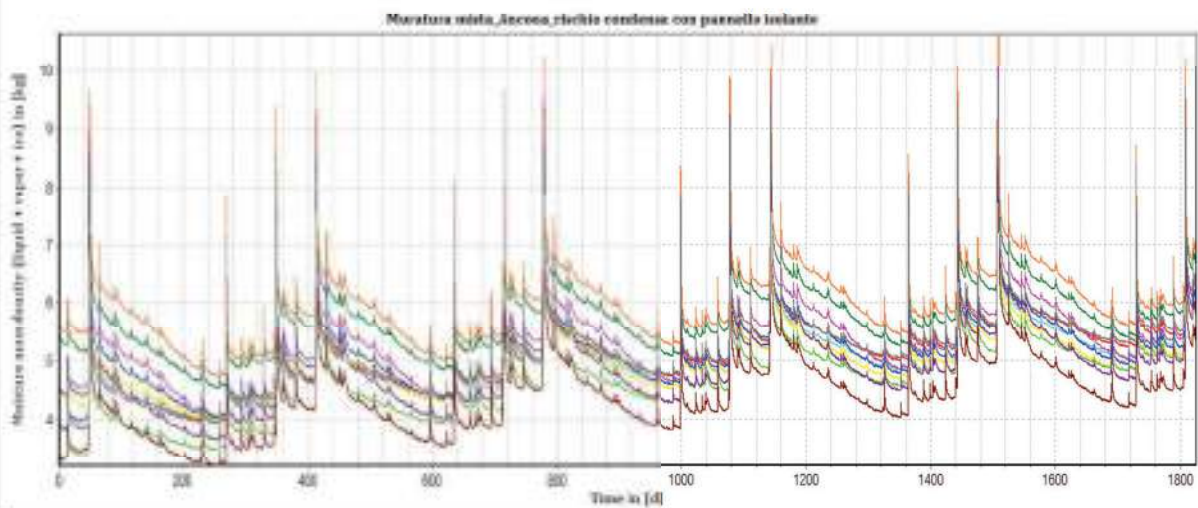
### Muratura a due teste in laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



### Muratura mista pietra e laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



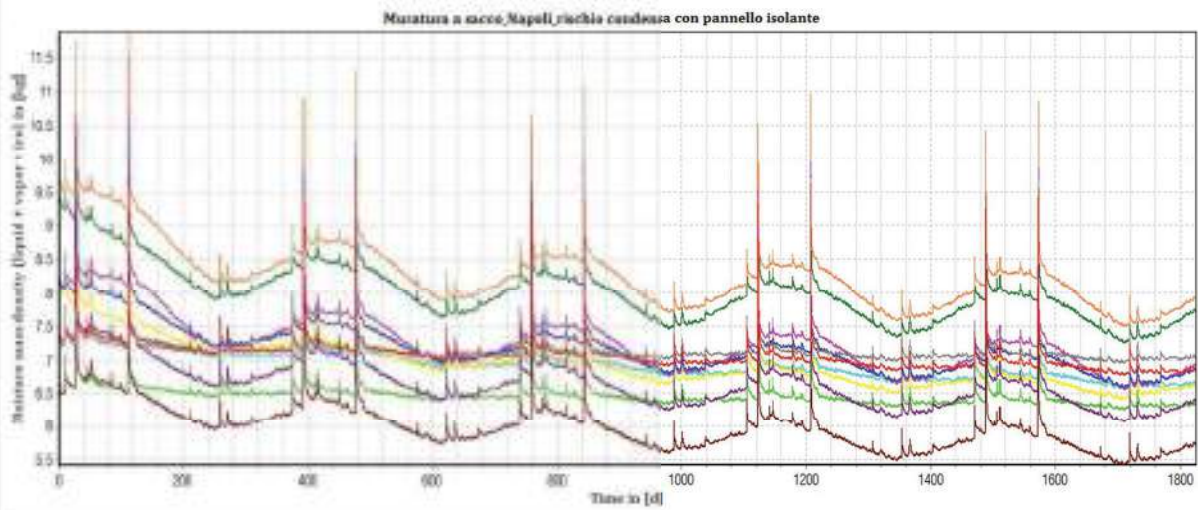
### ZONA CLIMATICA C - NAPOLI

SISTEMI CON COLLA	Muratura a sacco	Muratura con doppio paramento ammorsato	Muratura a due teste in laterizio	Muratura mista pietra e laterizio
Perlite	↓ ↓	==	↓	↓
Calcio Silicato	↓ ↓	==	↓	↓
XPS	↓	==	==	==
EPS	↓	↓	↓	↓
Sughero	↓ ↓	==	==	==
Fibra di legno flessibile	↓ ↓	↓	==	==
Fibra di legno minerale	↓ ↓	==	↓	↓ ↓
Vetro cellulare	==	==	==	==
Lana di vetro	↓	↓	↓	↓
<b>SISTEMI A SECCO</b>				
Lana di vetro	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓
Lana di roccia	==	==	↓	==

## ZONA CLIMATICA C - NAPOLI

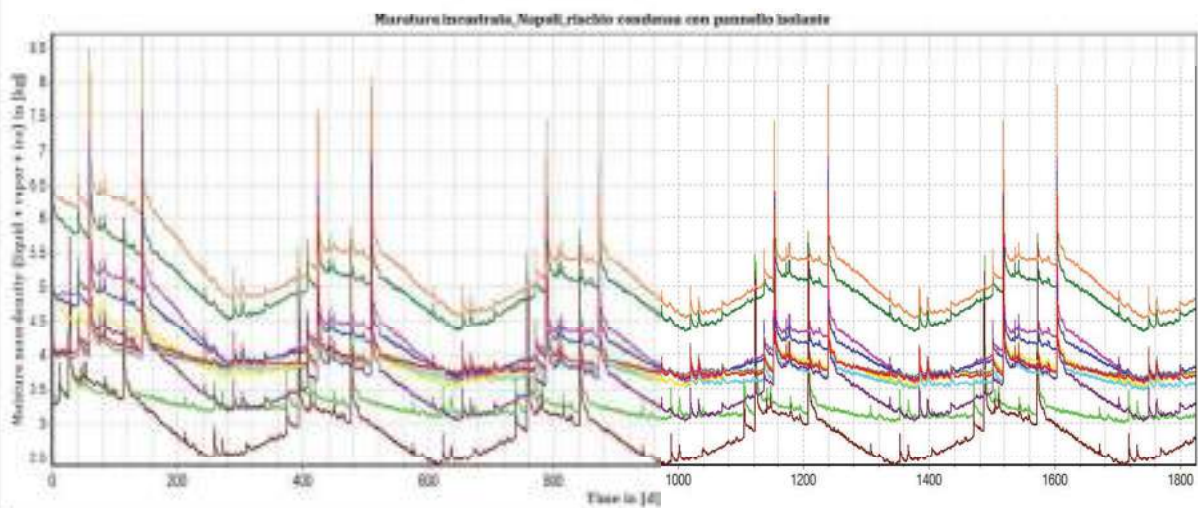
### Muratura a sacco

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



### Muratura con doppio paramento ammortato

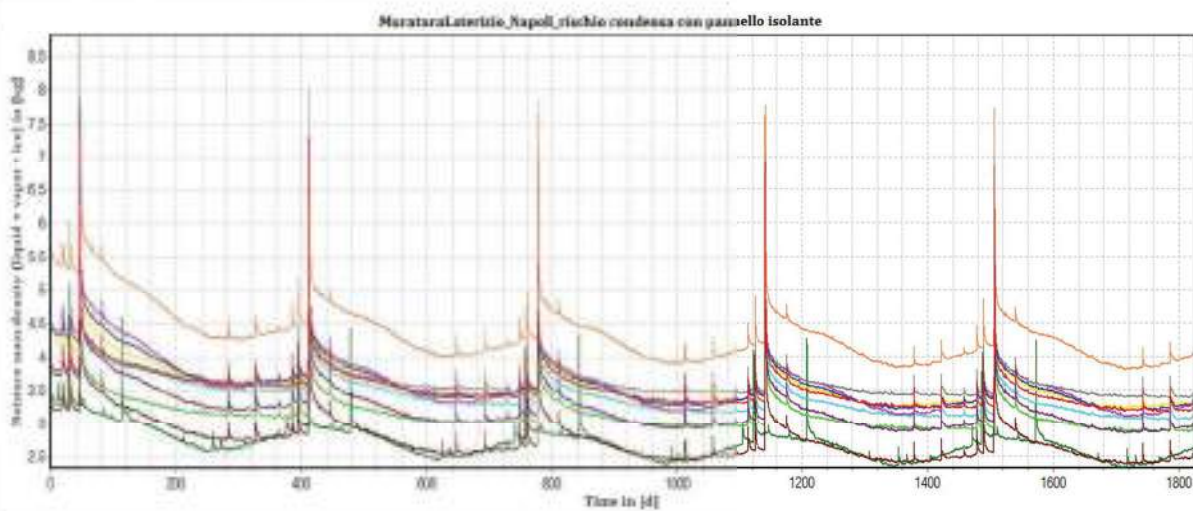
Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



## ZONA CLIMATICA C - NAPOLI

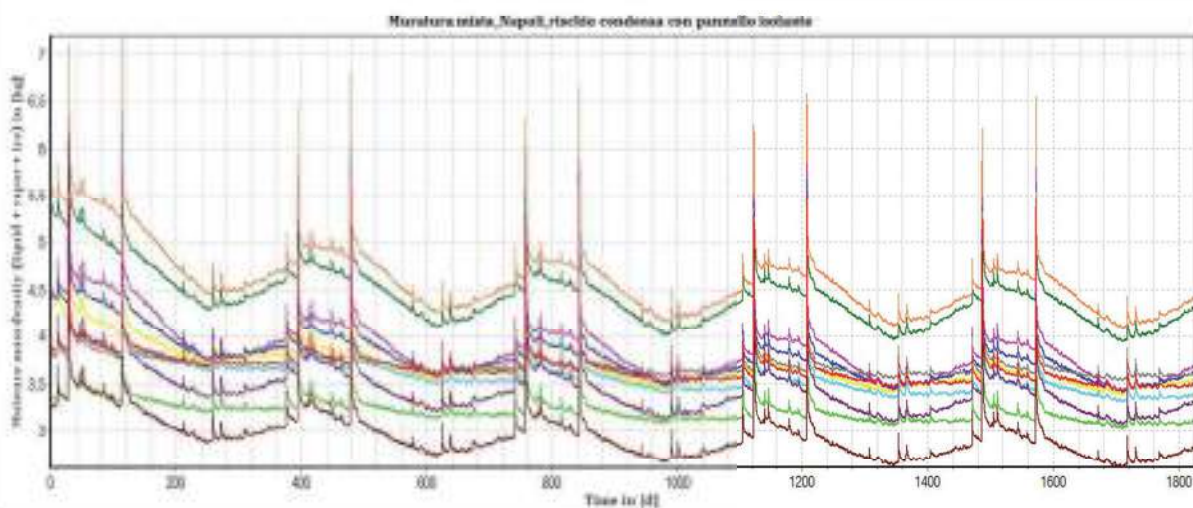
### Muratura a a due teste in laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



### Muratura mista pietra e laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



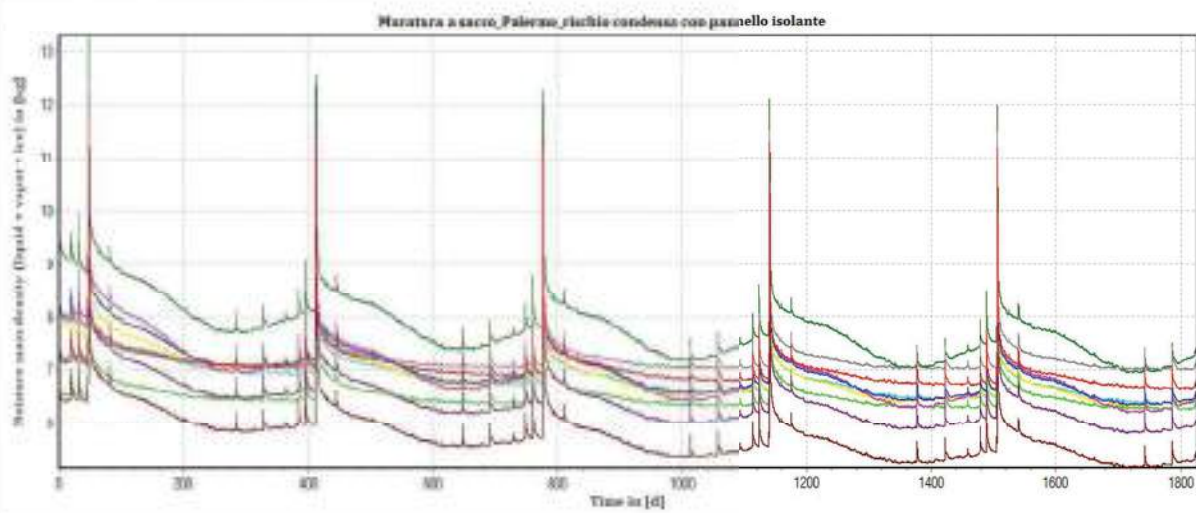
**ZONA CLIMATICA B - PALERMO**

SISTEMI CON COLLA	Muratura a sacco	Muratura con doppio paramento ammorsato	Muratura a due teste in laterizio	Muratura mista pietra e laterizio
Perlite	↓	↓	==	↓
Calcio Silicato	↓	==	↓	↓
XPS	↓	==	==	==
EPS	↓	↓	==	↓
Sughero	↓	==	==	==
Fibra di legno flessibile	↓ ↓	==	==	==
Fibra di legno minerale	↓	==	↓	↓
Vetro cellulare	==	==	↑	==
Lana di vetro	↓ ↓	==	↓	
<b>SISTEMI A SECCO</b>				
Lana di vetro	↓ ↓	==	↓	↓
Lana di roccia	==	↓	==	==

## ZONA CLIMATICA B - PALERMO

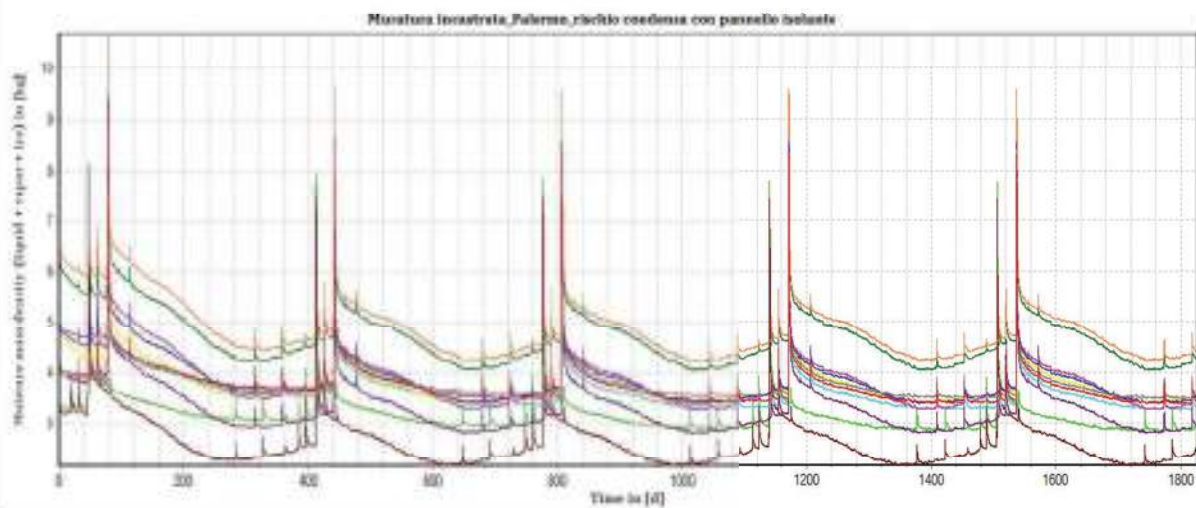
### Muratura a sacco

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



### Muratura con doppio paramento ammorsato

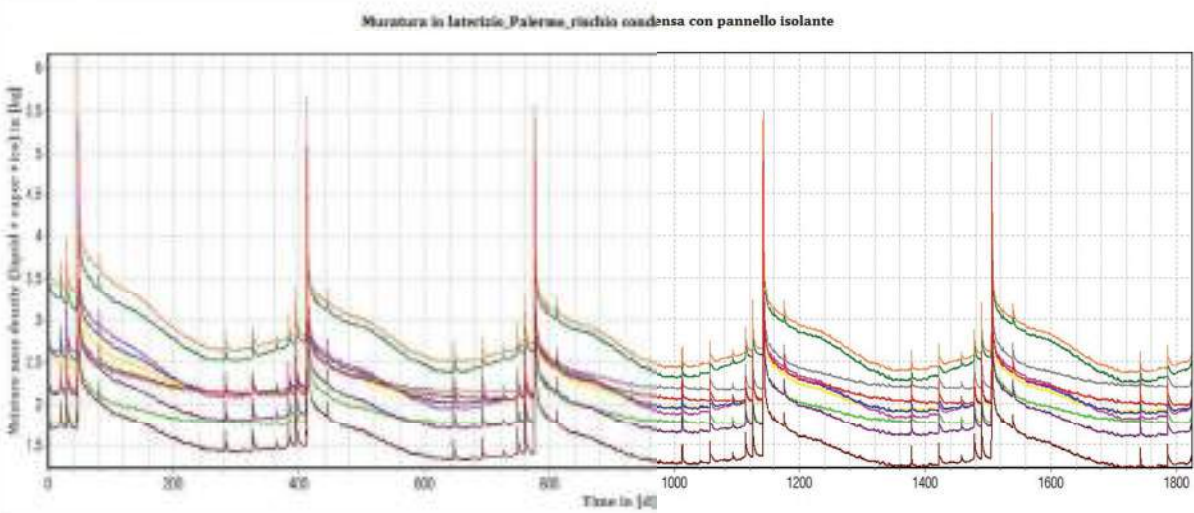
Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



## ZONA CLIMATICA B - PALERMO

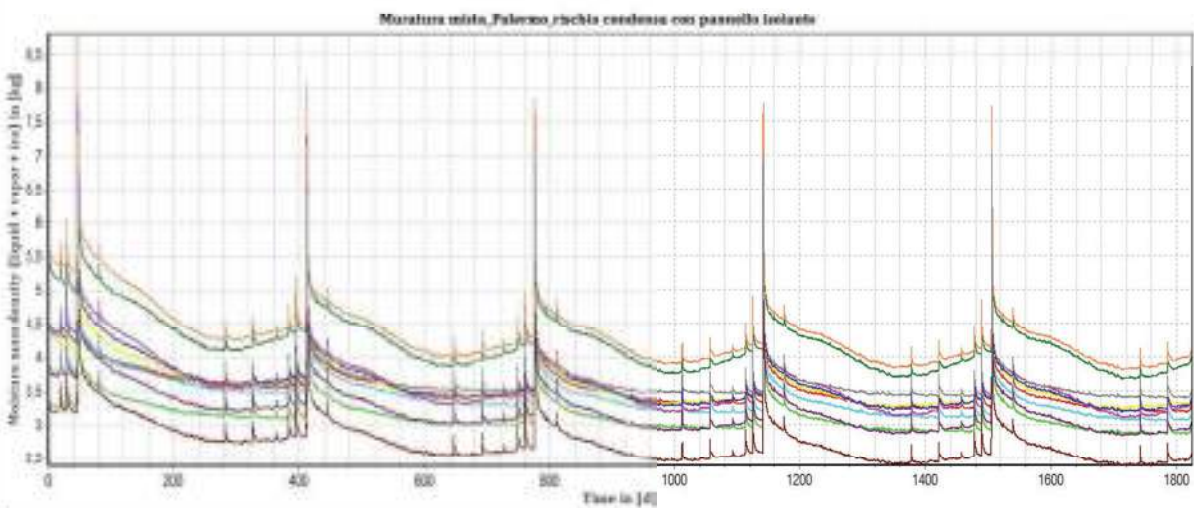
### Muratura a due teste in laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni



### Muratura mista pietra e laterizio

Simulazione accumulo di umidità (acqua-vapore-ghiaccio) in un periodo di 5 anni





## Conclusioni



*«Vi sono due compiti che incombono su di noi nei confronti dell'architettura del nostro paese la cui importanza è impossibile sopravvalutare: il primo consiste nel conferire una dimensione storica all'architettura di oggi, il secondo nel conservare quella delle epoche passate come la più preziosa delle eredità»<sup>7</sup>.*

J. RUSKIN

Le differenze tipo-morfologiche riscontrabili nei diversi modelli edilizi rappresentano la cultura dell'abitare derivata dalla capacità dell'uomo di adattamento e ottimizzazione alle particolarità del clima, del territorio, al suo impiego economico e sociale, ai materiali e procedure costruttive. Il rapporto tra edificazione ed ambiente è stato sempre al centro delle linee di indirizzo definite nei trattati di architettura da Vitruvio a Valadier; dialogare con il contesto e rendere l'edificio parte integrante di ciò che lo circondava erano i principi fondanti di un'architettura che non conosceva mezzi artificiali con cui ovviare alle proprie mancanze. Per cui anche solo la scelta dell'orientamento diveniva fondamentale nel processo di progettazione al fine rendere l'edificio vivibile e confortevole.

Con l'avvento dell'industrializzazione e dello sfruttamento di materie prime come i combustibili fossili, che favorivano un'economia di tipo industriale, l'equilibrio e la sostenibilità dei modelli di vita tradizionali sono andati via via modificandosi a favore di un modello di pensiero che trovava obsoleto un modo di progettare legato alla tradizione pre-industriale. Per molti anni si è infatti pensato che il progresso e lo sviluppo di nuove tecnologie potesse in qualche modo ovviare a quelli che erano i problemi legati al comfort interno degli edifici senza doversi per forza preoccupare di farli dialogare in modo costruttivo con il contesto in cui veniva inseriti. Il continuo e intensivo sfruttamento dell'ambiente naturale, con il conseguente aumento di inquinamento e degrado, unito all'effetto omologante prodotto da una progettazione che non sentiva più la necessità di rapportarsi con il contesto, ha prodotto la perdita di identità architettoniche, annullando l'applicazione di capacità e conoscenze cli-

8. J. RUSKIN (2007). *Le sette lampade dell'architettura*. Milano: Jaka Book. Sesta ristampa.

matiche e ambientali.

Le attuali necessità di limitare lo sfruttamento delle fonti di energia non rinnovabile, le richieste di benessere e qualità igienica degli edifici rappresentano un'opportunità per riconfigurare la concezione (formale e tecnologica) degli edifici. Attraverso la rielaborazione in termini contemporanei ed innovativi di quelle tecniche consolidate nei secoli derivate da una lettura analitica critica di quelle capacità espresse dall'edilizia storica nel risolvere le problematiche microclimatiche è possibile perseguire un indirizzo non solo di progettazione sostenibile, ma di *riappropriazione della tradizione*.

Gli edifici monumentali e il tessuto dei centri storici costituiscono strutture vulnerabili ed ad elevata sensibilità, perché simbolo di epoche irripetibili, fonti di conoscenza, documenti viventi e parte integrante della quotidianità degli individui.

Le principali esperienze europee attivate intorno all'innovazione del processo progettuale per il miglioramento energetico dell'edilizia storica (sia alla scala del singolo edificio che del comparto) hanno contribuito a redigere un apparato operativo in grado di orientare in modo corretto la scelta degli interventi, individuando soluzioni appropriate e compatibili, adeguando l'edilizia storica a parametri contemporanei. Le Linee Guida e le Best Practices, elaborate a livello nazionale e internazionale, incentrano l'operatività su diverse fasi di intervento, precedute sempre da un approfondito momento della conoscenza interdisciplinare dell'esistente.

Infatti, la comprensione delle molteplici potenzialità, e delle interconnesse vulnerabilità permette di mettere a sistema possibili scenari futuri relativi a specifiche azioni conservative necessarie al mantenimento in funzione della struttura per usi compatibili.

La riqualificazione è, pertanto, orientata al miglioramento energetico, e non di all'adeguamento normativo, non solo perché la legge attualmente permette agli edifici storici di andare in deroga rispetto alle prescrizioni, ma proprio perché non è sempre possibile raggiungere i medesi obiettivi in tutte le strutture con cui ci si confronta, vista la vastità di caratteristiche che le differenzia. Il regime vincolistico, inoltre, impone il rispetto di limiti di intervento rigidissimi che non lasciano spazio a sperimentazioni tecnologiche troppo azzardate.

La finalità della ricerca, posta in fase iniziale, era, pertanto, l'impostazione, l'elaborazione e la verifica di un modello di conoscenza costruito sull'individuazione di dati specifici e misurati per la messa a sistema di un processo progettuale, con il supporto di diversi settori

disciplinari, in ragione della complessità dello stato di conservazione e dei caratteri storico-artistici del manufatto.

Ponendosi in linea con l'*integrated and cross-cutting approach to cultural heritage*<sup>8</sup> (ICOMOS UK, 2015), il contributo di apporti disciplinari diversificati si è rivelato fondamentale per delineare modalità di intervento basate su una coscienza sistemica, che incentri le azioni di riqualificazione energetica del patrimonio costruito sui concetti di reversibilità del costruire, riduzione degli impatti sull'ambiente in fase di costruzione e in fase di gestione, l'utilizzo di tecnologie impiantistiche innovative orientate al risparmio energetico, l'introduzione di sistemi informatici di supervisione e controllo, posto che ogni edificio storico rappresenta un unicum per il modo in cui tecnologia costruttiva, tipologia architettonica e materiali dialogano in un reciproco ed equilibrato scambio.

#### PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI E TRASFERIBILITÀ DEGLI STRUMENTI DI INDAGINE

Il presupposto fondamentale della ricerca è contenuto nell'assunto che nessun intervento sull'esistente può prescindere da un'accurata fase di indagine conoscitiva, attraverso la quale sistematizzare una serie di informazioni legate all'oggetto di studio, supportando il sistema delle conoscenze con un apparato strumentale innovativo che permetta di monitorare, integrare e valutare nel tempo opzioni e strategie di intervento differenziate.

L'ipotesi su cui è stato strutturato il lavoro deriva dalla comprensione dell'assenza di un approccio operativo sistematico al problema della riduzione dei consumi energetici negli edifici storici per le difficoltà riscontrabili nell'acquisizione di dati specifici relativi ai comportamenti e alla performance dell'involucro. Nonostante, infatti, il mondo professionale abbia riconosciuto l'importanza di approfondire il tema della riqualificazione energetica degli edifici storici, non è stato ancora colmato il divario tra gli avanzamenti scientifici e la trasposizione dei risultati teorici in campo pratico.

Limitate possibilità di analisi diretta dei materiali e difficoltà di comprensione dei dati derivati da monitoraggi e simulazioni sul sistema edilizio storico, dovute a conoscenze non sempre adeguate dei sistemi costruttivi e dei materiali antichi, uniti a ridotte possibilità di utilizzo di strumentazioni adeguate, riducono notevolmente l'appropriatezza della risposta progettuale contemporanea.

8. In its 50th anniversary year, ICOMOS-UK calls for a new approach to the way we all sustain, promote and benefit from cultural heritage. Cultural heritage must be seen as a cross cutting theme, embedded in all aspects of human activity and sustainable development. It must be acknowledged as a key source of resilience for communities and wider society. The profile of cultural heritage should be enhanced as a major economic activity comparable to those of the natural environment or the arts. ("ICOMOS UK Cultural Heritage Manifesto", 2015)

9. I progetti a cui si è fatto riferimento per lo sviluppo della piattaforma sono Tabula e 3Encult

Le ricerche e le indicazioni normative e ministeriali, inoltre, sono relative alla redazione di “buone pratiche” finalizzate a definire delle generiche linee guida di intervento, tali da non costituire strumenti adeguati a supportare il processo progettuale e capaci di valutare in modo adeguato materiali, sistemi e componenti da applicare all'esistente.

Alcuni centri di ricerca, operanti a livello internazionale, affrontano tali problematiche non solo a livello teorico-metodologico, ma sperimentano strumenti e misure adeguati con test e valutazioni *ante e post operam* su dei casi studio operativi e non solo destinati a speculazione teorica. I metodi applicati e verificati nel tempo, pur nella vastità e differenziazione del patrimonio costruito, dimostrano che il corretto utilizzo dei dati, raccolti nella fase di conoscenza pre-progettuale, attraverso rilevamenti, test o simulazioni, costituiscono la discriminante fondamentale per la appropriata pianificazione degli interventi, adeguata progettazione delle soluzioni tecniche e la conseguente durabilità nel tempo delle scelte compatibili effettuate. L'obiettivo posto, fin da principio, nell'elaborazione della tesi è stato finalizzato a supportare l'operatività del progettista nello sviluppo delle azioni di miglioramento energetico dell'esistente, affrontando quegli spazi tematici irrisolti (anche dall'apparato normativo) ed ancora non approfonditi. L'analisi degli strumenti elaborati a diversi livelli (normativo, operativo e di ricerca) ha permesso di individuare la “piattaforma di condivisione delle conoscenze” come dispositivo atto a supportare una *comunità di pratica professionale* che opera nel settore della progettazione dell'esistente, attraverso lo scambio e l'implementazione delle esperienze, degli esiti della ricerca e dei prodotti dell'innovazione<sup>9</sup>.

La piattaforma *Historical Buildings Network* è concepita come luogo destinato ad un ampio range di categorie di utente, con l'obiettivo di operare attraverso diversi livelli di competenze in cui la divulgazione, la conoscenza tecnica e la ricerca specialistica permettono di realizzare una comprensione corretta delle problematiche legate

ad uno specifico ambito del progetto dell'esistente, permettendo di colmare quel divario tra teoria e pratica a volte dovuto alla difficoltà di reperire velocemente dati affidabili e effettivamente utili.

La realizzazione di una piattaforma web in cui raccogliere le informazioni a disposizione, ma difficilmente reperibili dall'utente non specializzato, il percorso conoscitivo necessario ad affrontare il progetto di efficientamento energetico degli edifici storici. Si voleva infatti fornire degli strumenti pratici per l'utente al fine di indirizzarlo e seguirlo nel percorso progettuale, ma al tempo stesso creare uno spazio di condivisione e accrescimento scientifico grazie ad un continuo aggiornamento dei contenuti, sulla base di un elevato livello di interattività fra tutti gli attori coinvolti.

La struttura logica, posta alla base dello strumento, è l'articolazione in fasi del processo progettuale e operativo, linguaggio comune agli utenti di riferimento, da cui è possibile individuare tutte le correlazioni normative, tecniche e processuali di ogni attore della filiera, per l'ottimizzazione dei processi di progettazione, costruzione e gestione. I contenuti inseriti in una struttura complessa, con interfaccia semplificata, sono stati elaborati in diverse fasi della ricerca e ne costituiscono i diversi prodotti<sup>10</sup>.

Nello sviluppo del lavoro, l'impostazione della piattaforma ha preso corpo per fasi attraverso l'elaborazione di parte dei contenuti: obiettivo prioritario era rendere il più possibile semplice e chiara l'interfaccia articolare i tematismi in sezioni definite in modo che l'utente potesse focalizzare l'attenzione sulle specifiche necessità.

In modo complementare elaborata la guida all'utilizzo dei dati contenuti nel sito (par. 7.3), in modo che da avere chiaro quale approccio al progetto utilizzare sulla base delle informazioni a disposizione.

La redazione dei contenuti è il risultato di ricerche e sperimentazioni portate avanti parallelamente, che a tratti si sono incrociate e sovrapposte tra loro, a dimostrazione che l'intervento sull'edificio storico contiene in sé diverse istanze (storica, estetica, tecnologico-

10. Per i prodotti, cfr. in particolare: Lettura del sistema edificio\_Scheda di lettura delle tecnologie costruttive (paragrafo 8.1); Strumenti di indagine\_Verifica dell'utilizzo del termoflussimetro secondo le indicazioni presenti sulla normativa (paragrafo 6.1); Simulazioni dinamiche termoigrometriche: valutazione dei limiti del software (paragrafo 6.1); Indagini termografiche (paragrafo 6.1-6.2); Sensori per il controllo del comfort indoor e quindi la valutazione dell'effettiva riuscita dell'intervento di isolamento interno (paragrafo 6.2); Tecnologie di intervento\_Schede di valutazione dei materiali isolanti (paragrafo 8.2); Simulazioni dinamiche termoigrometriche: valutazione degli interventi di isolamento su un arco di 5 anni (paragrafo 9.1-9.6); Materiale per l'utente\_Schede di rilevamento dati.

costruttiva) non indagabili separatamente.

Trasferendo il metodo del progetto sull'esistente, nell'articolazione complessa ed interdisciplinare delle fasi e degli operatori, alla sperimentazione su tre casi studio, è stato possibile testare strumenti diversificati per simulare, valutare e monitorare interventi differenziati su sistemi storici diversi per condizioni microclimatiche, per sistemi costruttivi e performance d'involucro. Come più volte sottolineato, dal punto di vista energetico non sono stati elaborati per gli edifici storici strumenti specifici di monitoraggio e valutazione delle performance, per strumentazioni impiegabili - in modo teorico - per la sperimentazione su tutte le tipologie di edifici (di nuova costruzione ed esistenti), la normativa non chiarisce termini e limiti di utilizzo.

Risultati specifici sono stati ottenuti attraverso la sperimentazione presso la Casa della Pesa a Bolzano, studiato, sotto la supervisione di Elena Lucchi durante il periodo di permanenza presso l'Eurac Research (par. 6.1). L'edificio, caso studio italiano della ricerca europea 3Encult, è attualmente sotto monitoraggio per verificare nel tempo i risultati dell'intervento di isolamento interno e sostituzione degli infissi. In particolare, sono stati verificati modalità di utilizzo e limiti di strumenti di rilevamento dei dati (in particolare termoflussimetro e termocamera) e di modelli di simulazione dinamica dei comportamenti d'involucro, adattati ai sistemi costruttivi storici.

La prima sperimentazione (molto specialistica) ha mosso i suoi passi da una problematica che posta dall'English Heritage, relativa al tempo necessario ad un termoflussimetro a per rilevare i dati di una parete "pesante" affinché il valore di trasmittanza ricavato possa essere considerato attendibile e, quindi, utilizzabile nelle scelte progettuali.

La normativa internazionale (*ISO 9869-1: 2014. Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance*), infatti, non indica tempi certi e non fa distinzione tra le varie tipologie costruttive e gli spessori di involucro conseguenti. Attenendosi semplicemente alla regola del "periodo superiore alle 72h" i dati ricavati sono approssimativi o errati. La sperimentazione ha dimostrato che su una stessa parete, due piastre poste a poca distanza l'una dall'altra non impiegano lo stesso tempo per misurare il flusso di calore. Tale risultato è stato ottenuto analizzando i dati di rilevamento in più riprese, a distanza di molti giorni.

Questo risultato sottolinea i limiti nell'uso degli strumenti e dei

dati rilevati in assenza di competenze specifiche, che induce conseguentemente a operare scelte tecniche non corrette; confermando, inoltre, l'articolazione complessa dei dati conoscitivi iniziali, da applicare correttamente in fase progettuale, per non creare inutili "sovraccarichi" alla struttura esistente.

Parallelamente, è stata verificata l'effettiva possibilità di avvalersi nel progetto di un software di simulazione dinamica non pensato specificatamente per edifici storici, adattandolo nell'utilizzo agli specifici requisiti dei sistemi costruttivi tradizionali.

Usando una serie di accortezze si è sono raggiunti risultati prossimi a quelli reali, limitati a un solo caso di studio, che ne costituisce sicuramente un limite. Il dato significativo è che l'adozione di metodi semplificati, determina uno scarto notevole rispetto al comportamento reale; andando, invece, ad inserire un numero elevato di variabili, relative al sistema costruttivo specifico, la simulazione mostra comportamenti più attendibili.

La necessità di inserire dati, reali all'interno del software di simulazione dinamica termoisolometrica, sono state effettuate diverse indagini termografiche sulla struttura dell'edificio. La termografia permette, infatti, di leggere la stratigrafia muraria e di mettere in luce eventuali dispersioni o variazioni termiche da una zona all'altra, in modo correlato.

In questa fase l'accuratezza dell'indagine risulta fondamentale ai fini dell'ottenimento di dati attendibili. È necessario seguire esattamente le indicazioni fornite dalla normativa di riferimento (UNI 10924-1:2000. Prove non distruttive - Termografia all'infrarosso - Termini e definizioni. UNI EN 13187:2000. Prestazione termica degli edifici - Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo all'infrarosso.) perché la minima alterazione dovuta a fattori esterni (pioggia battente, luce diretta, zone di ombra, superficie non raffreddata) alla superficie da rilevare possono indurre in errori di valutazione.

Le campagne termografiche sono state, inoltre, la base per la scelta del posizionamento dei sensori necessari a controllare il livello di comfort indoor nell'ambito del secondo caso di studio selezionato, la Villa sul Lago di Como (par. 6.2), valutato sempre nell'ambito dell'esperienza svolta presso l'Eurac di Bolzano.

L'obiettivo specifico era dimostrare che l'ipotesi di poter isolare dall'interno un edificio storico limitando le alterazioni sui materiali e i livelli di comfort indoor. Nel caso specifico sono stati utilizzati sensori di monitoraggio della superficie (involucro) e sensori di ri-

11. Tale sintesi deriva dallo studio comparato di trattati, manuali e studi sui sistemi costruttivi italiani, come è visibile dalla sezione bibliografica dedicata all'argomento e da quanto riportato nel paragrafo 2.2.

levamento della qualità dell'aria negli ambienti interni. Questo caso studio è stato scelto per la complessità dell'intervento effettuato su una struttura ottocentesca, in cui le murature storiche dialogano con inserimenti di epoca più recente in cemento armato: sono stati, infatti, utilizzati tre tipi diversi di isolante, selezionati sulla base dei problemi legati all'umidità di risalita e del materiale con cui dovevano lavorare, a seconda caratteri costruttivi delle superfici. Il monitoraggio ha dimostrato che la temperatura interna dell'edificio si manteneva stabile durante la giornata, anche nei mesi più caldi (circa 20°C), che i livelli di umidità relativa non si innalzavano molto al di sopra del 60% e che i livelli di CO2 erano abbastanza stabili. Questo può essere considerato un esito positivo poiché dimostra che, andando a validare la proposta avanzata all'interno della tesi.

Sulla base dei dati raccolti in fase di sperimentazione, sono stati realizzati quattro strumenti con i quali approcciarsi al progetto di riqualificazione energetica dell'edificio storico: scheda di lettura delle tecnologie costruttive, schede di valutazione dei materiali isolanti, scheda di rilevamento dati, simulazioni dinamiche termogrometriche per la valutazione degli interventi di isolamento su un arco di 5 anni.

La *scheda di lettura delle tecnologie costruttive pre-industriali* individua sei sistemi costruttivi tradizionali, diffusi ampiamente in tutte le regioni italiane (indipendentemente dalla fascia climatica) a cui sono riconducibili le differenti specificità locali: Muratura a sacco; Muratura dal nucleo costipato; Muratura dal nucleo ammorsato; Muratura in blocchi di pietra squadrati; Muratura mista pietra e laterizio; Muratura in laterizio.

Lo scopo della scheda è guidare l'utente meno esperto alla lettura del sistema edificio attraverso le caratteristiche tecniche e materiche rilevabili in situ. Le sezioni murarie sono descritte sulla base degli elementi che le compongono e delle modalità in cui si presenta il paramento esterno, sullo stato di conservazione dei singoli elementi e sulla presenza o meno di interventi di consolidamento di epoca recente.

Le schede si basano su dati ricavati da letteratura e fonti a disposizione e risultano dalla sistematizzazione di una serie di informazioni raccolte in fase conoscitiva, indispensabili per un corretto processo di progettazione<sup>11</sup>.

Sulla base del comportamento energetico passivo degli edifici storici, si è scelto di concentrarsi su una tipologia di intervento di riqualificazione che permettesse di mantenere questa peculiarità. Da questo punto di vista, il sistema di isolamento delle pareti dall'interno è risultato essere una valida alternativa al potenziamento impiantistico e visto che è un campo ancora poco indagato e vede pochissime applicazioni ad oggi sul territorio italiano, si è pesato di approfondire questo aspetto cercando di coglierne i limiti e le potenzialità. Due dei casi studio scelti, Bolzano e Como, infatti, presentano questo tipo di intervento e le indagini svolte hanno portato a concludere che se la situazione di partenza lo permette, isolare internamente sia gli elementi verticali che orizzontali della struttura può portare a raggiungere elevati guadagni termici.

Importante, però, è l'accurata scelta dei materiali in fase di progettazione, sia per quanto riguarda le caratteristiche proprie, sia per quanto riguarda la compatibilità chimico-fisica con il substrato murario.

Per questo si è pensato di studiare i pacchetti isolanti presenti sul mercato o in fase di sperimentazione e realizzare una serie di schede che ne descrivessero le caratteristiche e ne valutassero l'aspetto legato alla sostenibilità ambientale dal processo produttivo allo smaltimento.

Le schede specifiche riportano la valutazione di 20 materiali isolanti, scelti tra quelli in commercio e tra quelli presenti nel database del software di simulazione, che sono serviti in ultimo per creare dei scenari di riferimento relativi ad ipotetici interventi di isolamento su quattro diversi involucri storici.

I materiali scelti, di diversa origine, e caratterizzano le tipologie presenti sul mercato, da quelli di origine sintetica, a quelli di origine animale fino ai compositi. Una delle discriminanti principali per la selezione era stata la possibilità di utilizzare l'isolante all'interno limitando i problemi legati alla formazione di umidità e condensa, capaci di alterare la superficie muraria sottostante. Per ogni sistema isolante è illustrato il processo produttivo, l'applicabilità, l'impatto ambientale, il mantenimento nel tempo delle prestazioni e la possibilità di essere rimossi e smaltiti o riutilizzati.

I dati riportati derivano da indagini di mercato sulle aziende produttrici, interrelati con informazioni su base scientifica derivate dalle diverse fonti. Lo strumento, a, integrabile e aggiornabile, permette la comparazione delle caratteristiche dei materiali a disposizione senza dover eseguire articolate e complesse ricerche di mercato,

che richiedono tempi e competenze specifiche per l'elaborazione di dati a confronto.

In ultimo è stato affrontato il problema legato allo sviluppo di diversi tipi di alterazioni e degrado relativi ad una scelta non corretta del materiale isolante. Sono state, pertanto, analizzate virtualmente quattro sezioni murarie al fine di simularne il comportamento termigrometrico prima e dopo l'intervento di isolamento, in un arco di tempo di 5 anni.

I risultati delle 176 simulazioni (11 isolanti su quattro pareti, ognuna posta in quattro differenti zone climatiche, esposti ad ovest), sono stati schematizzati in un quadro di sintesi realizzato con 4 tabelle da cui emergono le situazioni più critiche, in cui bisogna avere maggiori accortezze, caratterizzate da un clima molto umido e piovoso (Bolzano zona E, Ancona zona D). E' possibile riscontrare, inoltre, buoni risultati in climi caldi (Napoli zona C, Palermo zona A), condizione in cui, solitamente, l'intervento di isolamento non viene preso in considerazione.

Nel complesso i sistemi a umido si comportano meglio di quelli a secco, in cui si rischia la formazione di condensa nella zona in cui parete e isolante vengono a contatto: il sistema montato a secco è più "rigido", in quanto i pannelli vengono incastrati tra due montanti che fanno da supporto e a volte, viste le discontinuità delle pareti storiche, questo sistema risulta poco flessibile e si rischia di avere uno strato di aria tra pannello e parete.

Una scheda di rilevamento dati per il progetto di riqualificazione energetica, che passi dalla lettura delle componenti storiche, tecnologico-costruttive, fisico-materiche e infine energetiche, che metta sistema i dati raccolti e sia lo specchio dell'edificio, delle sue potenzialità e delle eventuali problematiche (par. 8.3)

#### PROBLEMATICHE APERTE E SVILUPPI FUTURI

La presa di coscienza della necessità di intervenire non solo sulla salvaguardia della struttura in sé, ha spostato l'intervento conservativo su un piano più complesso, in cui non compaiono più solo le istanze estetiche e strutturali, ma anche quelle legate alla vivibilità degli ambienti e al raggiungimento di livelli di comfort ottimali per mantenere inalterate le funzioni primarie degli edifici, ovvero quelle legate alle attività che vi si svolgono quotidianamente.

Purtroppo però la sperimentazione in tal senso è ancora troppo poca, se comparata con quella che si porta avanti in altri settori edilizi e solo negli ultimi anni stiamo assistendo ad un'apertura verso le nuove tecnologie da parte dei puristi della conservazione, che per molto tempo hanno allontanato e non approvato qualsiasi intervento che rendesse una struttura storica parzialmente ibrida e il 33° convegno internazionale di Scienza e Beni Culturali, Le nuove frontiere del restauro. Trasferimenti, contaminazioni e ibridazioni (Bressanone 2017), ne è una prova.

Si parla spesso di edilizia storica generalizzando un concetto che invece è molto complesso ed diversamente declinabile a seconda della situazione e, di conseguenza, prevede metodi di indagine e progettazione che differiscono tra loro.

I software di progettazione, quelli di analisi, simulazione o modellazione virtuale sono tutti calibrati su edifici di nuova costruzione realizzati con tecnologie standardizzate dal meccanismo produttivo industriale e non si prestano facilmente, o comunque non in modo corretto, ad essere utilizzati sull'edilizia storica.

D'altra parte se alla mancanza di tipo strumentale si aggiungono quelle di tipo normativo, che non danno indicazioni precise e puntuali, si agirà sempre con molto arbitrio e incertezza.

Il tema della riqualificazione energetica negli edifici storici preindustriali è un tema ancora poco affrontato rispetto alla sua vastità ed eterogeneità, ma soprattutto è un tema su cui, in linea generale, si ha poca consapevolezza, visto che del patrimonio storico non fanno parte solo gli edifici vincolati per motivi di pregio, ma anche strutture vissute come abitazioni comuni, di cui spesso l'utente non sa quasi nulla.

L'idea di una piattaforma web che funzioni come ambiente di lavoro e scambio di esperienze allo stesso tempo è un tema che si sta sviluppando in diverse esperienze di ricerca, ma rimane ancora legata ad ambiti circoscritti e non sempre accessibile a tutti i tipi di utenti. In questa sede si propone un modello di piattaforma che possa essere accessibile su più livelli, dallo studente al tecnico incaricato di effettuare un intervento e vuole confrontarsi con altri esempi già realizzati o avere un supporto in fase di analisi e progettazione, al ricercatore che desidera condividere i risultati raggiunti.

Realizzare concretamente un sito in continuo aggiornamento dove

12. M. Losasso. (2016)  
Contesti storici e progettazione contemporanea: l'innovazione tecnologica fra memoria e modificazione. *Technè*, n° 12, p. 7, Firenze.

poter trovare indicazioni e strumenti sia di livello teorico che pratico, potrebbe essere un primo passo verso una maggiore presa di coscienza dell'importanza di questo tema estremamente attuale e per creare una rete che sottolinei la rilevanza di considerare la riqualificazione energetica non come un tema marginale, ma come un tema centrale, affinché possa essere affrontato con metodo e portare al raggiungimento di sempre più risultati concreti.

Che si tratti di un piccolo edificio residenziale o una grande struttura, tutti contribuiscono al consumo complessivo di energia.

"Nel delicato equilibrio fra conservazione e trasformazione è necessario misurarsi con le criticità di un patrimonio culturale caratterizzato da rilevanti deficit prestazionali e avanzate forme di degrado. Nel costruito esistente, l'obsolescenza fisica e funzionale si accompagna a prestazioni inadeguate, come quelle relative alla sicurezza o all'uso efficiente delle risorse energetiche. Queste criticità sono spesso affrontate con modalità non appropriate e con approcci puntuali, accentuate dalle crisi e dalle debolezze di un settore delle costruzioni caratterizzato da limiti dimensionali e della capacità di innovazione"<sup>12</sup>.





## Glossario

**Bene culturale:** "Sono beni culturali le cose immobili e mobili che, presentano interesse artistico, storico, archeologico, etnoantropologico, archivistico e bibliografico e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge quali testimonianze aventi valore di civiltà" (Art. 2 D.lgs 22 gennaio 2004, n. 42). Appartengono al patrimonio culturale della Nazione tutti i beni aventi riferimento alla storia della civiltà. Sono assoggettati alla legge i beni di interesse archeologico, storico, artistico, ambientale e paesistico, archivistico e librario, ed ogni altro bene che costituisca testimonianza materiale avente valore di civiltà (Atti della Commissione Franceschini, 1967).

**Compatibilità:** nell'ambito della conservazione, il concetto di compatibilità può assumere valenze e significati diversi. Se si restringe il campo alle metodologie e ai materiali per l'intervento e, in particolare, alle malte da restauro, la compatibilità si declina dal punto di vista chimico-composizionale, fisico, meccanico ed estetico attraverso il ricorso a nuovi materiali che siano il più possibile simili a quelli originali (tenuto presente lo stato di conservazione di questi ultimi e la capacità di quelli da restauro di fornire una risposta efficace rispetto alle richieste prestazionali e funzionali). In generale, una malta da restauro compatibile dovrebbe essere tale da non indurre, direttamente o indirettamente, alcun danno al substrato garantendo, allo stesso tempo, un'adeguata durabilità (elaborato da RILEM 2004, 2009).

**Conservazione:** La conservazione è ogni attività svolta con lo scopo di mantenere l'integrità, l'identità e l'efficienza funzionale di un bene culturale, in maniera coerente, programmata e coordinata.

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

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

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

4. Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione ed alla trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale." (Art. 29 D.lgs 22 gennaio 2004, n. 42).

**Conservazione (Interventi di):** rivolti a conservare l'organismo edilizio e ad assicurarne la funzionalità mediante un insieme sistematico di opere che, nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell'organismo stesso, ne consentano destinazioni d'uso con essi compatibili. Tali interventi comprendono il consolidamento, il ripristino e il rinnovo degli elementi costitutivi dell'edificio, l'inserimento degli elementi accessori e degli impianti richiesti

dalle esigenze dell'uso, l'eliminazione degli elementi estranei all'organismo edilizio (definizione da D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, art. 3, comma 1c, ma compatibile anche con le realtà internazionali); oppure, combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative ed organizzative, incluse le attività analitiche, che intervengono sul costruito tutelato, finalizzate a mantenere le informazioni contenute nell'edificio e nelle sue parti, l'integrità materiale e ad assicurarne la conservazione e la protezione dei suoi valori culturali (definizione da UNI 10914-1:2001 - Edilizia. Qualificazione e controllo del progetto edilizio di interventi di nuova costruzione e di interventi sul costruito. Terminologia).

**Efficienza energetica (legislazione):** L'efficienza energetica di un sistema rappresenta la capacità di sfruttare l'energia a essa fornita per soddisfarne il fabbisogno. Minori sono i consumi relativi al soddisfacimento di un determinato fabbisogno, migliore è l'efficienza energetica della struttura. In Italia la prima legge sull'efficienza energetica è stata la l. 9.01.1991, n. 10, incentrata sui tre capisaldi del "risparmio energetico", "uso razionale dell'energia" e "sviluppo delle fonti rinnovabili". Segue il d.lgs. 29.12.2003, n. 387, che attua la dir. 2001/77/CE relativa alla "promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" e concorre a definire il concetto di energie rinnovabili. Con il d.lgs. 19.08.2005, n. 192 è stata attuata la dir. 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia. Il decreto stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica. Introduce la "Certificazione energetica degli edifici" (art. 6), che è presupposto per il rilascio del certificato di agibilità al permesso di costruire (art. 2, co. 282, l. 24.12.2007, n. 244). Il d.lgs. 30.05.2008, n. 115 che attua la dir. 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia, stabilisce un quadro di misure volte al miglioramento dell'efficienza energetica sotto il profilo costi e benefici al fine di contribuire al miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla tutela dell'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. L'art. 7 del d.l. 26.06.2008, n. 112 (conv. in l. 6.08.2008, n. 133) stabilisce che al Governo spetti di elaborare la "Strategia energetica nazionale", avendo tra i suoi obiettivi anche (lett. c): la promozione delle fonti rinnovabili di energia e dell'efficienza energetica. Nell'agosto 2010 il Ministero dello Sviluppo ha disciplinato le agevolazioni per i produttori di fonti di energia rinnovabile. (Viola Luca)

**Minimo intervento:** "la materia di cui risulta l'immagine è insostituibile solo dove costituisca l'aspetto e non la struttura" (Brandi, Teoria del restauro, 1963)

**Paramento murario:** Da *parèro* (apparire, mostrarsi), ma più propriamente, nel significato tecnico, dal francese *parément* (faccia vista, rivestimento, ornamento). Con paramento murario si identificano sia la superficie del muro sia ciascuno dei due strati esterni, comprensivi del loro spessore, di una struttura dotata di nucleo interno. I materiali comunemente utilizzati sono la pietra, il laterizio, l'argilla, con l'eventuale aggiunta di malta nei giunti.

**Progettazione ambientale:** Approccio di tipo progettuale basato sull'azione mediatrice dell'architettura come interfaccia tra ambiente naturale e ambiente artificiale. Punto di partenza per la progettazione ambientale è quello di concepire l'architettura come un organismo inserito in maniera sostenibile in un ecosistema, nel quale ogni trasformazione faccia parte di un processo fondato sulla multiscalarità, l'integrazione, l'interdisciplinarietà e l'innovazione tipo-tecno-morfologica dei suoi componenti e sia animato dagli obiettivi di sostenibilità ambientale e di ecoefficienza. (Fabrizio Orlandi)

**Recupero:** combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative ed organizzative, incluse le attività analitiche, che intervengono sul costruito, finalizzate a mantenere o aumentare le prestazioni residue del bene (definizione da UNI 10914-1:2001 - Edilizia. Qualificazione e controllo del progetto edilizio di interventi di nuova costruzione e di

interventi sul costruito. Terminologia).

**Restauro:** Il Codice dei beni culturali e del paesaggio definisce in questi termini il restauro, all'art. 29, comma 4:

"Per restauro si intende l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene medesimo, alla protezione e trasmissione dei suoi valori culturali. Nel caso di beni immobili situati nelle zone dichiarate a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale." Il testo legislativo si rifà ad un lungo e raffinato percorso di definizione teorica del restauro, con riguardo ai due aspetti essenziali, il problema della conservazione della materia originale ("integrità materiale") e il problema della conservazione e trasmissione dei valori culturali. Al restauro non è delegata solo la funzione di conservare l'immagine, l'aspetto visivo, ma anche di conservare e trasmettere le informazioni tecniche e culturali codificate nel bene culturale oggetto di intervento.

**Reversibilità:** "La "reversibilità", almeno potenziale, delle opere previste o attuate, per cui lavorare "per via di agguingere" è meglio che "per via di togliere", essendo l'aggiunta di regola rimovibile, mentre la rimozione no. Per il medesimo criterio, saggi diagnostici ed altri interventi dovrebbero essere non invasivi e non distruttivi (analogamente a quanto avviene in campo chirurgico se si pone a confronto la chirurgia tradizionale con la più moderna microchirurgia). In quest'ottica, la termografia o l'esame delle murature con ultrasuoni sono tecniche preferibili ad altre di carattere "distruttivo", come i carotaggi; una catena, posta a contenere la spinta di una volta, è in linea di massima, preferibile ad un intervento d'analogo risultato che però sia condotto all'interno delle antiche murature. La catena è infatti un antico rimedio, per sua natura, espressione sia di minimo intervento che di reversibilità. Tutto ciò è valido senza che però si giunga, come oggi in alcuni ambienti sta già avvenendo, ad assolutizzare acriticamente tali principi, come dimostrano alcune semplicistiche proposte di bandire tout court le tecniche moderne in favore di quelle tradizionali [...]" (Fonte: G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori Editore, Napoli, 1997, p. 450).

**Riconoscibilità:** "L'integrazione dovrà essere sempre e facilmente riconoscibile ad un controllo ravvicinato, anche se a distanza non dovrà disturbare l'unità che si è inteso ristabilire" (Brandi, *Teoria del restauro*, 1963)

**Riqualificazione (interventi di):** rivolti a trasformare gli organismi edilizi mediante un insieme sistematico di opere che possono portare ad un organismo edilizio in tutto o in parte diverso dal precedente. Tali interventi comprendono il ripristino o la sostituzione di alcuni elementi costitutivi dell'edificio, l'eliminazione, la modifica e l'inserimento di nuovi elementi ed impianti (definizione parziale di "ristrutturazione edilizia" da D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia, art. 3, comma 1d, ma compatibile anche con le realtà internazionali); oppure, combinazione di tutte le azioni tecniche, incluse le attività analitiche, condotte sugli organismi edilizi ed i loro elementi tecnici, finalizzate a modificare le prestazioni per farle corrispondere ai nuovi requisiti richiesti (definizione da UNI 10914-1:2001 - Edilizia. Qualificazione e controllo del progetto edilizio di interventi di nuova costruzione e di interventi sul costruito. Terminologia).

**Sistema edilizio:** Si definisce sistema una connessione di elementi in un tutto organico; un insieme di elementi in stretto rapporto tra loro destinati a determinati scopi e finalità; un insieme di elementi che costituiscono un'organizzazione tipica (Devoto-Oli). In ambito produttivo un generico sistema può essere definito come un insieme di elementi interagenti che operano per raggiungere un obiettivo comune. Un sistema edilizio definisce un processo razionalizzato, dotato di continuità, finalizzato alla realizzazione di edifici che, in tutto o in parte, utilizzano prodotti industrializzati. Un sistema edilizio deve essere caratterizzato da un buon grado di compatibilità interna tra gli

elementi che lo costituiscono e da un buon grado di adattabilità esterna verso l'ambiente o il contesto in cui viene inserito il sistema edilizio, inteso come sovrastruttura dei sistemi ambientale e tecnologico, si esplica attraverso un insieme strutturato di unità ambientali/elementi spaziali e di unità tecnologiche/elementi tecnici corrispondenti. [Fabrizio Orlandi]

**Sostenibilità (tecnologica):** Il complesso concetto di sostenibilità può essere sinteticamente definito come la capacità di gravare quanto meno possibile sull'ambiente, sulla società e sulle persone, alleggerire la propria impronta ecologica, diffondere e divulgare la cultura della durabilità attraverso l'informazione, la formazione e l'educazione. Il pensiero sostenibile considera la città, nel senso più ampio del termine, come ecosistema sociale complesso, attraversato da flussi di materia, energia e informazione caratterizzati da continui processi di cambiamento e di sviluppo. Tali processi riguardano, tra gli altri, aspetti quali quello energetico, quello ecologico, quello della gestione delle risorse ambientali e quello della produzione dei rifiuti, combinati con aspetti sociali, culturali, storici, civili, economici e politici. Lo sviluppo umano sostenibile si colloca sul terreno comune in cui si incontrano le esigenze dell'ambiente, della società e dell'economia, e rappresenta l'integrazione e la sintesi di un ecosistema sociale vivibile, equo e duraturo. Nel parlare di ecosostenibilità del progetto architettonico non si può non considerare in termini più ampi i problemi di multidisciplinarietà, integrazione e multiscalarità (progettazione ambientale). Nell'ambito del processo edilizio sostenibile, la fase cruciale della progettazione non può oggi non tener conto di una serie di fattori ed elementi, quali il "luogo" con tutte le sue caratteristiche morfologiche, topiche, biofisiche, microclimatiche e macroambientali, ed è in questo senso che si parla della necessità di mettere a sistema gli aspetti ambientali, sociali ed economici, ossia di coinvolgere e coordinare, in tutte le fasi del processo edilizio ed alle diverse scale progettuali, specialisti dei diversi settori coinvolti in ogni progetto di trasformazione che si voglia definire sostenibile.

**Sviluppo sostenibile:** "far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere alle loro". "Lo sviluppo sostenibile, lungi dall'essere una definitiva condizione di armonia, è piuttosto processo di cambiamento tale per cui lo sfruttamento delle risorse, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico e i cambiamenti istituzionali siano resi coerenti con i bisogni futuri oltre che con gli attuali". (rapporto della Commissione Brundtland su ambiente e sviluppo, 1987).

**Tecnologia dell'architettura:** "Il settore si interessa dell'attività scientifica e didattico-formativa nei campi della progettazione tecnologica dell'architettura e del design. Nel campo della progettazione tecnologica dell'architettura, i contenuti scientifico-disciplinari riguardano: gli strumenti, i metodi e le tecniche per il progetto di architettura alle diverse scale nonché le tecniche di trasformazione, realizzazione, manutenzione, recupero e gestione dell'ambiente naturale e costruito, con riferimento agli aspetti relativi al progetto tecnologico delle opere di architettura nell'ottica di un approccio esigenziale e prestazionale dei manufatti e beni edilizi; l'ideazione correlata alla concezione costruttiva delle opere; l'innovazione e la sperimentazione tecnologica nell'ottica della sostenibilità sociale, economica e ambientale. I contenuti scientifici comprendono: la storia e la cultura tecnologica della progettazione e della costruzione; lo studio delle tecnologie edilizie e dei sistemi costruttivi nel loro sviluppo storico; lo studio dei materiali naturali ed artificiali; la progettazione e la sperimentazione di materiali, elementi, componenti e sistemi costruttivi; la progettazione ambientale e la progettazione sostenibile degli edifici, compresa la loro efficienza energetica; la gestione del processo progettuale; le tecnologie di progetto, di costruzione e di trasformazione; la manutenzione e la gestione degli edifici; l'innovazione di prodotto e di processo; la valutazione critica delle alternative di progetto; le dinamiche esigenziali, gli aspetti prestazionali ed i controlli della qualità architettonica ed ambientale; la rappresentazione dei problemi con modelli ingegneristici; le sperimentazioni in laboratorio e "in situ" e l'analisi dei dati. Nel campo del design, i contenuti scientifico-disciplinari riguardano teorie, metodi, tecniche e strumenti

del progetto di artefatti - materiali e virtuali - con riferimento ai loro caratteri morfologici nelle loro relazioni con: bisogni e comportamenti d'uso degli utenti; caratteri produttivi, costruttivi, prestazionali, di sicurezza e qualità propri dei sistemi industriali; requisiti funzionali, ergonomici e di sostenibilità economica, sociale e ambientale; linguaggi visivi, prassi artistiche, significati estetici e culturali. I contenuti scientifici riguardano lo statuto teorico e storico-critico degli artefatti e le forme proprie del pensiero progettuale come prassi interdisciplinare e momento di sintesi dei molteplici saperi che intervengono nella progettazione degli artefatti nel loro ciclo di vita, nonché come attività di prefigurazione strategica di scenari socio-tecnici e configurazione di nuove soluzioni attraverso l'applicazione e il trasferimento di innovazione tecnologica. Gli ambiti di ricerca e di applicazione riguardano il design del prodotto, della comunicazione, degli interni, della moda e delle loro integrazioni sistemiche." (DECRETO 29 luglio 2011 pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 1° settembre 2011 il Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca)

**Tutela:** La tutela è ogni attività diretta a riconoscere, proteggere e conservare un bene del nostro patrimonio culturale affinché possa essere offerto alla conoscenza e al godimento collettivi. Si esplica pertanto nel riconoscimento, tramite il procedimento di verifica o dichiarazione dell'interesse culturale di un bene, a seconda della sua natura proprietaria; nella protezione e nella conservazione. "1. La tutela consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette, sulla base di un'adeguata attività conoscitiva, ad individuare i beni costituenti il patrimonio culturale ed a garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione. 2. L'esercizio delle funzioni di tutela si esplica anche attraverso provvedimenti volti a conformare e regolare diritti e comportamenti inerenti al patrimonio culturale." (Art. 3 D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42).

**Valorizzazione:** La valorizzazione è ogni attività diretta a migliorare le condizioni di conoscenza e di conservazione del patrimonio culturale e ad incrementarne la fruizione pubblica, così da trasmettere i valori di cui tale patrimonio è portatore. "1. La valorizzazione consiste nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette a promuovere la conoscenza del patrimonio culturale e ad assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso, anche da parte delle persone diversamente abili, al fine di promuovere lo sviluppo della cultura. Essa comprende anche la promozione ed il sostegno degli interventi di conservazione del patrimonio culturale. In riferimento al paesaggio, la valorizzazione comprende altresì la riqualificazione degli immobili e delle aree sottoposti a tutela compromessi o degradati, ovvero la realizzazione di nuovi valori paesaggistici coerenti ed integrati.

2. La valorizzazione è attuata in forme compatibili con la tutela e tali da non pregiudicarne le esigenze.

3. La Repubblica favorisce e sostiene la partecipazione dei soggetti privati, singoli o associati, alla valorizzazione del patrimonio culturale." (Art. 6 D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42).



## References

Conoscere e indagare l'edificio storico

Amico, G.B. (1726). *L'architetto pratico*. Palermo.

Arcosio, F. Cecchini, P. (2003). *Italia patrimonio culturale dell'umanità*. Roma

Aymonino, C. [et al.] (1970). *La città di Padova. Saggio di analisi urbana*, Officina, Roma.

Benvolo, L. (2005). *Introduzione all'architettura*. Roma: Laterza

Bini, M. (cur.). (2011). *Il paesaggio costruito della campagna Toscana*. Firenze: Alinea Editrice.

Brusaporci, S. (2012). *Le murature nell'architettura del versante meridionale del Gran Sasso (sec. XI-XIV)*. Roma: Gangemi Editore.

AA.VV. (2009). *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento de danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AoDES)*. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile.

Caniggia, G. (1963). *Lettura di una città*. Como, EDIT, Como.

Caniggia, G. Maffei, G.L. (1979). *Lettura dell'edilizia di base*. Venezia: Marsilio

Caniggia, G., Maffei, G.L. (1980). *La casa fiorentina nella storia della città dalle origini all'Ottocento*. Venezia: Marsilio

Cifani, G., Lemme, A., Podestà, S. (cur.). (2008). *Sisma Molise 2002: dall'emergenza alla ricostruzione. Edifici in muratura. Regione Molise, Università di Genova - DICAT, in collaborazione con ANCF Molise*. Roma: DEI tipografia del Genio Civile. (Capitolo 3).

Comune di Città di Castello. (1998). *Manuale del recupero della Città di Castello*. Roma: DEI tipografia del Genio Civile.

Conti, G. (2000). *La pratica in architettura. Manuale sulle tecniche costruttive tradizionali*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore.

Corrado, V., Ballarini, I., Corznati, S. P. (2014). *Building typology brochure - Italy*. Politecnico di Torino – Dipartimento Energia.

- Cuboni, A. F. S. (cur.). I manuali del recupero dei centri storici della Sardegna. Architettura in pietra delle Barbagie, dell'Ogliastra, del Nuorese e delle Baronie, Roma: DeI tipografia del Genio Civile.
- Donà, C. (2011). Manuale delle murature storiche. Vol. I e II. Roma: Dei Tipografia del Genio Civile.
- Dell'Acqua, A.C., Degli Espositi, A., Mochi, G., (2011). Tradizioni del costruire nel territorio nazionale. Firenze: Alinea Editrice.
- De Meo, M. (2006). Tecniche costruttive murarie medievali. La Sabina. Roma: "L'ERMA" di Bretschneider.
- Esposito, D. (1998). Tecniche costruttive murarie medievali. Murature "a tufelli" in area romana. Roma: "L'ERMA" di Bretschneider.
- Ferlenga A., Vassallo A., Schellino E. Antico e Nuovo. Architetture e architettura, Il Poligrafo, Padova.
- Fiorani, D. (1996). Tecniche costruttive murarie medievali. Il diaonale. Roma: "L'ERMA" di Bretschneider.
- Franceschini, A. (Ed.) (2014). Sulla città futura. Verso un progetto ecologico, LIST Lab, Trento.
- Gazzola, L. (1990). Architettura e tipologia. Roma: Officina edizioni.
- Giuffrè, A. (1991). Letture sulla meccanica delle murature storiche. Bologna: Kappa.
- Giuffrè, A. (cur.). (2006) Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia. Codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico. Bari: Laterza.
- Grassi, G. (1971). "Tipologie d'abitazione a Pavia", Controspazio, No. 9, September.
- Gregotti, V. (2013). Il sublime al tempo del contemporaneo, Einaudi, Torino
- Greppi, P., Bugini, R., Folli, L. (2014). Tecniche e materiali da costruzione nella Milano antica e medievale. LANX, 19, 95-128. <http://riviste.unimi.it/index.php/lanx/index>
- Maffei, M. Maffei, G.L. (). Lettura dell'edilizia speciale. Firenze: Alinea
- Magnaghi, A. (2000). Il progetto locale. Verso la coscienza di luogo, Bollati Boringhieri, Torino.
- Maretto, P. (1960), L'edilizia gotica veneziana, Istituto poligrafico dello Stato, Roma.
- Mor, G. (a cura di). (2006). Manuale del recupero di Genova Antica. Roma: Dei tipografia del Genio Civile.
- Muratori, S. (1959), Studi per una operante storia urbana di Venezia, Istituto poligrafico dello Stato, Roma.
- Muratori, S. [et al.] (1963), Studi per una operante storia urbana di Roma, Consiglio nazionale delle ricerche, Roma.
- Palladio, A. (1571). I quattro libri dell'Architettura. Apresso Bartolomeo Carampello
- Pane, R. (1965). Capri. Mura e volte. Napoli, p. 15.

Ranellacci, S. (2004). Manuale del recupero della regione abruzzo voll. 1 e 2. Roma: Dei tipografia del Genio Civile.

Rodolico, F. (1965). Le pietre delle città d'Italia. Firenze: Le Monnier.

Rossi, A. (1964). Contributo al problema dei rapporti tra tipologia edilizia e morfologia urbana. Esame di un'area di studio di Milano con particolare attenzione alle tipologie edilizie prodotte da interventi privati, ILSBS, Milano.

Salmoiraghi, F. (1982). Materiali naturali da costruzione. Milano.

Settis, S. (2014). Se Venezia muore, Einaudi, Torino

Tafari, M. (1991), Storia, conservazione, restauro, in "Casabella", 580, pp.???

Varagnoli, C. (2011). La costruzione tradizionale in Abruzzo. Fonti materiali e tecniche costruttive dalla fine del Medioevo all'Ottocento. Roma: Gangemi Editore.

Varagnoli, C. (cur.). (2008). Muri parlanti. Prospettive per l'analisi e la conservazione dell'edilizia storica. Firenze: Alinea Editrice.

Zaffagnini, M. (Ed.) (1993), Progettare nel tessuto urbano, Alinea, Firenze.

Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale, Dipartimento della Protezione Civile, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (2001). Censimento di vulnerabilità a campione dell'edilizia corrente dei Centri abitati, nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia e Sicilia. Progetto per la rilevazione della vulnerabilità del patrimonio edilizio a rischio sismico e di formazione di tecnici per l'attività di prevenzione sismica connessa alle politiche di mitigazione del rischio nelle regioni dell'Italia Meridionale. Lavori Socialmente Utili (Legge 28.11.96 n. 608) (pp. 107-114;156-161;203-206;268-271;323-328;368-373;407-408;471-474)

Restauro, recupero, riqualificazione e rigenerazione del costruito storico

AA.VV. (1990), Il recupero: metodi e modi, BE-MA, Milano

AA.VV. (1992), Il recupero: cura e manutenzione, BE-MA, Milano.

AA.VV. (2005). Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto. Venezia: Marsilio Editori.

AA. VV. (2011). Progetto e tecnologie per la valorizzazione dei beni culturali, Quaderni del Dottorato PTVBC, n.1, Maggioli. Santarcangelo di Romagna.

Advisory Council on Historic Preservation (1979), Assessing the energy conservation benefits of historic preservation: Methods and Examples, available at: <http://goo.gl/ydwno>.

Antonucci, P. Quadrozzi, E. (2012). Il manuale del recupero di Cervara di Roma. Roma

Baiani, S., Valitutti, A. (2008). Tecnologie di ripristino ambientale: interventi sostenibili per la protezione, fruizione e valorizzazione delle componenti naturali e antropiche del paesaggio. Firenze: Alinea

Baker, Dr P. (2008). In-situ U-value measurements in traditional buildings – preliminary results. Glasgow. Historic Scotland.

Balzani, M. (2011). "Un Focus R (Restauro, Recupero, Riqualificazione) per il progetto contemporaneo", in Balzani, M. (Ed.), *Restauro, Recupero e Riqualificazione. Il progetto contemporaneo nel contesto storico*, Skira, Milano, IT, pp. 10-13.

Bellini A., (2013), *Conservazione e fruizione del patrimonio architettonico: un problema etico*, Franco Angeli, Milano, IT.

Benvenuto, E. (1984), "Del recupero: la parola e la cosa", *Recuperare*, Vol. 11, pp. 206-209. Ciribini, G. (1984), "Della cultura tecnologica della progettazione", in Gangemi, V., Ranzo, P. (Eds), *Il governo del progetto*, Edizioni Luigi Parma, Bologna, pp. 12-17.

Bichlmair, S., Krus, M., Kilian, R. (DATA). Testing a new method for VIP interior insulation for heritage buildings. Fraunhofer Institute for Building Physics IBP Holzkirchen.

Brandi, C. (2000). *Teoria del restauro*. Torino: Einaudi.

Calzolari, M. (2016), *Prestazione energetica delle architetture storiche: sfide e soluzioni*, FrancoAngeli, Milano.

Campanella, C. (2001). *Scelte, stime e costi a confronto*, in Carbonara, G. (diretto da) *Restauro architettonico e impianti*, vol. 7., p. 259. Torino: Utet.

Carbonara, G. (2000), "Gli orientamenti attuali del restauro architettonico", in Casiello, S. (Ed.), *Restauro dalla teoria alla prassi*, Electa, Napoli, pp. 9-26.

Carbonara, G. (2004). *Atlante del restauro*. Torino: UTET

Carbonara, G. (2011). *Architettura d'oggi e restauro. Un confronto antico-nuovo*. Torino: UTET

Caterina, G. (Ed.) (1989), *Tecnologia del recupero edilizio*, UTET, Torino

Caterina, G., Pinto, M.R. (Eds.) (1997), *Gestire la qualità nel recupero edilizio e urbano*, Maggioli, Rimini.

Caterina, G. (2013). "Conservazione, manutenzione e gestione degli spazi pubblici e dei beni architettonici", in Fiore,

Castagneto V, F. (Eds), *Recupero, Valorizzazione, Manutenzione nei centri storici. Un tavolo di confronto interdisciplinare*, LetteraVentidue, Siracusa, pp.14-17. De Medici, S. (2010), *Nuovi usi per la tutela e la valorizzazione del patrimonio costruito*, Franco Angeli Editore, Milano.

Cerroni, F. (2010). *Progettare il costruito: tecnologie per la riqualificazione sostenibile dei siti ad elevata qualità storica e ambientale*. Roma: Gangemi Editore.

Cessari, L., Gigliarelli, E. (J). *Metodologie di valutazione della compatibilità degli interventi conservativi: Applicazione su edifici di valore storico-artistico e sull'architettura minore*. Roma: Gangemi Editore.

De Solà-Morales, I. (1985), *Dal contrasto all'analogia. Trasformazioni nella concezione dell'intervento architettonico*, in "Lotus", 46, p. 40.

Di Battista, V., Fontana, C., Pinto, M.R. (Eds.) (1995). *Flessibilità e riuso*, Alinea, Firenze.

- Di Battista, V. (2006). *Ambiente costruito. Il nuovo paradigma*. Firenze: Alinea.
- Fortana, C. (1991), *Recuperare, le parole e le cose*, Alinea, Firenze. Doglioni, F. (2008). *Nel restauro. Progetti per le architetture del passato*. Venezia: Marsilio.
- Giallocosta, G., Lanza, S.G. e Ravera, M. (2003), "Reversibilità e memoria: immanenza dei limiti e coerenza degli obiettivi", in Biscontin, G. e Driussi, G. (Eds), *La reversibilità nel restauro*, Arcadia Ricerche, Marghera (VE).
- Giebeler, G., Kahlfeldt, P. (2009), "Il costruire come work in progress: riflessioni sugli interventi con l'esistente", in
- Giebeler, G., Franco, G., & al. (Eds.), *Atlante della riqualificazione degli edifici. Modificazione, manutenzione, ampliamento*, UTET Scienze Tecniche, Torino, IT, pp. 16-19.
- Gholam, R.F., Soren, P.B., Ruut, H.P. (2016). Effect of façade impregnation od feasibility of capillary active thermal internal insulation for a historic dormitory - A hygrothermal simulation study. *Building and environment*,113, 201-214. Disponibile da [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat).
- Grammenos, F., Russel, P. (1997), "Building Adaptability: a View from the Future", 2nd International Conference on Buildings and the Environment, vol. 2, Paris, F, 9-12 June 1997
- Grecchi, M. and Malighetti, L.E. (Ed.), *Ripensare il costruito. Il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli edifici*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2008.
- Greco, A. Quagliariini, E. (2007). *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*
- Harrestrup, M., Svendsen, S. (2016). Internal insulation applied in heritage multi-storey buildings with wooden beams embedded in solid masonry brick façades. *Construction and building materials*,99, 59-72. Disponibile da [www.elsevier.com/locate/buildenv](http://www.elsevier.com/locate/buildenv)
- Historic England. (1 giugno 2013). *Research into the thermal performance of traditional brick walls*. London.
- Lazzarini, L., Laurenzi Tabusso, M. (2010). *Il restauro della pietra* (3. ed.). Padova: Cecham
- Lucchi, E. (2014). *Riqualificazione energetica dell'involucro edilizio. Diagnostica e interventi*. Palermo: Flaccovio Dario Editore.
- Mauriello, L. (2005). *Territorio e analisi morfologica: Frigento: prospettive di ricerca e proiezioni di intervento*. Frigento: Tipolitoele.
- Malighetti, L.E. (2011). *Recupero Edilizio. Strategie per il riuso e tecnologie costruttive*, Il Sole 24 Ore, Milano
- Molinari, C. (2002), *Procedimenti e metodi della manutenzione edilizia. La manutenzione come requisito di progetto*, Esselibri, Napoli
- Nardi, G. (1990). *Le nuove radici antiche*, Franco Angeli, Milano.
- Nesi, A. (Ed.) (2002), *Normativa Tecnica Locale per il progetto dell'esistente premoderno*, Gangemi, Roma.
- Regione Puglia (2011-2013). *Piano Paesaggistico territoriale regionale. Linee guida per il recupero, la manuten*

zione e il riuso dell'edilizia e dei beni rurali. Con la coordinazione dell'Inbar e la consulenza di Cnr ed Enea

Reichlin, B., Pedretti, B. (a cura di) (2011). *Riuso del patrimonio architettonico*, Mendrisio Academy Press.

Scalora, G. Monti, G. *La conservazione dei centri storici in zona sismica. Un metodo operativo di restauro urbano*. Milano: Accademia Universa Press. {p. 131}.

Tosone, A. (2012). *L'esercizio della sostenibilità sul patrimonio edilizio storico dell'Aquila. Prassi e ambiti applicativi della ricostruzione. Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura*, 5, 29-40. Disponibile da [http://in\\_bo.unibo.it](http://in_bo.unibo.it).

Zevi, L. (a cura di). (2007). *Il manuale del restauro architettonico*. gruppo Mancuso editore S.r.l.

Zordan, L. (2002), "Tipo, Tecnica e progetto nella conservazione dei tessuti storici", in AA. VV., *Le tradizioni del costruire in pietra: materiali, tecniche, modelli e sperimentazioni*, Gruppo Tipografico Editoriale, l'Aquila, pp. 7-28.

Vitale, M.R. (2007), "Contrasto, analogia e mimesi. L'intervento sul costruito e le istanze della conservazione", in Ferlenga A., Vassallo A., Schellino E. *Antico e Nuovo. Architetture e architettura*, Il Poligrafo, Padova.

Williamson, J.B., Stinson, J., Garnier, C. (DATA). *In-situ monitoring of thermal refurbishment on pre-1919 properties in Scotland*. Scottish Energy Centre, Edinburgh Napier University.

Sviluppo sostenibile, bioclimatica, efficienza energetica, rapporto con il contesto

Alberti, F., Chiapparini, C. (2013). *Cultura ed ecologia dell'architettura alpina*. Venezia: AlpHouse.eu.

Boriani, M., Giambruno, M., Garzulino, A. (2011). *Studio, sviluppo e definizione di schede tecniche di intervento per l'efficienza energetica negli edifici di pregio*, Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico-ENEA

Butera, F.M. (1995). *Architettura e ambiente*. Milano: ETASLIBRI

Cangelli, E. (cur). (2008). *Ecogestione dell'ambiente costruito*. Firenze: Alinea

Carbonara, G. (2015), "Energy efficiency as a protection tool", *Energy and Buildings*, Vol. 95, pp. 9-12.

Cetica, P. A. (2004). *L'architettura dei muri intelligenti. Esperienze di climatizzazione sostenibile dell'Ottocento*. Firenze: Pentecorboli Editore.

Davoli, P.M. (1993). *Architettura senza impianti. Aspetti bioclimatici dell'architettura preindustriale*. Firenze: Alinea Editrice.

Davoli, P.M. (2007). *E ora la riqualificazione energetica del costruito, un intervento imprescindibile, complesso, allestato sul patrimonio edilizio variamente storicizzato*. L'ufficio tecnico, n.4/2007, pp.27-36

Davoli, P.M. (cur). (2008). *Recupero energetico ambientale del costruito*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Davoli, P.M. (2009). *Il senso della riqualificazione energetica del patrimonio storico architettonico tutelato, in un*

momento di crisi economico-energetica e di complessità normativa. *L'ufficio tecnico*, n.22/2009, pp.28-43

Davoli, P. M. (2010). Il restauro - energetico ambientale degli edifici storici. Un percorso progettuale fra antichi saperi, costruzioni tutelate e tecnologie innovative, in *Recupero e Conservazione*, deLettera Editore, n90/91, Marzo 2010, pp.54-65 e pp. 40-51

De Santoli, L. (2015), "Reprint of "Guidelines on energy efficiency of cultural heritage", *Energy and Buildings*, Vol. 95, pp. 2-8.

Dierna, S. (1995) *Tecnologie del progetto ambientale*, in *Atti del TIA, Florence International Conference for Teachers of Architecture*. Firenze.

ENEA. (2015). RAEE. Rapporto annuale efficienza energetica 2015.

ENEA, Ministero dello Sviluppo Economico (2015), *Strategia per la Riqualificazione Energetica del Parco Immobiliare Nazionale (STREPIN)*, available at: [http://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/STREPIN\\_13\\_11\\_2015.pdf](http://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/STREPIN_13_11_2015.pdf)

ENEA. (2016). RAEE. Rapporto annuale efficienza energetica 2016.

Fathy, H. (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climate*. 'Abd al-Rahmān Sulṭān.

Fontana, C. 2004. *Recupero e sostenibilità. Il progetto sostenibile*. n 2, 4-11. Monfalcone: Edilcom Edizioni

Foriani, M. C. (cur.) (2010). *Cultura tecnologica e progetto sostenibile*, Atti del workshop progettuale "Idee e proposte ecostostenibili per i territori del sisma aquilano", organizzato da SITda, Pescara – Caporciano 31 maggio – 5 giugno 2010.

Fregonara, E., Curtu, R., Grosso, M., Mellano, P., Rolando, D., Tulliani, J.M. (2013), "Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings", *The Journal of Urban Technology*, Vol. 20, No. 4.

K. Frampton, *Anti tabula rasa: verso un Regionalismo critico*, in *Casabella* n. 500 Marzo 1984, (pag. 22).

K. Frampton, *Luogo, Forma, Identità Culturale*, in *DOMUS*, N. 673, Giugno 1986, pag 25

Losasso, M.R. (2015), "Rigenerazione urbana: prospettive di innovazione", *TECHNE Journal of Technology for Architecture and Environment*, 5(10), pp. 4-5.

Marco Vitruvio Pollione (V Sec.). Bossalino, F. (cur.). (2002). *De architectura*. Libri X. (F. Bossalino, V. Nazzi (trad.). Roma: Edizioni Kappa.

Marino, L. (2015), "I materiali di rifiuto possono ancora servire? Nel restauro, certamente", in Baratta A., Catalano A. (Eds.) *Il riciclaggio come pratica virtuosa per il progetto sostenibile*, ETS Edizioni, Pisa, pp. 130-143.

Marsh, R. Loring, M. & Petersen, E. H. (2001), "Passive solar energy and thermal mass: the implications of environmental analysis", *arq*, 5, pp. 79-89.

Marzot, N. (2003). Architetture scolpite. Alcune invarianti del paesaggio mediterraneo. In paesaggi d'architettura mediterranea, 7-B, pag.25. La Spezia: Agorà edizioni.

McDonough, W. Braungart, M. (2003). Dalla culla alla culla. Filoderba

M.T. Mussinelli, E. Trombetta, C. (Eds), Cluster in progress. La tecnologia dell'architettura in rete per l'innovazione, Maggioli Editore, pp. 246-257.

Norberg-Schulz, C. (1996). Genius loci. Paesaggio Ambiente Architettura. Milano: Electa

Olgay, V. (2013). Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico. Franco Muzio Editore

Pickles, D. (2010). Energy efficiency and historic buildings. London. English Heritage.

Pinto, M.R. Talamo, C. (2015), "Recupero e manutenzione: la ricerca incontra le esigenze dei territori", in Lucarelli,

Pracchi, V., Lucchi, E. (a cura di). (2013). Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Sala, M. D'Audino, E. (1997). Lessico di tecnologia bioclimatica. Alinea, Firenze

Troi, A., Zeno, B. (2014), Energy efficiency solution for historic buildings. A handbook. Bolzano: BIRKHÄUSER.

Trombetta, C. (2002). L'attualità del pensiero di Hassan Fathy nella cultura tecnologica contemporanea. Il luogo l'ambiente e la qualità dell'architettura. Catanzaro: Rubbettino.

Tucci, F. (2009). Tecnologia e natura. Firenze: Alinea.

Viola, S. (2012), Nuove sfide per le città antiche. Prosperità, innovazione tecnologica e bellezza, Liguori Editore, Napoli

Linee guida Nazionali ed Internazionali per l'efficienza energetica del patrimonio storico

Directorate-General for Research and Innovation (2014), Getting cultural heritage to work for Europe. Report of the Horizon 2020 expert group on cultural heritage, European Commission, available at: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/getting-cultural-heritage-work-europe>

Metadistretto Veneto dei Beni Culturali, Metadistretto Veneto della Bioedilizia. (10 giugno 2010). A.T.T.E.S. Edilizia storica e sostenibilità ambientale. La qualità delle prestazioni energetico - ambientali nella manutenzione dell'architettura storica.

MIBACT. (2015). Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani. [www.beap.beniculturali.it/1445954374955\\_Linee\\_indirizzo\\_miglioramento\\_efficienza](http://www.beap.beniculturali.it/1445954374955_Linee_indirizzo_miglioramento_efficienza).

Historic England. [31 Marzo 2011]. Energy Efficiency and Historic Buildings - Application of Part L of the Building Regulations to historic and traditionally constructed buildings. London

Historic England. (1 luglio 2015). *Planning Responsible Retrofit of Traditional Buildings*. London.

Historic England. (29 Aprile 2016). *Energy Efficiency and Historic Buildings: Insulating solid walls*. London.

Legislazione di riferimento

Carta del Restauro di Atene, 1931.

Carta di Gubbio 1960.

Legge 9 gennaio 1991, n° 10. Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia

D.lgs 42/2004 e S.m.i. Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul Rendimento energetico.

D.lgs.9 agosto 2005, n° 192. Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.

D.lgs. 29 dicembre 2006, n° 311. Disposizioni correttive ed integrative al Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n°192.

Direttiva 2006/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 dicembre 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio.

D.lgs. 30 maggio 2008, n°115. Attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

Decreto Interministeriale 26 giugno 2009. Certificazione degli edifici – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

D.lgs. 3 marzo 2011, n° 28. Attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE..

Legge 3 agosto 2013, n° 90. Conversione in legge, con modificazioni, del decreto – legge 4 giugno 2013, n° 63, recante "Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure di infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale".

D.lgs. 4 luglio 2014, n° 102 Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le diret-

tive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/B/CE e 2006/32/CE. (14G00113) (GU Serie Generale n.165 del 18-7-2014)

DPR 412/93 integrato con DPR 551/99. Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia.

DM 26 giugno 2015. Adeguamento linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

#### SITOGRAFIA

<http://www.buildup.eu/en>

[http://cordis.europa.eu/home\\_it.html](http://cordis.europa.eu/home_it.html)

<http://ec.europa.eu/research/index.cfm>

<http://www.sardegna.beniculturali.it/psg/agrario/muratura1.html>

<http://www.sardegna.beniculturali.it/psg/agrario/muratura2.html>

<http://www.sardegna.beniculturali.it/psg/agrario/cap5.html>

<http://www.sardegna.beniculturali.it/psg/agrario/cap6.html>

<http://jargo.itim.mi.cnr.it/pubblicazioni/Volume3/PP-ALLEGATI/9-3D-QUALITA-MURARIA.pdf>

<http://jargo.itim.mi.cnr.it/pubblicazioni/Volume3/TESTO-DEL-VOLUME/1-COPERTINA.pdf>

<ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Pubblicazioni/Censimenti.htm>

<http://www.regione.molise.it/web/gem/sic.nsf>

[http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/it/FTU\\_5.7.3.pdf](http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/it/FTU_5.7.3.pdf)

[http://www.eurac.edu/it/research/technologies/renewableenergy/publications/Documents/INTENT\\_Flyer\\_IT.pdf](http://www.eurac.edu/it/research/technologies/renewableenergy/publications/Documents/INTENT_Flyer_IT.pdf)

#### Normativa di riferimento

UNI 10351:1994 /EC dicembre 1997. Materiali da costruzione - conduttività termica e permeabilità al vapore. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI 10355:1994. Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.

UNI EN ISO 8990:1999. Isolamento termico - Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario - Metodo della doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia.

UNI 10824-1:2000. Prove non distruttive - Termografia all'infrarosso - Termini e definizioni.

UNI EN 13187:2000. Prestazione termica degli edifici - Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo all'infrarosso.

UNI EN 1934:2000. Prestazione termica degli edifici - Determinazione della resistenza termica per mezzo del metodo della camera calda con termoflussimetro - Muratura.

UNI EN 12670: 2003. Pietre naturali. Terminologia. CEN European Committee for Standardization. Bruxelles.

UNI TS 11300-Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

UNI TS 11300-Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

UNI TS 11300-Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

UNI TS 11300-Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

EN 1745: 2012. Masonry and masonry products – methods for determining thermal properties. CEN European Committee for Standardization. Bruxelles.

ISO 9869-1: 2014. Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.

UNI EN ISO 13788:2013. Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo.

UNI 10351:2015. Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà termoigrometriche - Procedura per la scelta dei valori di progetto. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione. Milano.

UNI 10349-3:2016. Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3. Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici.

UNI 8290: Edilizia residenziale sistema tecnologico – classificazione e terminologia