



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN "TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA"

CICLO XXIII

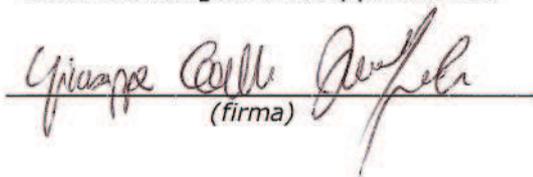
COORDINATORE Prof. Graziano Trippa

Dal componente al sistema: i punti critici di interfaccia
dell'involucro edilizio nei sistemi costruttivi tradizionali.
Evoluzione del quadro normativo e dei componenti
verso la possibilità di certificare il "sistema".

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

Dottorando

Dott. Santangelo Giuseppe Camillo


(firma)

Tutore

Prof. Arch. Conato Fabio


(firma)

Anni 2008/2010

A mia moglie

Un ringraziamento sincero va al prof. arch. Fabio Conato che mi ha proposto questo percorso formativo, seguendomi lungo il tragitto.

Ringrazio poi di cuore due persone con cui lavorare è bello, Simona Cinti e Giulia Archetti, entrambe architetti e dottori di ricerca in Tecnologia dell'architettura, entrambe colleghe impagabili.

Ed in ultimo un grazie a Valentina Modugno, architetto, dottore di ricerca ed amica insostituibile.

Indice*pag. iii***Introduzione**

I. Inquadramento del problema scientifico	<i>pag. vii</i>
II. Delimitazione del campo di indagine	<i>pag. x</i>
III. Obiettivi della ricerca	<i>pag. xiii</i>
IV. Individuazione delle metodologie e delle fasi di lavoro	<i>pag. xiv</i>
V. Destinatari, ricadute ed evoluzione futura	<i>pag. xv</i>

Parte prima – Analisi dello stato dell’arte e individuazione delle criticità**1 – Evoluzione dei sistemi di involucro: nuove istanze e motori dell’innovazione***pag. 9*

1.1 Il ruolo dell’involucro edilizio nello scenario attuale	<i>pag. 9</i>
1.2 I motori che ne hanno indotto l’innovazione	<i>pag. 10</i>
1.2.1 L’accresciuta sensibilità degli utenti verso i temi energetici ed acustici e la nascita di un mercato	<i>pag. 12</i>
1.2.2 La necessità di adeguarsi alle nuove disposizioni normative	<i>pag. 14</i>
1.2.2.1 Energetica	<i>pag. 16</i>
1.2.2.2 Acustica	<i>pag. 23</i>
1.2.2.3 Sismica	<i>pag. 30</i>
1.2.3 La competizione con i produttori di sistemi prefabbricati e preassemblati.	<i>pag. 41</i>

2 – L'evoluzione dei componenti: problemi e criticità	<i>pag. 49</i>
2.1 Componenti opachi e trasparenti	<i>pag. 49</i>
2.2 Individuazione delle "questioni irrisolte" nelle soluzioni attuali	<i>pag. 56</i>
2.2.1 Criticità costruttive, economiche e normative	<i>pag. 58</i>
2.2.2 Nuovi prodotti, nuove metodologie, ritrovate fortune e declino di alcuni componenti o materiali.	<i>pag. 61</i>
2.3 Definire e colmare i vuoti applicativi: metodologia di indagine	<i>pag. 63</i>

Parte seconda – Componenti per l'involucro

3 – Individuazione dei parametri per la valutazione delle prestazioni in funzione della caratteristiche dei componenti di involucro.	<i>pag. 69</i>
3.1 Parametri termici	<i>pag. 76</i>
<i>Trasmittanza effettiva</i>	<i>pag. 77</i>
<i>Trasmittanza periodica</i>	<i>pag. 80</i>
<i>Massa e capacità termica</i>	<i>pag. 82</i>
<i>Effetto serra</i>	<i>pag. 84</i>
3.2 Parametri acustici	<i>pag. 87</i>
<i>Isolamento acustico</i>	<i>pag. 87</i>
<i>Assorbimento acustico</i>	<i>pag. 90</i>
3.3 Parametri sismici	<i>pag. 95</i>
<i>Sicurezza</i>	<i>pag. 97</i>
<i>Resistenza</i>	<i>pag. 101</i>
<i>Efficienza</i>	<i>pag. 103</i>
<i>Durabilità'</i>	<i>pag. 104</i>

4 – Classificazione dei componenti e loro valutazione secondo i parametri individuati	<i>pag. 107</i>
4.1 Componenti opachi pesanti	<i>pag. 112</i>
4.1.1 Componenti opachi pesanti inraisolati	<i>pag. 113</i>
4.1.2 Componenti opachi pesanti a strati preassemblati	<i>pag. 125</i>
4.2 Componenti opachi leggeri	<i>pag. 135</i>
4.2.1 Componenti opachi leggeri inraisolati	<i>pag. 136</i>
4.2.2 Componenti opachi leggeri basso emissivi	<i>pag. 141</i>
4.3 Componenti trasparenti	<i>pag. 147</i>
4.3.1 Componenti trasparenti inraisolati	<i>pag. 150</i>
4.3.2 Componenti trasparenti preassemblati	<i>pag. 163</i>
4.3.3 Componenti trasparenti basso emissivi	<i>pag. 172</i>
4.4 Materiali isolanti	<i>pag. 180</i>

Parte terza – Le criticità d’interfaccia

5 - Le questioni nodali: dalla normativa alle problematiche irrisolte	<i>pag. 199</i>
5.1 Nodi critici tradizionali	<i>pag. 203</i>
5.1.1 Chiusura verticale Solaio	<i>pag. 205</i>
5.1.2 Chiusura verticale Struttura in elevazione	<i>pag. 209</i>
5.1.3 Chiusura verticale Copertura	<i>pag. 213</i>

5.2 Dal componente al sistema: nuove questioni nodali	<i>pag. 217</i>
5.2.1 Parete perimetrale verticale Infisso	<i>pag. 223</i>
5.2.2 Parete perimetrale verticale Balcone o loggia	<i>pag. 227</i>
5.2.3 Chiusura orizzontale superiore su spazi aperti	<i>pag. 232</i>
5.2.4 Chiusura orizzontale inferiore	<i>pag. 238</i>
6 – Approfondimento tematico, il nodo parete - infisso - terrazza	<i>pag. 245</i>
6.1 Definizione dei punti critici	<i>pag. 247</i>
6.2 Abaco ragionato di soluzioni tecniche	<i>pag. 258</i>
6.3 I componenti da utilizzare	<i>pag. 272</i>
6.4 Gli attuali "vuoti" nel processo edilizio e le prestazioni ottenibili	<i>pag. 297</i>
7 – Conclusioni e linee di futuri sviluppi	<i>pag. 301</i>
7.1 Verifica tra obiettivi e risultati raggiunti	<i>pag. 302</i>
7.2 Potenzialità del sistema costruttivo tradizionale oggi	<i>pag. 303</i>
7.3 Possibili scenari di sviluppo	<i>pag. 305</i>
Bibliografia	<i>pag. 309</i>
Fonti delle illustrazioni	<i>pag. 317</i>

Introduzione

I. Inquadramento del problema scientifico

Il quadro normativo che affronta la *cultura del costruire*¹ oggi si presenta complesso ed in continua evoluzione. Prendendo in considerazione quattro aspetti divenuti ormai imprescindibili - energetico, acustico, sismico, economico - si può osservare quanto sia necessario che anche le tecniche costruttive trovino adeguato sviluppo. Innanzitutto vi è una sempre più spiccata sensibilità verso i consumi energetici degli edifici e, di conseguenza, alle emissioni in atmosfera, attenzione che ha condotto, dalla ratifica del Protocollo di Kyoto del 1997, a promulgare Direttive Comunitarie² che l'Italia mano a mano negli anni ha recepito³, talvolta con delle Delibere Regionali ancora più specifiche e restrittive⁴.

D'altro canto l'evoluzione delle tecniche esecutive ha evidenziato sempre più la necessità di accrescere di pari passo le prestazioni acustiche dell'involucro, come testimonia la norma UNI 11367:2010⁵, ultima ad essere promulgata dopo il D.P.C.M. del 05/12/1997, attuativo della Direttiva Europea 2002/49/CE sul miglioramento delle condizioni di comfort acustico all'interno degli edifici (che vide l'introduzione della classificazione acustica degli ambienti abitativi e degli elementi costruttivi che li compongono) ed i Decreti Legislativi del 19 agosto 2005 n. 194 e n. 88 del 7 luglio 2009, definenti disposizioni in materia di classificazione dei requisiti acustici degli edifici.

¹ Nardi G., Campioli A., Mangiarotti A., *op. cit.*

² Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici che verrà sostituita dal 1° febbraio 2012 dalla Direttiva 2010/31/CE sulle prestazioni energetiche degli edifici.

³ D. Lgs 192/05 e poi D. Lsg. 311/06, fino al D.P.R. 6 marzo 2009 sul D. Lgs 192 del 2005 per il rendimento energetico degli edifici.

⁴ Si veda ad esempio la delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 156/2008, con specifiche e restrittive indicazioni applicative.

⁵ Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera.

Come purtroppo accade spesso, alla luce dei noti fatti accaduti a San Giuliano di Puglia – Comune sito in provincia di Campobasso colpito dal terremoto del 31 ottobre 2002, provocando provocò la morte di 27 bambini e un'insegnante nel crollo della scuola "Francesco Jovine" - e della città dell'Aquila - colpita dal sisma del 6 aprile 2009 - anche la normativa sismica è stata rivista ed approfondita, portando l'attenzione su sicurezza, stabilità e durabilità sia dei materiali che delle connessioni tra essi, focalizzando l'intervento sugli edifici esistenti e nel campo del recupero del patrimonio esistente.

Tutto ciò ha imposto e continua ad imporre una continua informazione, ricerca e formazione, da parte sia dei produttori che degli stessi costruttori, oggi più che mai attenti - anche per i risvolti economici - a realizzare manufatti altamente performanti e che siano sempre in grado di rispondere alle normative di riferimento, superandone talvolta in termini di prestazioni i limiti imposti. Ciò ha quindi necessariamente comportato una maggiore attenzione all'evoluzione del mercato del costruito ed al connesso aspetto economico, sia per quanto concerne la realizzazione, che la manutenzione e la gestione dell'edificio da parte dell'utente finale, che oggi è informato, interessato e pronto ad investire maggiormente su prodotti che mostrino, nel futuro non necessariamente prossimo, peculiarità di semplicità gestionali e quindi economiche all'interno dell'intero ciclo di vita del manufatto. Uno degli aspetti più interessanti dell'architettura contemporanea consiste nell'analisi delle soluzioni tecniche adottate per la realizzazione degli elementi che vanno a costituire il sistema tecnologico ed i meccanismi di connessione. La stretta relazione esistente tra il mondo accademico e quello del costruire e dell'industria⁶ ha incentivato l'innovazione tecnica sia a livello di prodotto

⁶ In questo caso si può parlare di trasferimento tecnologico, definito come "l'insieme delle attività finalizzate a valutare, proteggere e commercializzare tecnologie sviluppate nell'ambito dei progetti di ricerca condotti dalle Università e dai Centri di Ricerca. Il processo di trasferimento tecnologico, più nel dettaglio, include l'identificazione di nuove tecnologie e a loro applicazione industriale, la protezione delle nuove tecnologie attraverso il deposito di brevetti, modelli, disegni, marchi e copyrights, la definizione e l'implementazione di una strategia efficace di marketing, ed il trasferimento della tecnologia tramite ed la cessione dei diritti di sfruttamento dei trovati ad aziende esistenti o la creazione di nuove imprese basate sulla stessa", in Luberto G., Mazzei A., Palermo V., Ricciardi A (a cura di), Trasferimento tecnologico e innovazione finanziarie, Franco Angeli, 1995, Milano.

che di processo: la possibilità di impiegare materiali messi a punto nell'ambito di altri settori, come quello navale o aerospaziale, o in settori marcatamente scientifici, come quello della Fisica e della Chimica, ha favorito l'innovazione delle tecniche costruttive trasformando i meccanismi di connessione delle diverse parti del sistema tecnologico. Il livello di complessità raggiunto dai nodi edilizi - intesi come luoghi di connessione di elementi tecnici diversificati -, soprattutto negli ultimi anni è imputabile quindi non soltanto alla convergenza nello stesso nodo dei vari elementi e dei materiali di cui i singoli strati funzionali sono costituiti, ma anche, e soprattutto, all'impiego di sofisticati sistemi di assemblaggio. Questi ultimi vengono messi a punto, in molti casi, sulla base delle sperimentazioni condotte nell'ambito della progettazione e realizzazione di edifici innovativi, in cui assumono quindi il valore di "prototipi", cui si rivolge l'attenzione delle ditte produttrici, al fine di mettere in atto tutte quelle procedure di standardizzazione in grado di consentirne la commercializzazione su più vasta scala. Oggi, molto più di ieri, progettisti e ditte produttrici di componenti edilizi sono chiamati a collaborare già durante la fase di ideazione dell'edificio e delle sue parti, per la definizione di soluzioni innovative in grado di rispondere adeguatamente alle specifiche esigenze di progetto: da qui la particolare attenzione rivolta alla progettazione del dettaglio costruttivo. Al fine di raggiungere livelli di prestazione sempre più elevati il sistema tecnologico di un edificio può essere messo a punto attraverso l'assemblaggio - secondo modalità predefinite - di prodotti già esistenti in commercio, impiegati in accordo con le esigenze di progetto, oppure attraverso la definizione di nuovi sistemi di connessione, che spesso conseguono all'impiego di prodotti edilizi innovativi. Risulta quindi utile approfondire tale conoscenza tecnologica, per favorire l'applicabilità anche a larga scala di sistemi di connessione che spesso, da punti di criticità, possono divenire occasione di approfondimento e di sperimentazione oltre che veri e propri motori dell'innovazione.

II. Delimitazione del campo di indagine

La presente ricerca vuole indagare nello specifico il costruire in maniera tradizionale nella contemporaneità - inteso come patrimonio di conoscenze consolidato afferente all'uso delle tecnologie a umido - passando dal singolo materiale o componente, per giungere all'intero edificio o all'insieme di sistemi che vengono connessi tra loro. Questo aspetto porta con sé una serie di problematiche correlate tra loro che il singolo progettista si trova quotidianamente ad affrontare.

Diventa condizione indispensabile per chiarire i presupposti da cui parte la ricerca il distinguere tra sistemi costruttivi tradizionali, quindi ad umido con piccoli elementi, e quelli preassemblati, che per loro natura - ed a volte grazie allo sviluppo già consolidato in territori particolarmente sensibili -, vivono oggi una situazione di mercato molto favorevole, anticipando i tempi dettati dal mercato delle costruzioni oltre che i livelli prestazionali in rapporto ai sistemi tradizionali.

Il campo d'indagine stringe dunque l'attenzione sull'involucro edilizio verticale nei sistemi costruttivi tradizionali, evidenziando come quelli a secco abbiano ormai percorso la strada della quasi completa evoluzione del sistema, proponendo già soluzioni che le ditte produttrici sono in grado di eseguire autonomamente fino al momento della posa in opera.

Ulteriore delimitazione morfologica consiste nell'analisi dell'involucro quale frontiera tra ambiente esterno ed interno, luogo di confine e di accentrimento di criticità, focalizzando l'attenzione sulle questioni nodali che emergono nella progettazione e realizzazione dell'involucro.

Uno dei primi che trattò di involucro in architettura, intendendo "tutto ciò che delimita e separa lo spazio interno degli edifici dall'ambiente esterno", fu negli anni tra il '70 e l'80 l'architetto Lorenzo Matteoli. Egli conosceva molto bene l'inglese e, lavorando intensamente nella ricerca universitaria per l'innovazione tecnologica e per la qualificazione del settore produttivo dei serramenti, volle designare con questo nome il *building envelope* che veniva studiato negli Stati Uniti, in Inghilterra e nell'*International Council of Building*. Da allora la nozione di involucro si è diffusa ed ha avuto molto successo per diverse ragioni. Anzitutto, accomuna in un unico grande sottosistema le parti di chiusura dell'edificio che svolgono il compito di

separare l'ambiente interno da quello esterno, in direzioni diverse: la facciata in direzione verticale, la copertura ed il solaio contro terra in direzione orizzontale.

Inoltre, si presta assai bene a comprendere le molte varianti che negli ultimi anni si sono succedute nello sviluppo delle tecnologie della costruzione: le soluzioni a facciata ventilata, soluzioni con *vêtures*, soluzioni a doppia pelle ecc., tutte accomunabili facilmente sotto il termine e il concetto di involucro, così come tutti i tipi di copertura o di attacco al suolo che sono oggi possibili, in questo momento di eclettismo tecnologico. Infine, da quando, negli ultimi dieci anni, si è sviluppata nei progettisti e in tutti gli operatori del processo edilizio una coscienza particolarmente attenta ai problemi della sostenibilità ambientale e del contenimento dei consumi energetici, ci si è accorti della responsabilità che il sistema di chiusura dell'edificio ha nella soluzione di tali problemi.

La ricerca vuole però delimitare il campo d'indagine proprio escludendo tutti questi sistemi, ampiamente discussi ed indagati, ragionando sui sistemi tradizionali con stratificazione contigua.

A tal proposito, un aspetto importante risiede nella terminologia che si adotterà nella ricerca, che aiuta nella delimitazione del campo di indagine:

_strato, inteso come superficie continua costituita da un unico materiale, come ad esempio una muratura a piccoli elementi in laterizio, o un pannello isolante, o la stesura di un intonaco;

_pelle, ovvero l'applicazione di più strati contigui a formare una entità fisicamente autonoma, come può essere la combinazione di una muratura a piccoli elementi in laterizio con gli strati di intonaco interno ed esterno;

_involucro, inteso come soluzione finita di chiusura che può essere costituita da una o più pelli, di cui una di base ed una opzionale che, insieme, possono arricchire le prestazioni che l'involucro, così concepito, fornisce.

La ricerca, in questa sede, si concentra sulla componentistica relativa alla costruzione della pelle di base dell'involucro, che può essere composta da uno o più strati realizzati tramite la messa in opera a umido di piccoli elementi.

In alcuni casi limite l'involucro può essere costituito anche da un singolo strato, come ad esempio nelle tradizionali murature monostrato a faccia vista, che in

questa sede non verranno però prese in esame in quanto lontane dal fornire risposte coerenti con le richieste normative che negli anni si sono susseguite.

Si è individuata la necessità di colmare un vuoto conoscitivo rispetto a quelle imprese che continuano a costruire secondo tecnologie tradizionali, ovvero per sommatoria di componenti, senza prendere in considerazione che tale assemblaggio - anche di componenti altamente performanti - non necessariamente si mostra in grado di dar luogo ad un sistema che lo sia in maniera altrettanto efficace; ma soprattutto, se il singolo elemento è certificato, non è detto che il sistema possa esserlo. A tal proposito, si vuole qui chiarire cosa si intende per *certificazione*: in questa sede, ferme restando le norme ed i protocolli di certificazione esistenti, si vuole fare riferimento ad un processo in grado di offrire la possibilità di avere dei dati per cui la certificazione scritta diventi legata alla realtà dei fatti. Osservando, infatti, il panorama delle costruzioni, non appare chiara la possibilità di garantire la veridicità dei calcoli effettuati, finché poi non si passa all'applicazione concreta e sperimentale dei componenti fino alla risoluzione corretta dei nodi. Le prestazioni sono dunque fortemente condizionate dall'assenza di un protocollo da seguire perché i componenti vadano a formare il sistema costruttivo. Anche tenendo conto dei parametri di calcolo normati, essi fanno riferimento all'involucro opaco, poi agli infissi ed infine ai ponti termici: le questioni nodali non vengono però affrontate in maniera tale da essere certificate nella loro fase di applicazione.

Il controllo nelle tecnologie non tradizionali e preassemblate è quasi totale. Nel sistema costruttivo tradizionale, invece, si assiste ad uno sfasamento tra i livelli prestazionali dichiarati e quelli effettivamente raggiungibili, perché mancano protocolli procedurali che diano la certezza che chi interviene non stia realizzando solo una sommatoria di componenti, bensì stia affrontando la questione nodale con ipotesi risolutive di messa a sistema.

Una ulteriore delimitazione concerne l'inquadramento geografico della ricerca. Le zone climatiche di riferimento per la ricerca sono quelle assimilabili ad una

comportamento climatico continentale⁷, ovvero con estati molto calde ed inverni freddi, rigidi. Inoltre si fa riferimento a zone che presentino un suolo mediamente sismico, essendo emersa negli ultimi anni una grave situazione relativa al patrimonio edilizio esistente, cosa che ha acceso i riflettori anche, e soprattutto, in merito alle indicazioni normative per le nuove edificazioni.

Gli ambiti territoriali in cui la ricerca trova applicazione sono quelli densamente urbanizzati ed abitati, a cui corrispondono relative problematiche acustiche. Il dato relativo alla tipologia edilizia ed alla destinazione d'uso è invece quasi trascurabile, poiché la ricerca vuole essere soprattutto uno studio di dettaglio, risolto ad una scala minore. La ricerca vuole dunque analizzare in che modo i componenti, tanto tradizionali quanto evoluti, possano essere utilizzati al meglio nel sistema costruttivo tradizionale, puntando ad ipotizzare soluzioni per i nodi osservati sia da punto di vista termico, che acustico e sismico.

III. Obiettivi della ricerca

La ricerca si pone l'obiettivo principale di indagare il sistema costruttivo tradizionale per la realizzazione di pelli di base per gli involucri, mettendo in luce anche quei nuovi materiali che possono essere applicati all'interno del sistema costruttivo tradizionale, valutandone e sottolineandone le potenzialità.

Un secondo obiettivo è la messa a punto di un sistema di valutazione delle prestazioni dei singoli componenti attraverso la loro lettura in riferimento a dei parametri prestazionali; questo vuole condurre ad avere strumenti facilmente applicabili per garantire che la sommatoria dei componenti utilizzati si comporti come un sistema: le certificazioni - come si diceva - ottenute per sommatoria devono e possono essere verificate all'interno del "sistema".

⁷ Dal dizionario fondamentale della lingua italiana, Novara, Istituto Geografico De Agostini, 1994: "Predomina all'interno dei grandi continenti nelle zone temperate soprattutto dell'emisfero boreale; è caratterizzato da temperature molto fredde e molto calde, con punte massime e minime dopo i solstizi d'inverno e d'estate".

Per raggiungere tali obiettivi si procede alla realizzazione di un repertorio ragionato di materiali, componenti e sistemi costruttivi tradizionali per la realizzazione delle pelli di base degli involucri edilizi.

Infine, un obiettivo importante che si vuole perseguire è legato poi alla scala di dettaglio: si vogliono individuare e definire alcune "questioni nodali", ovvero problematiche aperte in ambito normativo, tecnico e gestionale relative alle interfaccia tra i componenti del sistema tecnologico di chiusura; successivamente si sono studiate le proposte di soluzione, ponendo in luce i punti di discontinuità relativi ai sistemi costruttivi tradizionali ad umido per poter superare l'attuale vuoto applicativo e passare da sommatoria di componenti a sistema.

Tutto questo lo si ottiene attraverso la messa a punto di un metodo di analisi e quindi di approccio alla problematicità, trasferibile ed applicabile a tutti i punti critici di interfaccia rilevati: tali obiettivi verranno dunque verificati attraverso lo studio di una questione nodale specifica indagata secondo la metodologia proposta.

IV. Individuazione delle metodologie e delle fasi di lavoro

Una prima ricognizione essenziale alla ricerca è relativa allo stato dell'arte, partendo dall'evoluzione dei sistemi di involucro nello scenario attuale, fino a individuare alcuni dei principali motori che ne hanno indotto l'innovazione.

In parallelo lo studio si concentra sulla necessità di adeguarsi alle nuove disposizioni normative sia in materia energetica, che acustica e sismica, mettendo a sistema questi tre ambiti, tutti ampiamente coinvolti nella definizione corretta di un involucro edilizio, soprattutto quando realizzato coi sistemi costruttivi tradizionali, in competizione con i produttori di sistemi prefabbricati e preassemblati.

Una fase successiva giunge all'individuazione delle criticità costruttive, economiche e normative, lette anche attraverso nuovi prodotti e nuove metodologie. La seconda parte della ricerca segna un focus tematico sui componenti e sui parametri

individuati per poterne valutare il comportamento prestazionale; viene dunque proposta una classificazione dei componenti ed una loro successiva valutazione secondo i parametri individuati.

La terza parte della trattazione si concentra sulla definizione delle criticità di interfaccia, andando a definire nel dettaglio le questioni nodali frutto dell'evoluzione normativa e le problematiche irrisolte ad esse correlate.

Si sviluppa la trattazione dividendo tali questioni in "nodi critici tradizionali", ovvero già oggetto di analisi e di studio tecnologico, e "nuove questioni nodali", ovvero quelle problematiche contemporanee che però possono condurre al passaggio tecnologico e costruttivo dal componente al sistema.

La verifica metodologica è un approfondimento tematico sul nodo parete-infisso-terrazza tramite quattro fasi distinte: la definizione dei punti critici, la proposta di un abaco ragionato di soluzioni tecniche, un riferimento all'applicazione di nuovi componenti con prestazioni migliorate, fino alla definizione delle prestazioni realmente ottenibili, necessarie a colmare gli attuali "vuoti" nel processo edilizio⁸.

V. Destinatari, ricadute ed evoluzione futura

La ricerca è tutta incentrata sulla riscoperta e valorizzazione del sistema costruttivo tradizionale, ponendosi l'obiettivo di definire e colmare un salto conoscitivo rispetto principalmente in relazione a quella tipologia di imprese che continuano la loro attività costruttiva secondo tecnologie tradizionali, ovvero, spesso, per sommatoria di componenti.

La ricerca si rivolge dunque a grandi, medie e piccole imprese che mettendo in campo il sistema costruttivo tradizionale come sommatoria di elementi tra loro giustapposti non si occupano del "sistema" nel complesso; questo può avvenire o per carenza di competenze o perché si rivolgono ad un mercato in cui è

⁸ La norma UNI 7867 definisce il processo edilizio come "Sequenza organizzata di fasi operative che portano dal rilevamento di esigenze al loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia", ed individua gli operatori del processo edilizio: Committente, Progettista, Impresa, Produttore, Utente.

preponderante una certa routine consolidata nella prassi costruttiva piuttosto che lo stimolo verso la ricerca e l'innovazione. Si è rilevato un dato relativo alle dimensioni aziendali: alcune piccole aziende di nicchia si sono mosse per fare ricerca applicata, mentre le grandi imprese sono quelle meno pronte a gestire in maniera efficace e controllata tutti i dettagli del processo.

Considerati i più recenti aggiornamenti della normativa, la ricerca vuole anche individuare un metodo che possa essere replicato ogni qualvolta si presenti una criticità nodale progettuale da risolvere; nella formulazione e verifica del metodo applicativo la ricerca si limita ad analizzare poi nello specifico un solo nodo critico: l'evoluzione della ricerca si pone l'obiettivo ulteriore di proseguire l'analisi, definizione e proposta di soluzione anche per altri punti nodali critici nella progettazione di un involucro edilizio, ipotizzando di giungere anche alla definizione di brevetti di soluzioni per la corretta interfaccia di diversi componenti.

Ecco perché un importante interlocutore di tale percorso di ricerca è certamente l'ambito accademico, all'interno del quale la ricerca potrà proseguire, mettendosi a confronto con lo scenario dei risultati e dei percorsi in atto della ricerca accademica nazionale.

Parte prima

Analisi dello stato dell'arte e individuazione delle criticità

L'uomo ha da sempre investito di grande interesse l'involucro degli edifici, riversando su esso sia ricerca che sperimentazione; ciò ha condotto a trasformare l'involucro da semplice elemento di barriera protettiva dell'ambiente esterno rispetto all'interno, a complesso sistema di "filtro" in grado di far interagire le esigenze di chi occupa gli ambienti interni con quello che nell'intorno si sviluppa.

Ed in tale maniera, da più parti, si affronta tale tematica, giungendo all'elaborazione di sistemi complessi di involucro, spesso posti in connessione con il sistema impiantistico con cui si pongono in situazione di dialogo per interagire ai fini del miglioramento delle condizioni di comfort.

La maggior parte delle costruzioni viene tutt'oggi edificata con i sistemi tradizionali ad umido, sebbene venga spesso tralasciato un problema costruttivo.

I singoli componenti, sia per la porzione opaca che per quella trasparente, si sono evoluti ed ancora evolvono, prendendo spunto da materiali innovativi presi in prestito anche da settori disciplinari differenti, mentre i sistemi prefabbricati avanzano nella sperimentazione.

Il rischio sta nei punti di interfaccia tra i componenti, siano essi più legati alla tradizione, che innovativi ed altamente performanti.

Già Edward Allen¹ scriveva che "per comprendere come funziona un edificio, possiamo sezionarlo e studiare le varie fondamentali funzioni. Ma poche funzioni di un edificio si realizzano isolatamente dalle altre, poiché quasi ogni componente di un edificio risponde a più di una funzione; alcune componenti comunemente hanno a che fare contemporaneamente con dieci o più funzioni e si tratta di funzioni fortemente interdipendenti. Se decideremo di costruire i divisori di un edificio scolastico con pannelli di gesso su montanti d'acciaio e non con laterizi interesseremo le caratteristiche termiche dell'edificio, la sua acustica, la qualità e la quantità di luce nelle aule, il tipo d'installazione dei cavi e dei tubi, l'impiego della superficie delle pareti, il peso statico che la struttura dell'edificio dovrà sopportare, la resistenza al fuoco dell'edificio, quali aziende lo costruiranno e come la manutenzione sarà fatta. Alcune funzioni saranno migliorate ed altre saranno pregiudicate. [...] Un progettista non può attendersi di modificare il modo in cui una

¹ Op. cit., pag. 31

funzione viene adempiuta senza condizionare le altre. [...] (ponendosi parecchie domande sulla connessione tra le cose: quali sono tutte le ripercussioni funzionali di un edificio molto solido? [...] di un edificio assolato? di un edificio costruito completamente con materiali porosi? di un edificio in una località ventosa? quali sono tutti i modi in cui possiamo riscaldare un edificio, raffreddare un edificio, illuminare un edificio? Gli interrogativi verranno naturalmente alla mente in risposta a temi che si ripresenteranno più volte sotto diverse voci indicanti funzioni, e le risposte, via via che si accumuleranno, cominceranno a rivelare i più ampi modelli funzionali che sottostanno ad ogni edificio."

Questa tesi di ricerca si pone proprio l'obiettivo di individuare quei vuoti applicativi che rischiano di mettere in crisi la prestazione globale dell'involucro edilizio verticale; una prima azione è relativa alla delimitazione del campo d'indagine a quegli involucri realizzati con il sistema costruttivo tradizionale ad umido negli agglomerati densamente urbanizzati delle zone climatiche continentali caratterizzate da un suolo mediamente sismico. Nello specifico, la prima parte della trattazione definisce uno stato dell'arte sia normativo che della produzione, onde delineare in maniera approfondita lo scenario entro cui la ricerca si colloca.

1 – *Evoluzione dei sistemi di involucro: nuove istanze e motori dell'innovazione*

1.1 Il ruolo dell'involucro edilizio nello scenario attuale

Il termine "involucro edilizio", il cui significato è abbastanza recente², ha sostituito il termine "chiusura", utilizzato nella scomposizione del sistema tecnologico nella UNI 8290, a sottolineare il concetto di globalità delle parti che definiscono un ambiente interno (caratterizzato da condizioni "climatico/ambientali" stabili) rispetto ad un ambiente esterno (variabile per natura).

Il concetto di involucro come componente tecnologico, capace di mediare i flussi di energia provenienti dall'esterno verso l'interno dell'edificio, nasce con l'archetipo stesso del modello architettonico. Nel momento storico in cui l'uomo decide di costruirsi un riparo artificiale dagli agenti climatici ambientali, cerca di proporre soluzioni costruttive capaci di migliorare le condizioni dello spazio confinato destinato all'abitare.

L'involucro architettonico si è lentamente evoluto da elemento barriera prevalentemente protettivo in complesso sistema-filtro selettivo e polivalente, in grado da una parte di ottimizzare le interazioni tra ambiente interno e macro-ambiente esterno (e viceversa) al mutare delle diverse condizioni climatico-ambientali nel corso della giornata, nel corso dell'anno, finanche nel corso della vita dell'organismo edilizio e/o dell'uomo che lo abita; dall'altro lato di rispondere sempre più spesso in senso "intelligente" agli stessi mutamenti psicologici, sociologici e culturali del modo di vivere i rapporti con tali fattori micro e macro ambientali da parte dei fruitori dell'architettura "involucrata".

² L'involucro edilizio è stato definito tale, come esplicitato nell'introduzione, negli anni tra il '70 e l'80 dall'architetto Lorenzo Matteoli.

Forma e funzione dell'involucro hanno registrato nel tempo un'evoluzione sostanziale sia nell'uso dei materiali (si è passati da involucri prevalentemente massivi, realizzati in materiale lapideo a involucri sempre più "leggeri, realizzati con superfici trasparenti) sia nelle prestazioni dei suoi componenti. Dal concetto di involucro come elemento energeticamente passivo, di separazione tra ambiente interno e esterno, si passa al concetto di involucro come elemento dinamico e interattivo del complesso sistema energetico che regola il funzionamento dell'edificio e ne caratterizza l'immagine.

Come indicato da Thomas Herzog "il concetto di parete esterna definisce nelle sue parti essenziali tanto la posizione, cioè l'esterno, quanto il carattere di questo sottosistema edilizio, quello della parete. Tuttavia [...] fino al XX secolo le pareti sono per grandissima parte non solo una delimitazione dello spazio, ma anche una componente essenziale della struttura portante. [...] Perciò al concetto di parete, e talvolta anche a quello di parete esterna, viene associato quello di stabilità, di robustezza, spesso di pesantezza, o addirittura quello di chiusura, di separazione privata e pubblica e, in questo senso, di definizione primaria dell'identità dell'edificio nei confronti del mondo esterno." ³

Oggi le prestazioni richieste all'involucro edilizio riguardano sempre più le esigenze legate al controllo dei parametri di comfort interno: protezione dal freddo e dal caldo, isolamento acustico, disponibilità di luce e ventilazione naturali, risparmio di energia; senza tralasciare però una corretta risposta alle azioni sismiche.

1.2 I motori che ne hanno indotto l'innovazione

L'innovazione produce radicali, profonde ed estese trasformazioni non solo nel modo di lavorare, nei valori, negli stili di vita e nelle aspirazioni, ma anche nei singoli momenti della nostra vita quotidiana.

³ T. HERZOG et al., *Atlante delle facciate*, Torino 2005, pag. 9.

Ai cambiamenti, alle trasformazioni, deve sempre corrispondere una "cultura" dell'innovazione estesa e partecipata. Il motore dell'innovazione è una società attiva nei singoli e nelle strutture, con atteggiamenti mentali positivi, capaci di sfruttare potenzialità, di valorizzare le risorse esistenti, di attrarre e attivare risorse, capitali, anche umani, di promuovere scelte, valori, corresponsabilità positive, collaborazioni, lontane da depressioni e insicurezze oggi purtroppo abbastanza diffuse e non sempre motivate. Non vanno però tralasciati tutti gli aspetti normativi che giorno dopo giorno obbligano il mondo delle costruzioni a spingere sempre più avanti il limite dell'innovazione per dare risposte adeguate alle richieste di contenimento dei consumi energetici, di abbattimento dei rumori, di stabilità statica per rispondere al rischio sismico.

Si tratta di produrre cambiamenti ulteriori e non solo subirli, di valorizzare il capitale umano, di prevedere percorsi di apprendimento permanente, di favorire la partecipazione e la divulgazione, di promuovere e aiutare nuove iniziative e imprese, punti di eccellenza tecnologica in settori specifici, strategici. Ciò significa anche far crescere la competitività, ulteriore benessere da distribuire, moltiplicare le opportunità di reddito, provocare fiducia nel futuro.

Occorre una grande apertura nei confronti delle strategie di innovazione, che fanno parte delle strategie di sviluppo sostenibile, propulsione di impiego e di cambiamenti.

Il fattore che forse più di ogni altro ha contribuito a una sostanziale modifica delle prestazioni e delle caratteristiche costruttive dell'involucro è stato il passaggio da edifici realizzati con cortine murarie portanti a strutture costruite con telai in calcestruzzo ed elementi di tamponamento; ciò, come già evidenziato, ha indotto gli addetti ai lavori a interrogarsi sull'esito delle trasformazioni in atto nel mercato dei componenti, tradizionali e più o meno evoluti, per l'involucro edilizio, innescando anche ragionamenti relativi a modifiche tipologiche e funzionali.

L'aspetto più interessante permane comunque quello tecnologico: componendo l'involucro non si opera solo un accostamento di elementi - anche differenti tra loro - che vengono a comporre una struttura il cui comportamento possa essere assimilato a quello monolitico; piuttosto si assiste alla realizzazione di elementi di

tipo "puntuale", di tamponamento, separando ciò che è portante da ciò che è portato.

Oltre però alle inevitabili ripercussioni sulla statica degli edifici (si veda a tal proposito l'approfondimento normativo sui temi della sismica), la chiusura assurge, nel suo complesso, anche a funzioni di controllo termico-igrometrico ed acustico; il sistema a telaio tende a separare l'attribuzione di funzioni specifiche, delegando ai differenti materiali compiti diversi, specializzandone le prestazioni.

Questo però mette in luce due grandissime criticità: la prima è energetica, legata ai consumi dell'edificio, che sulle prestazioni dell'involucro basa principalmente il suo fabbisogno, portando perciò – con involucri non altamente performanti – a garantire gli stelli livelli prestazionali solo attraverso l'integrazione col sistema impiantistico; la seconda è di tipo costruttivo, legata cioè alla posa in opera di tali componenti, seppur altamente performanti: come funziona l'accostamento di tali elementi costruttivi? Come si riesce a garantire, all'interno del sistema costruttivo tradizionale, l'elevato standard di prestazione che la normativa – ed il sempre più accorto acquirente – richiede all'edificio, e, nello specifico del tema, all'involucro edilizio inteso come sistema?

1.2.1 L'accresciuta sensibilità degli utenti verso i temi energetici ed acustici e la nascita di un mercato

Le trasformazioni in atto nella società, incidono in modo determinante sugli orientamenti del mercato e coinvolgono significativamente le imprese che vi operano. Esse sono sempre riconducibili all'interno di un orizzonte che può comprendere più o meno innovazione, intesa come capacità di creare nuove tecnologie e attività di ricerca, diverse forme di organizzazione e gestionali. Oggi purtroppo, in alcuni ambiti operativi, si assiste ad una perdita di competitività che significa anche "fatica" all'innovazione. Progettare il futuro significa invece misurare, in continuo, quale è l'indice di innovazione del proprio settore, del proprio territorio e incrementarlo, specie attraverso la produzione di conoscenze

scientifiche e tecnologiche, la messa a disposizione di un adeguato patrimonio di risorse, di idee per l'innovazione.

L'evoluzione del panorama normativo degli ultimi anni sta consentendo di diffondere una comune sensibilità relativa all'ottimizzazione dell'efficienza energetica degli edifici.

L'introduzione del Decreto Legislativo 192/2005, successivamente corretto dal Decreto Legislativo 311/06 ha indotto tutti gli operatori del settore a considerare la riduzione del fabbisogno energetico una delle priorità da perseguire durante la realizzazione di un fabbricato.

Tuttavia è necessario spingersi oltre: limitarsi al puro soddisfacimento dei limiti cogenti imposti dalla normativa in materia di risparmio energetico può essere riduttivo, soprattutto alla luce delle potenzialità che offrono oggi la tecnologia e l'esperienza nel settore.

Gli esempi di edifici passivi o a basso fabbisogno energetico diffusi da decenni devono stimolare gli operatori del settore dell'edilizia in Italia a non accontentarsi dei risultati sino ad ora ottenuti; le condizioni climatiche italiane, infatti, consentono di raggiungere livelli di efficienza energetica ben superiori a quelli di quasi tutto il resto del Continente, mantenendo gli extra-costi rispetto all'edilizia "tradizionale" entro limiti accettabili.

Va però sottolineato un interesse nuovo che la committenza o in generale l'utenza ha sviluppato nell'ultimo decennio: oggi chi compra casa ha una spiccata sensibilità verso il contenimento del consumo energetico, verso una nuova accezione di benessere, verso ciò che spesso veniva trascurato, in particolar modo la gestione e la manutenzione delle proprie abitazioni. Queste appena messe in luce sono tematiche che hanno necessariamente svolto un compito di motore dell'innovazione, portando chi si occupa del mondo delle costruzioni ad adeguare le proprie competenze e le prestazioni dei manufatti che si costruiscono.

L'innovazione si è concentrata inizialmente - anche grazie ad una spinta normativa sulle prestazioni emanata con largo anticipo - sui prodotti prefabbricati o preassemblati, principalmente in legno o leghe metalliche; mentre invece i sistemi tradizionali si sono affidati a tempi più lenti, ponendosi il problema della

certificazione del sistema solo in tempi odierni, senza però ancora giungere a soluzioni soddisfacenti e accattivanti per il mercato.

Questo è un problema che però tende a permanere: l'innovazione si concentra molto spesso sul singolo componente, spingendosi poco oltre; quello che maggiormente oggi è necessario indagare deve condurre verso la certificazione dei sistemi costruttivi tradizionali ma innovativi rispetto alla soluzione di tutti i problemi (energetici, acustici, sismici) che il costruire - oggi più che mai - porta con sé.

1.2.2 La necessità di adeguarsi alle nuove disposizioni normative

Le norme che fanno da contorno al problema scientifico in esame vanno a definire un quadro complesso in continua evoluzione.

Il contesto normativo che si presenta è diversificato: le materie che influiscono nella progettazione edilizia sono molte, ed il rischio maggiore è che la diversa scala normativa (europea, nazionale, regionale, ed a volte anche provinciale o comunale) presenti anche solo piccole variazioni o tempi e strumenti di attuazione che devono essere conosciuti ed approfonditi da chi quotidianamente affronta il mondo del costruire.

La questione energetica iniziò già negli anni Settanta a suscitare interesse: con l'avvento della crisi petrolifera, ci si rese conto dell'impossibilità di gestire la fonte di energia resa indispensabile dalla politica dell'economia industriale. La legge 373 del 30 aprile 1976 introdusse, per la prima volta nell'ambito del quadro normativo italiano, il concetto di consumo e risparmio energetico sui singoli componenti e non sul sistema nella sua interezza.

Successivamente venne emanata la legge 10/91 che cominciò a disciplinare l'edificio rispetto al contesto in cui era inserito, affrontando, per la prima volta, il problema in maniera multidisciplinare. In linea teorica, la legge 10 avrebbe potuto stabilire una svolta nella progettazione edilizia; purtroppo però, nella pratica, si concretizzò in un'occasione mancata, in quanto non furono mai emanati i decreti attuativi, se non fino a quelli del D. Lgs 192/2005.

Dagli anni Novanta si susseguirono decreti, leggi, normative, regolamenti e atti di indirizzo che cominciano solo ora ad avere una significativa incidenza nella progettazione edilizia.

E poi conferenze, tavoli di discussione, conferenze di servizi, documenti declaratori (tra cui si ricordano l'Agenda 21, la Carta europea dell'energia, il Protocollo di Kyoto, il Summit di Johannesburg delle Nazioni Unite) hanno determinato un contesto di riferimento normativo piuttosto complesso, caratterizzato dalla frammentarietà delle disposizioni di legge e della eterogeneità degli strumenti.

In ambito di materia acustica la questione è ancora più delicata, se si pensa che dal 1975 si sono susseguite varie disposizioni normative, che però hanno iniziato ad avere uno spessore maggiore con la Legge Quadro sull'inquinamento acustico, n. 447 del 26/10/1995, e con il successivo D.P.C.M. del 05/12/1997, sulla determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici; questo è però rimasto unico riferimento in materia fino all'emanazione del D.Lgs. 7 luglio 2009, n. 88, recante disposizioni in materia di classificazione dei requisiti acustici degli edifici, nuovo decreto legislativo del Ministero dell'Ambiente.

Il quadro normativo e legislativo italiano in materia di protezione acustica degli edifici sta subendo una nuova evoluzione che potrebbe ripercuotersi sul settore edilizio e sulla qualità acustica degli edifici costruiti nei prossimi anni; va in questa direzione l'ultima norma UNI 11367:2010, Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera.

Il riordino della normativa antisismica in Italia inizia nel 2003 con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 che – pochi mesi dopo il crollo della scuola di San Giuliano di Puglia – fornisce i primi elementi in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Si tratta di una disciplina transitoria in vista di un riordino organico della materia, necessario a colmare un vuoto normativo che si trascina ormai da molti anni. L'ordinanza riclassifica le zone a rischio sismico, dopo quasi vent'anni dalla precedente classificazione, anche in considerazione degli eventi calamitosi accaduti in diverse regioni italiane.

Gli ultimi eventi del sisma a L'Aquila hanno ulteriormente posto sotto i riflettori la materia della prevenzione sismica, portando ad una maggiore attenzione

progettuale per tutte le strutture ed i nodi tecnologici che presentano intersezioni con queste.

Il mercato, la ricerca delle aziende del settore e l'aspetto economico influiscono poi su modifiche ed innovazioni che a volte precedono le norme e, altrettanto spesso, ne innescano la genesi; obiettivo di questo lavoro di ricerca è proprio quello di generare attenzione su un problema, diffuso, relativo al costruire secondo criteri di "regola d'arte" e tenendo conto di tutti gli aspetti normativi che ivi convergono.

1.2.2.1 Energetica

La direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, rappresenta una misura a lungo attesa, a fronte di un generico *trend* di crescita nei consumi nel settore edile. Rispetto al passato, vi è un'attenzione molto maggiore al raffrescamento e al condizionamento d'aria. Un motivo è certamente quello che l'aumento del tenore di vita e della richiesta di comfort ha fatto aumentare nell'ultimo decennio la domanda energetica per il condizionamento molto più che non quella per il riscaldamento degli edifici; anche se quest'ultima è ancora prevalente, non è più lecito trascurare la prima. Una seconda causa può essere quella della crescente integrazione tra sistemi di riscaldamento e sistemi di raffrescamento, sia attraverso le pompe di calore reversibili, sia attraverso i sistemi passivi. Un terzo motivo può essere ricercato in una maggiore attenzione verso i Paesi dell'Europa mediterranea, dove il condizionamento sta diventando una necessità, rispetto alla prevalente attenzione verso le condizioni del Nord Europa più considerata in passato.

Giusta attenzione è stata anche posta alle opportunità offerte dalla possibilità di sostanziali risparmi energetici nel riscaldamento, nel raffrescamento e nell'illuminazione, ottenibili con una progettazione intelligente che ottimizzi la tipologia e l'orientamento degli edifici, la scelta dei materiali (in base non solo alla coibentazione ma anche all'inerzia termica), le dimensioni e la disposizione delle finestre (per avere un adeguato equilibrio tra apporti solari al riscaldamento,

ventilazione naturale e illuminazione diurna rispetto alle dispersioni termiche), l'adozione di frangisole fissi o orientabili, l'apporto della vegetazione e dell'acqua ecc. Gli interventi di questo tipo sono maggiormente applicabili, efficaci ed economicamente convenienti quando si realizzano nuovi edifici, ma possono fornire contributi importanti anche nel caso di ristrutturazioni di edifici esistenti. Tutto questo richiede un'adeguata attenzione alle condizioni climatiche locali, non più esprimibili, come avviene tradizionalmente, nei soli "gradi-giorno" (cioè nella somma degli scostamenti giornalieri della temperatura media da quella di riferimento) ma che tenga conto anche del soleggiamento, dell'umidità e dei venti prevalenti. Proprio su questo punto si incontrano le prime difficoltà. Infatti, la direttiva richiede che si calcoli il rendimento energetico degli edifici tenendo conto del microclima locale, degli apporti dei sistemi solari passivi, della protezione solare, della ventilazione naturale e dell'illuminazione naturale.

Questo è certamente possibile e non mancano gli strumenti di calcolo da utilizzare ma la valutazione risulta diversa da un sito all'altro, anche se vicini, poiché richiede una disponibilità di dati climatici su scala locale, ed è differente da edificio a edificio, anche tra due edifici identici e vicini, se varia l'orientamento o l'esposizione al sole e al vento. Il calcolo di alcune delle grandezze di interesse (per esempio, la ventilazione naturale e l'illuminazione naturale), non è facile ed è generalmente al di fuori delle conoscenze del progettista. Si tratta di trovare dunque un compromesso accettabile tra la necessità (e l'indubbia opportunità) di tenere conto di questi apporti alla riduzione della domanda di energia di un edificio e la complessità del procedimento di calcolo che ne potrebbe risultare. Una soluzione in questo senso sembra indicata nelle premesse della direttiva che suggerisce agli stati membri di accertare la fattibilità tecnica, ambientale ed economica dei sistemi energetici alternativi mediante uno studio che indichi un elenco di misure di conservazione dell'energia, per condizioni medie di mercato locale, che soddisfino criteri relativi al rapporto costo/efficacia. Tale fattibilità va valutata e tenuta presente prima dell'inizio dei lavori di costruzione. È ragionevole pensare che a queste considerazioni di fattibilità corrispondano delle variazioni in più del rendimento energetico, valutate con criteri medi ove sia troppo dispendiosa un'analisi dettagliata per il caso specifico. Un'iniziativa in questa direzione, basata su

semplice lista di criteri che possono o meno essere rispettati nel progetto, è già da tempo in corso in Olanda su base volontaria. La prima novità è, quindi, l'estensione della valutazione del rendimento energetico anche al raffrescamento o al condizionamento dell'aria e all'illuminazione.

Nell'agosto del 2005, è stato pubblicato il decreto attuativo della Legge 10/91 recante "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". Il testo integrale del provvedimento è stato promulgato contestualmente alla pubblicazione della direttiva 2002/91, recepita con il D. Lgs. 192/2005 che disciplinava:

- _la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- _l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- _i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- _le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- _i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- _la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- _la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Il D. Lgs. 192/2005 è stato successivamente emendato con il D. Lgs. 311/2006 - Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativo al rendimento energetico nell'edilizia, nel quale viene introdotto l'obbligo della certificazione energetica anche per gli edifici esistenti in caso di ristrutturazione, demolizione e ricostruzione, ed anche in caso di compravendita.

Il D.P.R. 6 marzo 2009 sul D. Lgs 192 del 2005 per il rendimento energetico degli edifici stabilisce i criteri generali, la metodologia di calcolo, i requisiti di base relativi alla prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda per usi igienico sanitari. Le disposizioni in esso contenute recepiscono la direttiva comunitaria in materia di

efficienza energetica definendo le metodologie di calcolo della prestazione energetica degli impianti e degli edifici. Nonostante fin dal 2005 siano state varate diverse normative in materia di rendimenti energetici in edilizia non è ancora completo il recepimento della direttiva comunitaria 2002/91/CE.

È in preparazione un intero pacchetto normativo relativo alla certificazione energetica degli edifici e sui criteri di accreditamento degli esperti e degli organismi cui affidare la certificazione energetica, che ne assicuri la qualificazione e l'indipendenza.

All'interno della Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 156/2008 sono indicate le norme tese a favorire il risparmio energetico, l'uso efficiente delle risorse energetiche, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici, contribuendo a conseguire la limitazione delle emissioni inquinanti e climalteranti. Anche nell'ottica del rispetto degli obiettivi posti dal protocollo di Kyoto, si vuole disciplinare:

- _l'applicazione di requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli impianti energetici in essi installati;
- _le metodologie per la valutazione della prestazione energetica degli edifici e degli impianti;
- _il rilascio dell'attestato di certificazione energetica degli edifici;
- _il sistema di accreditamento degli operatori preposti alla certificazione energetica degli edifici;
- _l'esercizio e la manutenzione degli edifici e degli impianti;
- _il sistema informativo regionale per il monitoraggio della efficienza energetica degli edifici e degli impianti;
- _le misure di sostegno e di promozione finalizzate all'incremento dell'efficienza energetica ed alla riduzione delle emissioni climalteranti.

Dal 1° luglio 2008 è entrata in vigore la disposizione che fissa a 70-80Kw il consumo massimo per unità abitativa costruita ex novo o derivante da ristrutturazione totale.

La certificazione degli edifici è obbligatoria per gli edifici interi oggetto di compravendita, da luglio 2009 per le singole unità immobiliari oggetto di compravendita fino alle singole unità immobiliari date in locazione (luglio 2010).

Il provvedimento dispone inoltre l'utilizzo obbligatorio di fonti energetiche rinnovabili: nel caso di edifici di nuova costruzione o di edifici esistenti oggetto di ristrutturazione integrale, l'impianto di produzione dell'energia termica deve essere progettato in modo che almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria sia coperto da fonti rinnovabili. È inoltre stabilita l'obbligatorietà dell'installazione di impianti a fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica per una potenza non inferiore a 1 kW per unità abitativa. Nel caso in cui non sia possibile rispettare tali disposizioni, il provvedimento regionale individua, come possibilità alternativa, i cosiddetti impianti compensativi come, ad esempio il collegamento ad una rete di teleriscaldamento; l'installazione di impianti di micro-cogenerazione oppure il collegamento ad impianti di fonti rinnovabili comunali.

La nuova Direttiva 2010/31/CE sulle prestazioni energetiche degli edifici (sostituirà, dall'1 febbraio 2012, la direttiva 2002/91/CE) promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche e dell'efficacia sotto il profilo dei costi, e delinea il quadro comune generale per il calcolo della prestazione energetica degli edifici al quale gli Stati membri dovranno adeguarsi.

La metodologia di calcolo dovrà essere determinata sulla base delle caratteristiche termiche dell'edificio e delle sue divisioni interne (capacità termica, isolamento, riscaldamento passivo, elementi di raffrescamento, ponti termici), degli impianti di riscaldamento, di produzione di acqua calda, di condizionamento, di illuminazione, e sulla base dell'orientamento dell'edificio, dei sistemi solari passivi e di protezione solare, ecc.

La direttiva stabilisce che i requisiti minimi della prestazione energetica (che i singoli Stati fisseranno e aggiorneranno ogni cinque anni) dovranno essere applicati agli edifici di nuova costruzione, esistenti e ristrutturati, e agli elementi dell'involucro edilizio e dei sistemi tecnici importanti per la prestazione energetica.

Per gli edifici di nuova costruzione stabilisce che prima dell'inizio dei lavori debba essere valutata la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza, se disponibili, tra cui: sistemi decentrati di fornitura energetica basati su fonti rinnovabili; cogenerazione; teleriscaldamento o teleraffrescamento; pompe di calore.

La direttiva prevede inoltre che vengano redatti piani nazionali destinati ad aumentare il numero di “edifici a energia quasi zero”, cioè di edifici ad altissima prestazione energetica, in cui il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili. Entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere “edifici a energia quasi zero”. Per gli edifici pubblici questa scadenza è anticipata al 31 dicembre 2018.

Gli Stati membri dovranno istituire un sistema di certificazione energetica degli edifici. L'attestato di prestazione energetica comprenderà la prestazione energetica di un edificio e i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di prestazione energetica. Il certificato, di validità massima 10 anni, potrà contenere informazioni supplementari e raccomandazioni per il miglioramento efficace o ottimale in funzione dei costi della prestazione energetica.

Non è obbligatorio rilasciare il certificato qualora sia già disponibile e valido un certificato rilasciato conformemente alla direttiva 2002/91/CE.

In caso di costruzione, vendita o locazione, il certificato di prestazione energetica dovrà essere mostrato al potenziale acquirente o nuovo locatario e consegnato all'acquirente o al nuovo locatario.

In caso di vendita o locazione di un edificio prima della sua costruzione, gli Stati potranno disporre che il venditore fornisca una valutazione della futura prestazione energetica dell'edificio; in tal caso, il certificato di prestazione energetica deve essere rilasciato entro la fine della costruzione. In caso di offerta in vendita o in locazione di edifici o unità immobiliari aventi un certificato di prestazione energetica, l'indicatore di prestazione energetica dovrà essere riportato in tutti gli annunci commerciali. Negli edifici pubblici, il certificato di prestazione energetica dovrà essere esposto al pubblico.

La certificazione della prestazione energetica degli edifici e l'ispezione degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria devono dunque essere effettuate in maniera indipendente da esperti qualificati e/o accreditati, operanti in qualità di lavoratori autonomi o come dipendenti di enti pubblici o di imprese private. L'accreditamento degli esperti viene effettuato tenendo conto della loro

competenza; anche i sistemi di controllo per i certificati di prestazione energetica e i rapporti di ispezione degli impianti devono quindi risultare indipendenti.

Riassumendo:

la questione energetica è diventata preponderante sul costruito proprio a partire da quanto – sebbene in ritardo rispetto alla gravità della situazione – discusso e ratificato a Kyoto nel 1997; ciò ha portato prima l'Unione Europea, poi i vari Paesi (Italia compresa, anch'essa abbastanza in ritardo) a concentrare attenzione sul problema, onde portare i livelli di consumo a quanto stabilito nel protocollo internazionale.

Oggi la normativa vigente porta a ragionare molto sulla Certificazione energetica degli edifici, sebbene questa scelta conduca ad ulteriori questioni: bisognerà valutare se il certificato possa essere in grado di descrivere nello specifico quanto l'edificio racchiude in sé nella realtà.

Gli obiettivi di questa azione - che sono anche le principali sfide del sistema di certificazione - sono principalmente quelli di fornire garanzie di qualità a 360 gradi e di migliorare la trasparenza del mercato immobiliare, fornendo agli acquirenti ed ai locatari di immobili un'informazione oggettiva e trasparente delle caratteristiche (e delle spese) energetiche dell'immobile.

Un ulteriore aspetto significativo va ricercato nella spinta ad informare e rendere consapevoli i proprietari degli immobili del costo energetico legato alla conduzione del proprio "sistema edilizio", in modo da incoraggiare interventi migliorativi dell'efficienza energetica, oltre che offrire gli strumenti necessari agli acquirenti per pretendere informazioni affidabili sui costi di gestione dal venditore di un immobile. Questo aiuterà a stimolare valutazioni sulla convenienza di una spesa maggiore per l'installazione di un impianto, a fronte di un prodotto che garantisce efficienza e bassi costi di gestione e manutenzione, portando a favorire confronti costruttivi per produttori e progettisti in tema di qualità edilizia offerta.

1.2.2.2 Acustica

Il D.P.C.M. del 05/12/1997 - Decreto relativo alla "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" - appartiene ad un quadro normativo di Decreti attuativi collegati alla Legge Quadro sull'inquinamento acustico n. 447 rivolto alla protezione della popolazione esposta alle varie forme che assume questo tipo di inquinamento, tutelandone le condizioni sia in termini di sicurezza della salute, sia in termini di mantenimento della qualità della vita. Nel caso in esame, il DPCM 05-10-1997, si prefigge migliorare la qualità di vita negli ambienti abitativi, in relazione al rumore proveniente dall'esterno e di armonizzare le tecniche costruttive degli edifici, per quanto riguarda le prestazioni acustiche dei singoli elementi costruttivi mediante l'imposizione del rispetto di specifici parametri acustici.

I parametri acustici richiesti dal DPCM 5 Dicembre 1997, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore, sono i seguenti:

- _indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti (R'_w);
- _indice dell'isolamento acustico normalizzato di facciata ($D_{2m,nT,w}$);
- _indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato ($L'_{nT,w}$);
- _livello massimo di rumore prodotto dagli impianti tecnologici a servizio discontinuo ($L_{AS_{max}}$);
- _livello equivalente di rumore prodotto dagli impianti tecnologici a servizio continuo ($L_{A_{eq}}$).

I criteri e le procedure atte alla valutazione dei parametri acustici richiesti fanno riferimento alle seguenti norme nazionali ed internazionali:

- _per il potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti R'_w , viene fatto il riferimento alla EN ISO 140-5 1996, relativa alle misure in opera di facciate o elementi di facciata, mentre il riferimento corretto sarebbe stato alla EN ISO 140-4 ovvero alla corrispondente UNI 10708-1 1997 ora però sostituita dalla ISO 140-4 1997 e da Dicembre 2000 con la corrispondente UNI EN ISO 140-4;
- _la misura del tempo di riverberazione viene definita secondo la norma ISO 3382 1975, ora aggiornata 1997, con un possibile riferimento UNI solo con la UNI EN 20354;

_il metodo di calcolo per gli indici di valutazione del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti richiesto dal Decreto con riferimento alla norma UNI 8270-7, non risulta contemplato in tale norma. Pertanto il riferimento più appropriato è con la UNI 10708-1 1997, ora sostituita dalla UNI EN ISO 140-4, che richiama per il calcolo specifico la UNI EN ISO 717/1;

_anche per il calcolo dell'indice dell'isolamento acustico normalizzato di facciata il riferimento normativo aggiornato è la UNI EN ISO 140-5, che richiama per il calcolo specifico ancora la UNI EN ISO 717/1;

_in relazione al livello di rumore di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione per le misure in opera è richiesta dal Decreto, la norma EN ISO 140-6 1996, che si riferisce però alle misure in laboratorio; il riferimento corretto deve quindi essere alla ISO 140-7 del 1997 ora UNI EN ISO 140-7 a partire dal Dicembre 2000;

_nel Decreto, l'indice del livello di rumore di calpestio ha come riferimento di calcolo la norma UNI 8270-7 1987, che è ora sostituita dalla UNI EN ISO 140-7 Dicembre 2000, la quale richiama per la valutazione degli indici la norma UNI EN ISO 717/2 del 1997.

Il limite minimo richiesto per l'isolamento di facciata risulta molto elevato per gli edifici adibiti ad attività scolastiche (48 dB), ma non viene considerato che la dislocazione di tali edifici è anche tutelata dal DPCM del 14-11-97 che stabilisce precise limitazioni per i valori di immissione sonora, rendendo a volte inutilmente oneroso il raggiungimento dei valori limite richiesti.

Con la finalità di ridurre l'esposizione umana al rumore, il decreto stabilisce anche la seguente classificazione degli ambienti abitativi, in base alla destinazione d'uso:

Cat. A: edifici adibiti a residenza e assimilabili.

Cat. B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili.

Cat. C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili.

Cat. D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili.

Cat. E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili.

Cat. F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto e assimilabili.

Cat. G: edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili.

I requisiti acustici stabiliti compaiono riassunti in questa tabella:

Categoria	R'_w	$D_{2m,n,T,w}$	L'_{nw}	$L_{a,5max}$	L_{aeq}
	dB	dB	dB	dB(A)	dB(A)
D	55	45	58	35	25
A,C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B,F,G	50	42	55	35	35

Piccolo glossario:

R'_w = indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti

$D_{2m,n,T,w}$ = indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata

L'_{nw} = indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato

$L_{as,max}$ = livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo Slow

$L_{a,eq}$ = livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A

L'apice sta a indicare che il valore è riferito non a calcoli teorici o certificazioni ma a valori verificati a cantiere finito ed opera conclusa.

Nel DPCM 5/12/97 in particolare sono riportati i Requisiti Acustici Passivi degli edifici, ovvero i valori limite che devono essere rispettati di parametri descrittivi delle prestazioni acustiche di impianti, facciate, divisori orizzontali e verticali fra unità immobiliari.

Vengono altresì individuate quattro differenti famiglie di rumore, di cui una è strettamente connessa alla presente ricerca:

Isolamento delle facciate:

Anche la facciata deve isolare dai rumori esterni (traffico) garantendo elevati valori dell'indice di Isolamento di Facciata ($D_{2m,n,T,w}$) che si misura per differenza fra la lettura del livello di rumore interno al locale e quello che si registra esternamente all'edificio. L'isolamento acustico di facciata definisce la capacità di una facciata di

abbattere i rumori aerei provenienti dall'esterno. Il parametro che determina tale valore è l'indice di valutazione $D_{2m,nT,w}$.

Il calcolo revisionale di tale indice dipende in massima parte:

- _dalle prestazioni acustiche dei singoli elementi costituenti la facciata: muratura, componenti finestrati e piccoli elementi (prese d'aria, bocchette di ventilazione);
- _dalla forma della facciata;
- _dal volume dell'ambiente analizzato;
- _dal valore di riferimento del tempo di riverberazione;
- _dalla superficie interna della facciata.

Nel Decreto è dichiarato esplicitamente che il rispetto del requisito acustico passivo va dimostrato a cantiere finito. Chiunque si approcci alla progettazione acustica di un edificio non può prescindere dunque dalla conoscenza di tutti i requisiti che la costruzione deve rispettare in funzione della sua destinazione d'uso.

Un riferimento va fatto ad esempio sulla natura dei materiali isolanti: un effetto dirompente della normativa porta a riflettere sulla rigidità di tali componenti, poiché non permettono di raggiungere i valori che la normativa richiede; e poiché spesso un ponte termico è luogo in cui si hanno problemi connessi all'acustica, bisogna far sì di utilizzare componenti in grado di assolvere la doppia funzione, come ad esempio i materiali coibenti a celle chiuse.

Il D.Lgs. 7 luglio 2009, n. 88, Disposizioni in materia di classificazione dei requisiti acustici degli edifici, va ad abrogare e sostituire il DPCM del 1997; esso determina i requisiti acustici prestazionali degli edifici e dei loro componenti in opera, prescrivendo dei valori limiti da rispettare diversificati in base alla destinazione d'uso (nel caso di ospedali, scuole ed edifici ad essi assimilabili i requisiti acustici passivi da prendere in considerazione sono in numero maggiore).

Inoltre per quanto riguarda il requisito "isolamento acustico normalizzato di facciata", il valore minimo da rispettare è individuato tenendo conto della zonizzazione acustica del territorio comunale e delle eventuali fasce di pertinenza delle infrastrutture dei trasporti; la rispondenza ai requisiti minimi stabiliti dal decreto deve essere dimostrata in fase di progetto e certificata esclusivamente con verifiche acustiche eseguite in opera.

Il decreto introduce inoltre la classificazione acustica delle unità immobiliari, rendendola obbligatoria per i nuovi edifici e per ristrutturazione edilizia, specificando inoltre che, nel caso di nuovi edifici, essa deve essere riportata nell'atto di compravendita.

Quanto prescritto diviene di fondamentale importanza ai fini dell'ottenimento del rilascio dell'agibilità/abitabilità: è specificato, infatti, che il comune è obbligato a richiedere documentazione relativa al progetto dei requisiti acustici passivi o dichiarazione di un tecnico competente che attesti il rispetto dei valori limiti, così come documentazione relativa al collaudo in opera.

IL 22 luglio 2010 è invece stata pubblicata la norma UNI 11367 "Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera" dove trova attenzione la classificazione acustica degli edifici. Dopo le norme sulle prestazioni energetiche degli edifici (UNI TS 11300) ecco quindi un altro importante tassello che UNI mette a disposizione degli operatori per affrontare le sfide del costruire a regola d'arte, nell'interesse del cittadino consumatore quando si rapporta al bene principale della propria esistenza come, in genere, è la casa.

La classificazione acustica di una unità immobiliare, basata su misure effettuate al termine dell'opera, consente di informare i futuri proprietari/abitanti sulle caratteristiche acustiche della stessa e di tutelare i vari soggetti che intervengono nel processo edilizio (progettisti, produttori di materiali da costruzione, costruttori, venditori, ecc.) da possibili successive contestazioni.

La norma UNI prevede quattro differenti classi di efficienza acustica: si va dalla classe 1 (più silenzioso), alla classe 4 (più rumoroso): va considerato che, seppure il livello prestazionale "di base" sia rappresentato dalla terza classe, la stragrande maggioranza degli edifici italiani attualmente esistenti non raggiunge neppure la quarta classe.

Tale griglia di classificazione viene attuata sulla base di misurazioni dei livelli sonori e non solo di dati progettuali; inoltre è prevista per singole unità immobiliari e non per l'intero edificio (cosa questa che induce a riflettere...ci ritroviamo nella situazione della certificazione del singolo e non del sistema edificio, che in questo

modo permane nella sua situazione di "insieme di singoli" invece di essere definito come "sistema").

La valutazione complessiva di efficienza sarà obbligatoriamente accompagnata da valutazioni per ogni singolo requisito considerato; sono infatti oggetto di classificazione l'isolamento di facciata, l'isolamento rispetto ai vicini (sia per i rumori aerei, sia per i rumori di calpestio) e il livello sonoro degli impianti.

La norma, lungo il suo iter, ha ricevuto numerosissimi commenti, cosa che sottolinea l'importanza che la materia riveste; inoltre è interessante sottolineare quanti commenti tecnici siano pervenuti, con l'obiettivo di raggiungere una soluzione condivisa.

Il Ministero dell'Ambiente, inoltre, in perfetta sintonia con quanto fatto dall'UNI, sta elaborando il testo del nuovo decreto sui limiti passivi che inquadrerà opportunamente ed organicamente la materia trattata. Secondo Piero Torretta, presidente UNI, "per sua natura la norma tecnica volontaria definisce lo stato dell'arte di un prodotto/servizio, ma non è una norma imposta dall'alto o dall'esterno, bensì è un accordo condiviso, trasparente, consensuale, alla cui definizione possono partecipare tutti gli stakeholders interessati". Come tutte le norme tecniche di prodotto/servizio, la norma UNI 11367 pone al centro della sua attenzione il consumatore, le sue esigenze, la sua tutela nel rapporto con il mondo della produzione, che - a sua volta - è impegnato a dare informazioni sul tipo di prodotto che realizza e immette sul mercato: in particolare su quali sono le caratteristiche e le prestazioni rispetto allo standard definito dalla norma tecnica di riferimento.

Riassumendo:

il problema dell'inquinamento acustico causato dalle emissioni di rumore nelle abitazioni è una questione sempre più sentita sia da chi abita in case con vicini particolarmente rumorosi sia dal legislatore che ha voluto tutelare le persone da un'esposizione eccessiva ai rumori; va ricordato che l'inquinamento acustico nuoce gravemente alla salute sia per l'eccessiva intensità sia per un'esposizione prolungata nel tempo quando si è costretti ad essere immersi in rumori molesti più o meno intensi.

La questione delle emissioni di rumore è regolata da due fondamentali disposizioni di legge:

– dall'art. 844 del Codice civile il quale stabilisce che il proprietario non può impedire le immissioni di fumo, di calore o le esalazioni, i rumori, gli scuotimenti e simili propagazioni, se non superano la normale tollerabilità, anche riguardo alla condizione dei luoghi.

– dalla Legge 26 ottobre 1995, n. 447 , legge quadro sull'inquinamento acustico, in cui sono riportati i requisiti acustici che devono possedere gli edifici per garantire un confort abitativo minimo. Il costruttore o il venditore possono essere ritenuti responsabili del mancato rispetto di tali norme.

Esistono inoltre tutta una serie di norme UNI EN ISO che riguardano le modalità con cui vanno effettuati i rilevamenti in opera.

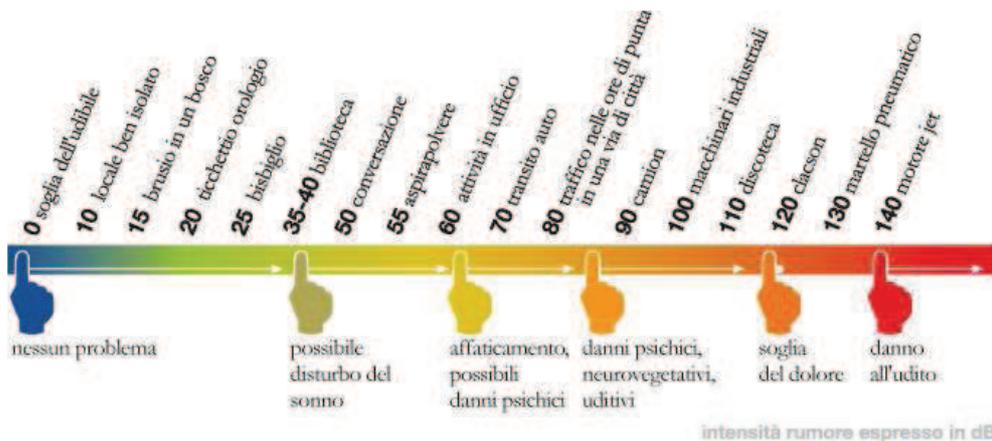


Figura 1.1_Scala dei rumori in relazione ai requisiti acustici degli edifici

T trattare dunque di acustica in edilizia significa prendere in considerazione tutti quegli aspetti che influenzano la qualità acustica all'interno degli ambienti abitativi. Si devono considerare innanzitutto le sorgenti di rumore, che possono essere interne o esterne. Va poi valutato il tipo di rumore prodotto dalle sorgenti: continuo, intermittente, tonale, impattivo, ecc.; risulta fondamentale considerare la modalità di attenuazione del rumore, dalla riduzione del rumore aereo mediante isolanti e assorbenti, allo smorzamento dei rumori impattivi e delle vibrazioni strutturali mediante materiali anticalpestio, antivibranti, desolidarizzanti.

L'obiettivo deve essere quello di rispettare la legislazione vigente che, pur essendo a volte controversa, ha creato enormi stimoli al settore delle costruzioni ed ha sensibilizzato sugli aspetti qualitativi. I problemi acustici possono essere classificati in due grandi categorie: problemi di fonoassorbimento e problemi di fonoimpedimento.

Con interventi di fonoassorbimento si può controllare, limitare o ridurre al minimo l'effetto dovuto alle riflessioni delle onde sonore, quindi migliorare l'acustica interna dei locali riducendo il riverbero (effetto eco) che provoca la cattiva intelligibilità e le distorsioni dei suoni. Con questo intervento si possono rendere piacevoli anche quei locali pubblici dove il vociò della clientela produce un frastuono molto sgradevole.

Con interventi di fonoimpedimento si opera in un'ottica diversa: si cerca cioè di impedire che i rumori si propaghino da un ambiente ad un altro (isolamento acustico). Limitando il passaggio del rumore da una parete all'altra o da un solaio all'altro o dalle tubazioni agli ambienti circostanti, si può rendere possibile la coesistenza pacifica di attività fra di loro altrimenti incompatibili.

1.2.2.3 Sismica

La Legge N.1086 del 5 novembre 1971 determina le "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica", ponendosi come primo tassello normativo nel campo delle costruzioni con struttura intelaiata, con l'obiettivo di "assicurare la perfetta stabilità e sicurezza delle strutture e da evitare qualsiasi pericolo per la pubblica incolumità, mantenendo permanentemente l'effetto statico voluto"⁴. La prima norma che pone l'attenzione realmente al problema del costruire in maniera da contrastare le azioni sismiche è la Legge 64/1974 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari

⁴ Legge N.1086 del 5 novembre 1971, art. 1

prescrizioni per le zone sismiche”. In essa si individuano le disposizioni generali relative alle tipologie di strutture con una specifica su tutto il territorio nazionale, includendo sia le costruzioni pubbliche che quelle private; si specifica che le norme tecniche successivamente emanate trattano:

a_criteri generali tecnico-costruttivi per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento;

b_carichi e sovraccarichi e loro combinazioni, anche in funzione del tipo e delle modalità costruttive e della destinazione dell'opera; criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni;

c_indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, criteri generali e precisazioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

d_criteri generali e precisazioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di opere speciali, quali ponti, dighe, serbatoi, tubazioni, torri, costruzioni prefabbricate in genere, acquedotti, fognature;

e_protezione delle costruzioni dagli incendi.⁵

Le norme tecniche nello specifico riguardano l'altezza massima degli edifici in relazione al sistema costruttivo, al grado di sismicità della zona ed alle larghezze stradali; le distanze minime consentite tra gli edifici e giunzioni tra edifici contigui; le azioni sismiche orizzontali e verticali da tenere in conto nel dimensionamento degli elementi delle costruzioni e delle loro giunzioni; il dimensionamento e la verifica delle diverse parti delle costruzioni; le tipologie costruttive per le fondazioni e le parti in elevazione. È importante sottolineare che la norma include tutte le costruzioni la cui sicurezza possa comunque interessare la pubblica incolumità da realizzarsi in zone dichiarate sismiche; va oltremodo posto in evidenza un riferimento agli aggiornamenti, che verranno effettuati “ogni qualvolta occorra in relazione al progredire delle conoscenze dei fenomeni sismici”.

Negli anni Novanta, la Comunità Europea si impegna, attraverso gli Eurocodici (EC), a definire norme comunitarie per la progettazione strutturale; si allineano alle norme nazionali vigenti e consentono al professionista l'utilizzo di criteri di calcolo

⁵ Legge N. 64 del 2 febbraio 1974, art. 1

comuni ed adottabili anche all'estero. Nello specifico, all'interno dell'Eurocodice 8 sismico (EN 1998) – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica, si illustrano i criteri per la determinazione delle azioni sismiche sulle opere strutturali e di sostegno, adottati nell'ambito dell'Eurocodice8-Parte5 (EN 1998-5) della normativa europea. Vengono definiti i criteri per la valutazione delle azioni sismiche al suolo (EN 1998-1), rappresentate da valori di accelerazione di riferimento e da spettri di risposta elastici; infatti, tale approccio ribalta la classica valutazione della pericolosità di un sito, espressa in termini di intensità sismica, ed appare senza dubbio più razionale ed adeguato al livello delle conoscenze scientifiche ormai consolidate nel campo dell'ingegneria sismica.

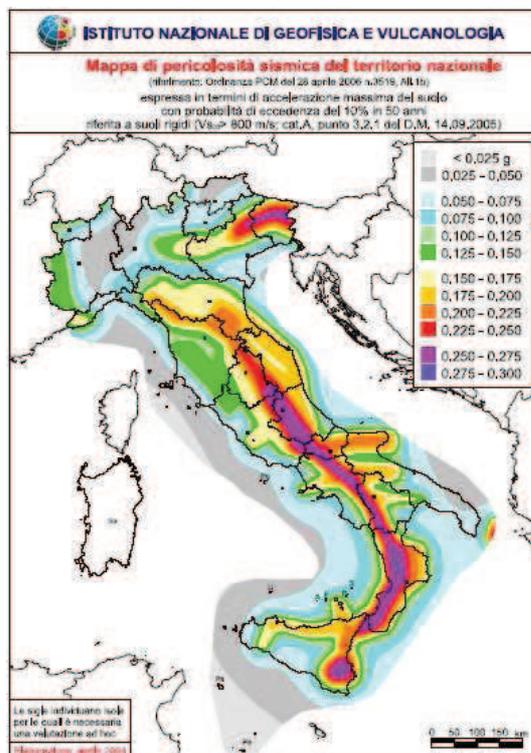


Figura 1.2_Mappa di pericolosità sismica

L'ordinanza recepisce le norme europee sulla progettazione antisismica di edifici, ponti e fondazioni (Eurocodice 8). L'OPCM 3274 sarebbe dovuta entrare in vigore l'8 novembre 2004, ma nell'ottobre 2004 arriva la proroga di sei mesi (al 6 maggio 2005), necessaria per modificare il testo.

I fatti di San Giuliano di Puglia hanno riportato l'attenzione del legislatore nazionale ai problemi relativi alla sismicità del nostro territorio.

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274/2003, la novità della nuova mappa sismica stava nel fatto che tutto il territorio nazionale veniva classificato in quattro zone di rischio, includendo nella zona 4 (la meno pericolosa) tutti quei territori che erano stati fino ad allora esclusi da ogni classificazione sismica.

Il 23 settembre 2005 sono state pubblicate in Gazzetta Ufficiale le nuove NTC, un provvedimento di oltre 400 pagine che contiene tutta la normativa italiana relativa alla progettazione degli edifici, dove era previsto che le nuove NTC entrassero in vigore il 23 ottobre 2005; durante questa fase transitoria una apposita Commissione ministeriale svolse un'azione di monitoraggio sulle nuove norme, apportandovi eventuali modifiche e correzioni. Dal 23 aprile 2007 le NTC del 23 settembre 2005 sono diventate l'unica normativa applicabile.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni raccolgono in un unico organico testo le norme prima distribuite in diversi decreti ministeriali; definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità. Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. Circa le indicazioni applicative per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, per quanto non espressamente specificato nel presente documento, ci si può riferire a normative di comprovata validità e ad altri documenti tecnici elencati all'interno delle stesse Norme; in particolare quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme.

A fine gennaio 2008 una Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri fornisce indicazioni per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle NTC.

La Direttiva ha lo scopo di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di miglioramento sismico, con riferimento però alle sole costruzioni in muratura.

Per la conservazione in condizioni di sicurezza del patrimonio culturale nei riguardi dell'azione sismica è necessario disporre di strumenti di analisi a diverso livello di approfondimento, applicabili a due diverse scale: la valutazione della vulnerabilità del patrimonio culturale a scala territoriale; la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sul singolo manufatto.

Il 26 marzo 2008 il Consiglio Nazionale dei Geologi impugna le NTC del 14 gennaio 2008 sostenendo che sono state omesse importanti attività conoscitive delle caratteristiche geologiche delle aree interessate dalle costruzioni, con conseguenti rischi per l'intera collettività, dal punto di vista economico, della sicurezza e delle risorse naturali e ambientali.

Nel 2009 il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti fornisce, con la Circolare 617/2009, le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC di cui al DM del 14 gennaio 2008, che rappresenta – ha spiegato il Ministero – “la più avanzata espressione normativa a tutela della pubblica incolumità nel settore delle costruzioni”.

Secondo la Circolare, le NTC hanno un'impostazione coerente con gli Eurocodici e contenuti all'avanguardia riguardo alla puntuale valutazione della pericolosità sismica del territorio nazionale e, quindi, alle esigenze di una moderna progettazione sismoresistente delle opere di ingegneria civile da realizzare o ristrutturare in Italia, impostazione condivisa dal mondo accademico, professionale e produttivo - imprenditoriale.

La norma affronta i requisiti specifici che, secondo quanto stabilito nei capitoli dedicati, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere:

_sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU), intesa come la capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, provocare gravi danni ambientali e sociali o mettere fuori servizio l'opera;

_sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE), definita come la capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio del manufatto che si progetta;

_robustezza nei confronti di azioni eccezionali, ovvero la capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile. Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di

sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli stati limite ultimi.⁶

La durabilità è un parametro importantissimo peso in considerazione, e viene definita come “conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell’opera”; essa deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione. Viene a questo punto definita una differenziazione: i prodotti ed i componenti utilizzati per le opere strutturali devono essere chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico - fisico - chimiche indispensabili alla valutazione della sicurezza e dotati di idonea qualificazione (un capitolo successivo della norma ne specifica i contenuti e le modalità, spiegando che i materiali ed i prodotti, per poter essere utilizzati nelle opere previste dalle presenti norme, devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione, e deve essere accompagnata da un manuale di installazione e di manutenzione da allegare alla documentazione dell’opera); la fornitura di componenti, sistemi o prodotti, edili od impiantistici, non facenti parte del complesso strutturale - ma che svolgono funzione statica autonoma - devono essere progettati ed installati nel rispetto dei livelli di sicurezza e delle prestazioni prescritti comunque in una sezione specifica della normativa in oggetto.

Vengono definite due categorie di stati limite: gli stati limite ultimi (SLU) e gli stati limite di esercizio (SLE).

La normativa prevede che le opere strutturali debbano essere verificate sia per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni, che per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si adottano criteri probabilistici scientificamente comprovati, e vengono normati i criteri del metodo

⁶ Decreto Ministeriale 14/01/2008 (Gazzetta ufficiale 04/02/2008 n. 29) Ministero delle Infrastrutture - Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni, cap. 2

semiprobabilistico agli stati limite basandoli sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale: $R_d \geq E_d$, dove R_d è la resistenza di progetto, E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni. In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

È molto importante ragionare su quanto la normativa dispone, soprattutto in merito alla classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo:

a) *permanenti* (G), cioè azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:

_peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno; forze indotte dal terreno e forze risultanti dalla pressione dell'acqua (G1);

_peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);

_spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;

_pretensione e precompressione (P);

_ritiro e viscosità;

_spostamenti differenziali;

b) *variabili* (Q), ovvero azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

_di lunga durata (agiscono con un'intensità significativa, anche non in maniera continuativa, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;

_di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

c) *eccezionali* (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura, quali incendi, esplosioni, urti ed impatti;

d) *sismiche* (E): azioni derivanti dai terremoti.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC). Le valutazioni della "pericolosità sismica di base" debbono derivare da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate. I dati utilizzati per le valutazioni devono essere resi pubblici, in modo che sia possibile la riproduzione dell'intero processo.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche: in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

_in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;

_in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);

_per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

La disponibilità di informazioni così puntuali e dettagliate, in particolare il riferimento a più probabilità di superamento, consente ad un tempo di:

a) adottare, nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo così significative economie e soluzioni più agevoli del problema progettuale, specie nel caso delle costruzioni esistenti;

b) trattare le problematiche di carattere tecnico-amministrativo connesse alla pericolosità sismica adottando una classificazione sismica riferibile anche a porzioni territoriali dei singoli comuni.

In particolare è possibile separare le questioni di cui al punto a) dalle questioni di cui al punto b); nel seguito del presente paragrafo si esamineranno le questioni relative al punto a); le questioni relative al punto b) saranno oggetto di specifico provvedimento.⁷ Eventuali differenti pericolosità sismiche sono approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria effettuata dal Dipartimento

⁷ Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it>.

per la Protezione Civile, al fine di valutarne l'attendibilità scientifica e l'idoneità applicativa in relazione ai criteri di verifica adottati nelle NTC.

Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna, nel 2008 è stata emanata la L.R. ER n. 19 del 30/10/2008 - norme per la riduzione del rischio sismico, e successive modifiche della L.R. ER n. 6 del 06/07/2009, e della L.R. ER n. 23 del 30/11/2009. La presente legge, insieme alle sue successive modifiche ed integrazioni, persegue l'obiettivo di una maggiore tutela della pubblica incolumità attraverso il riordino delle funzioni in materia sismica, la riorganizzazione delle strutture tecniche competenti e la disciplina del procedimento per la vigilanza sulle costruzioni. Alla regione vengono attribuite funzioni di indirizzo e coordinamento dell'esercizio dei compiti in materia sismica, assicurando un'adeguata consulenza alle strutture tecniche competenti, e promuovendo anche indagini per la valutazione del rischio sismico, finalizzate alla definizione dei programmi di prevenzione sismica. La Giunta Regionale ha altresì il compito di provvedere a definire i criteri per la formazione e l'aggiornamento del personale da assegnare alle strutture tecniche competenti in materia sismica; ed a promuovere lo sviluppo di un sistema informativo integrato, supporto tecnologico alla rete delle strutture comunali, provinciali e regionali competenti in materia sismica e che consenta la gestione informatica delle pratiche sismiche. Va inoltre sottolineato il ruolo che la legge attribuisce agli organi provinciali, che hanno il compito di esprimere parere sul Piano strutturale comunale (PSC), sul Piano operativo comunale (POC) e sul Piano urbanistico attuativo (PUA), nonché, in via transitoria, sulle varianti al Piano regolatore generale (PRG) e sugli strumenti urbanistici attuativi del vigente PRG, in merito alla compatibilità delle rispettive previsioni con le condizioni di pericolosità locale del territorio. Questo a beneficio di una gestione capillare del territorio, cosa peraltro essenziale soprattutto in materia sismica.

Riassumendo:

Ancora oggi i terremoti producono danni e sconvolgimenti sproporzionati rispetto alle possibilità offerte dalla tecnica delle costruzioni per arginarne gli effetti. Una parte consistente degli insuccessi è da attribuire alla presenza di costruzioni non

progettate con criteri antisismici. Si tratta sia delle vecchie costruzioni in muratura, ma anche di edifici di cemento armato di tipo ordinario costruiti nella seconda metà del secolo scorso prima che il territorio di appartenenza fosse classificato sismico. Oltre a ciò, più volte le cause sono da ricercare in una certa grossolanità progettuale ed esecutiva.

A questo punto risulta essenziale stimolare un atteggiamento dei tecnici del settore più disponibile e più attento ai tutti i nuovi modi in cui oggi è possibile affrontare il problema della sicurezza sismica, sia da parte dei progettisti strutturali che degli architetti, ma anche da parte degli imprenditori e degli amministratori protagonisti delle decisioni. Al momento, una delle vie più promettenti, pur non essendo l'unica, è certamente quella dell'isolamento sismico. Per gli edifici di tipo corrente, l'isolamento alla base è la soluzione più semplice e più economica, a patto che se ne considerino e se ne sfruttino tutte le potenzialità attraverso progettazioni strutturali ed architettoniche ben coordinate.

Gli aspetti progettuali da approfondire sono:

_riconoscere le morfologie architettoniche e le configurazioni strutturali in relazione alla funzionalità dell'edificio ed alle prestazioni dei sistemi di protezione sismica adottati in modo che, riducendo i costi di costruzione, possano realmente essere assicurate le prestazioni ottimali;

_individuare e perfezionare le strategie riguardanti la scelta dei sistemi di protezione e le loro modalità di inserimento nei sistemi strutturali;

_fornire regole opportune - come le norme oggi vigenti fanno - per facilitare il progetto dei sistemi di isolamento delle realizzazioni di tipo ordinario, considerando la maggiore affidabilità delle abituali procedure di progetto rispetto al caso delle costruzioni a base fissa;

_eliminare la persistenza di erronei pregiudizi che al momento tendono a scoraggiare ancora molte iniziative.

1.2.3 La competizione con i produttori di sistemi prefabbricati e preassemblati.

Il terremoto dell'Aquila dell'aprile del 2009 fu solo la scossa principale di una serie di eventi sismici, iniziati nel dicembre 2008 e susseguitesi per diversi mesi, con epicentri nell'intera area della città e della provincia dell'Aquila; la scossa devastante si verificò il 6 aprile 2009 alle ore 3:32 con un'intensità pari a 5,9 della scala Richter e 6,3 magnitudo momento (Mw); le scosse di assestamento si sono prolungate per circa un anno dall'evento principale.

Nelle 48 ore dopo la scossa principale, si sono registrate altre 256 scosse, delle quali più di 150 nel giorno di martedì 7 aprile, di cui 56 oltre la magnitudo 3,0 della scala Richter. Tre eventi di magnitudo superiore a 5,0 sono avvenuti il 6, il 7 e il 9 aprile. Dall'esame dei segnali della stazione INGV aquilana (AQU, ubicata nei sotterranei del Forte spagnolo), sono state conteggiate oltre 10.000 scosse.

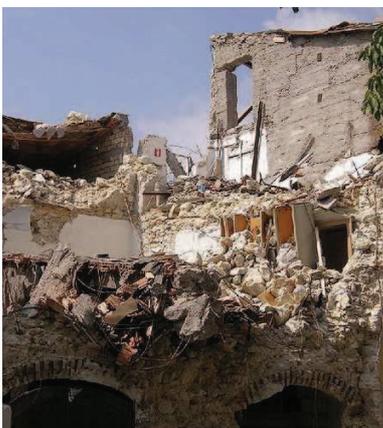


Figura 1.3 _Edificio crollato



Figura 1.4 _La Prefettura dell'Aquila dopo il sisma.

Il bilancio definitivo è stato di 308 morti, circa 1600 feriti di cui 200 gravissimi ricoverati negli ospedali di Teramo, Avezzano, Chieti, Pescara, Ancona, Roma, Rieti, Foligno e Terni, circa 65.000 gli sfollati, alloggiati momentaneamente in tendopoli, auto, alberghi lungo la costa adriatica; qualcuno è stato estratto vivo dalle macerie anche parecchie ore dopo il sisma.



Figura 1.5 *Edificio lesionato a San Martino d'Ocre.*

Il terremoto è stato avvertito su una vasta area comprendente tutto il Centro Italia, fino a Napoli, causando panico tra la popolazione, e inducendola a riversarsi in strada. La regione più colpita è stata l'Abruzzo, seguita dal Lazio. Alcuni lievi danni sono stati riscontrati nella zona di Ascoli Piceno, nelle Marche. Secondo le stime inviate dal Governo Italiano alla Commissione Europea per accedere al Fondo Europeo di Solidarietà, il danno ammonta a circa 10.212.000.000 €.

Nel cosiddetto decreto Abruzzo, approvato dopo la Pasqua del 2009, sono state previste misure per fronteggiare l'emergenza terremoto, come la sospensione del pagamento dei contributi previdenziali ed assistenziali; stanziamenti straordinari ed indennizzi; sospensione temporanea del pagamento delle rate dei mutui da parte degli sfollati; istituzione di conti correnti sotto l'egida del Dipartimento della Protezione Civile, per ricevere le donazioni; immediati aiuti per 70 milioni di euro.

Il decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 97 del 28 aprile 2009 e recante: "Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile" conteneva una serie di misure volte al finanziamento

degli interventi della prima fase di gestione dell'emergenza e delle successive fasi di ricostruzione. A L'Aquila sono state presentate da parte di residenti o domiciliati circa 12500 domande per il contributo di autonoma sistemazione, un sussidio previsto dal governo, per coloro che hanno provveduto a trovarsi autonomamente una sistemazione senza utilizzare le strutture messe a disposizione della protezione civile. Dai sopralluoghi effettuati in 73.484 edifici, pubblici e privati, il 48,1% (35.379 edifici) risulta inagibile. Per quanto riguarda L'Aquila, i danni maggiori si presentano nel centro storico, soprattutto rione di San Pietro, e nei quartieri di Pettino, Santa Barbara e Valle Pretara. Il centro storico, di fatto totalmente inagibile, è stato dichiarato "Zona rossa" ed è quasi totalmente a divieto d'accesso. La Protezione Civile ha disposto la suddivisione delle inagibilità in sottoclassi per definirne meglio la complessità d'intervento e le agevolazioni economiche predisposte. Una delle più grandi criticità emerse, oltre ai problemi strutturali di edifici storici in muratura portante, è legata al distacco dei tamponamenti rispetto alle strutture intelaiate, cosa che ha denunciato una scarsa coesione fra i componenti dell'involucro edilizio.

Per una corretta progettazione antisismica attraverso l'utilizzo dei sistemi costruttivi tradizionali, non si può prescindere dallo studio e dalla risoluzione dei problemi legati alla connessione solidale tra gli strati: la sequenza della stratificazione non può prescindere dallo studio del comportamento nelle condizioni sismiche.

Classe	Descrizione	Edifici privati	Edifici pubblici	Totale
A	Agibile	36.924	1.181	38.105
B	Temporaneamente inagibile ma agibile con provvedimenti di pronto intervento	8.931	467	9.398
C	Parzialmente inagibile	1.905	73	1.978
D	Temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimento	567	33	600
E	Inagibile	19.105	405	19.510
F	Inagibile per cause esterne	3.827	66	3.893

Tabella 1.1 Dati della Protezione Civile

Il 1° dicembre 2009, a quasi otto mesi dal sisma che ha sconvolto la provincia dell'Aquila, si sono chiuse tutte le tendopoli allestite per gestire l'emergenza. Sempre alla stessa data, risultavano circa 18.000 persone distribuite tra alberghi e case private nell'Aquilano e nelle altre province, oltre 1.500 ospitate tra la Scuola della Guardia di Finanza di Coppito e la caserma Campomizzi, altre 6.700 nelle abitazioni antisismiche del progetto C.A.S.E. e oltre 600 nei moduli abitativi provvisori (M.A.P.) nei paesi della provincia dell'Aquila. Al 6 aprile 2010, un anno dopo il terremoto, risultavano secondo le ultime stime 14.462 aquilani negli appartamenti del Progetto C.A.S.E., altri 2.053 nei Map (moduli abitativi provvisori). La riflessione si apre sui tempi e sulle scelte effettuate in occasione dell'emergenza: l'ipotesi di intervento si è focalizzata su strutture prefabbricate, di immediata costruzione, anche su vasta scala, e rispondenti a requisiti elevati in termini di prestazioni; due i progetti principali: il progetto C.A.S.E. ed il progetto M.A.P.

Progetto C.A.S.E.

Il 23 aprile 2009 il Consiglio dei Ministri ha approvato un pacchetto di misure di emergenza che comprendeva la progettazione e realizzazione, nei comuni terremotati, di moduli abitativi destinati ad una utilizzazione durevole e rispondenti a caratteristiche di innovazione tecnologica, risparmio energetico e protezione dalle azioni sismiche, nonché delle opere di urbanizzazione e dei servizi connessi, al fine di garantire adeguata sistemazione alle persone le cui abitazioni sono state distrutte o dichiarate non agibili. Il 16 maggio 2009 la Conferenza dei Servizi della Presidenza del Consiglio dei Ministri ha approvato il progetto C.A.S.E. (Complessi Antisismici Sostenibili ed Ecocompatibili), un progetto con lo scopo di fornire al più presto un alloggio ancorché provvisorio ma di media qualità. Obiettivo del Piano C.A.S.E. era realizzare entro 5 - 6 mesi nuove abitazioni antisismiche e a basso impatto ambientale. La scelta è stata relativa ai sistemi prefabbricati in legno, evidentemente ritenuti all'altezza di dare completa risposta a tutte le richieste, non ultima quella temporale: il 29 settembre dello stesso anno è iniziata la consegna dei primi appartamenti di questo progetto.

Al 13 agosto 2010 il Progetto C.A.S.E. è costato € 809.000.000 su € 1.086.000.000 finanziati (€ 700.000.000 di origine governativa, € 36.000.000 da donazioni e € 350.000.000 provenienti dall'Unione Europea) per la costruzione di 4.449 appartamenti alloggianti circa 15.000 persone con un costo totale al mq. di € 1.368.



Figure 1.6 e 1.7_Cese di Preturo: 100 abitazioni consegnate dopo soli 67 giorni lavorativi, 8in meno rispetto ai tempi preventivati per la cantierizzazione.

Progetto M.A.P.

Il Progetto M.A.P., avviato nel settembre 2009, consiste nella realizzazione di prefabbricati in legno nel quale ospitare la popolazione nell'attesa della ricostruzione delle abitazioni in muratura. Il piano è stato applicato in diverse frazioni dell'Aquila e in tutti gli altri comuni.

Il 15 settembre 2009 è stato inaugurato ad Onna il villaggio costruito a poche decine di metri dal paese abbattuto dal sisma e sono state consegnate le prime villette agli sfollati: 93 "moduli abitativi provvisori" (M.A.P.), fabbricati in legno, pagati 5,2 milioni di euro ricevuti dalle donazioni alle Croce Rossa, fabbricati in Trentino e montati in Abruzzo dal personale della Protezione civile della Provincia

autonoma di Trento. Altre strutture simili a quelle di Onna sono state poi realizzate a San Gregorio e nei comuni di Fossa, San Demetrio ne' Vestini e Villa Sant'Angelo mentre altri sono previsti a Barisciano e Poggio Picenze. Recentemente si è poi discusso della realizzazione di ulteriori 300 moduli abitativi ad uso degli studenti fuori sede dell'Università dell'Aquila.

Il 17 giugno 2010 i M.A.P. della frazione aquilana di San Gregorio realizzati dal gruppo Rubner hanno vinto il Social Housing Awards 2010 in virtù dei tempi di realizzazione (36 giorni per 220 abitazioni) e del costo di costruzione (733 €/mq, circa un quarto del costo del Progetto C.A.S.E.).



Figura 1.8_*Casette Map L'Aquila*



Figure 1.9 e 1.10_*Esempi di M.A.P. nelle località di Arischia e Cansatessa, presso L'Aquila: nel complesso sono circa 40.000 m³ di cubatura totale del progetto, con 220 unità abitative di varie dimensioni, di cui 10 per portatori di handicap.*

Concludendo:

È d'obbligo analizzare i motivi che in un caso di emergenza e problemi contingenti hanno condotto ad operare una scelta verso la prefabbricazione; uno tra tutti è certamente da individuare nel rispetto che queste case prefabbricate in legno portano avanti nei confronti delle normative antisismiche nazionali ed europee. Queste case antisismiche sono costruite mettendo al centro i punti di forza del legno: duttilità e robustezza, elasticità ed affidabilità, estetica ed individualità; sono state edificate, nello specifico, con tecnica a telaio, poggianti su fondazioni realizzate appositamente per garantire un'ottimale ammortizzazione delle sollecitazioni sismiche, mostrandosi dunque come modalità abitativa ideale per le zone ad elevato rischio sismico. Inoltre - e non sono aspetti da sottovalutare - esse coniugano alla piena rispondenza alle normative antisismiche, anche i punti di forza tipici dell'edilizia prefabbricata: rapidità di costruzione, elevatissimo coefficiente di risparmio energetico, ottime capacità di isolamento termico ed acustico, costi contenuti e durata nel tempo.

È chiaro dunque intuire come tutte queste caratteristiche siano state i motori che hanno indirizzato la scelta verso queste tecnologie costruttive a sistemi prefabbricati e/o preassemblati, portandole ad uscire da un mercato di nicchia per candidarsi a valida alternativa al sistema costruttivo tradizionale.

Il rischio che il costruire tradizionale corre è quello di rimanere sempre indietro rispetto alla concreta risposta che questo modo costruttivo propone; la sfida maggiore risiede nella possibilità che questi sistemi propongono di essere certificati nel complesso dell'installazione.

Questo è un nodo cruciale: i sistemi tradizionali devono essere studiati e approfonditi con un duplice intento:

_definire le questioni "nodali" irrisolte, che rappresentano la criticità più diffusa e più foriera di problemi relativi al sistema costruttivo; se da un lato i singoli componenti procedono nel loro cammino di innovazione e di innalzamento progressivo del livello prestazionale, dall'altro la loro "aggregazione" è spesso affidata a prestatori di mano d'opera che non sono specializzati, che affrontano nel concreto il singolo problema (muratori, carpentieri, serramentisti, tinteggiatori, ...) senza mostrarsi in grado di affrontare nello specifico di progetto e di cantiere il problema della

relazione tra i componenti sulla cui realizzazione e installazione ciascuno può anche aver raggiunto un livello di specializzazione elevato;
_uscire dalla logica del singolo componente specialistico altamente performante, per giungere all'analisi e definizione delle possibilità di far evolvere anche il sistema costruttivo tradizionale a piccoli elementi nel suo complesso; uno degli obiettivi che la ricerca si pone è proprio quello di focalizzare l'attenzione sulle questioni nodali del sistema costruttivo tradizionale, per sperimentare - in particolare su una di queste - in che modo si possa intervenire per giungere alla proposta di certificazione del sistema tradizionale.

2 – L'evoluzione dei componenti: problemi e criticità

2.1 Componenti opachi e trasparenti

L'evoluzione tecnologica delle prestazioni energetiche dell'involucro architettonico è registrabile e percepibile anche attraverso la smaterializzazione delle superfici che lo costituiscono. Gli elementi opachi massivi di chiusura verticale e orizzontale vengono bucati da superfici trasparenti di dimensioni sempre maggiori, che in tempi recenti sostituiscono e costituiscono l'intero elemento di delimitazione architettonica. L'uso sempre più frequente di superfici trasparenti per la realizzazione degli edifici si sviluppa a partire dalla fine del XIX secolo, in corrispondenza della rivoluzione industriale, e comporta lo sviluppo e la ricerca di nuovi materiali capaci di garantire prestazioni energetiche analoghe ai materiali tradizionali con cui per secoli sono stati realizzati gli edifici.

L'involucro si svincola dalla struttura portante dell'edificio e diviene elemento di chiusura chiamato a regolare prevalentemente i flussi energetici legati al passaggio di calore, alla trasmissione della luce per un'adeguata illuminazione degli ambienti interni ed alla protezione della radiazione solare nei mesi con le temperature più elevate. Le soluzioni tecnologiche e la scelta dei materiali si orientano verso quei sistemi tecnologici che riescono a governare tali scambi termici e luminosi, garantendo al contempo i requisiti estetici dettati dai nuovi linguaggi architettonici.

Parte dell'innovazione tecnologica legata alle prestazioni energetiche dell'involucro contemporaneo è dovuta alla realizzazione e adozione di nuovi materiali trasparenti suddivisi per caratteristiche in: passivi, attivi e ad alte prestazioni. I materiali passivi (pannelli prismatici, LCP, profili FISH, profili OKASOLAR, ecc...) sono tutti quelli che, grazie semplicemente alla forma, riescono a modificare la quantità di energia trasmessa (sia ottica che energetica) attraverso l'involucro in funzione dell'inclinazione della radiazione solare. I materiali attivi (vetri cromogenici, vetri elettrocromici, vetri olografici, ecc...) modificano la quantità di energia trasmessa in

funzione di stimoli esterni forniti al sistema, quali corrente impressa, gradiente di temperatura o variazione di energia solare incidente. I materiali ad alte prestazioni (aerogel, TIM), infine, sono quelli in grado di soddisfare, grazie a proprietà intrinseche, la maggior parte dei requisiti di comfort.

In molti edifici contemporanei l'involucro è realizzato con sistemi di facciata che permettono di accumulare l'energia solare incidente e di trasformarla in calore per implementare il fabbisogno energetico invernale dell'edificio, in altri l'involucro diviene un vero e proprio elemento attivo di produzione di energia, grazie all'integrazione di sistemi tecnologici legati alle fonti energetiche rinnovabili (fotovoltaico e solare termico). Le chiusure verticali opache e trasparenti sono sviluppate come componenti tecnologiche complesse capaci di interagire con le condizioni ambientali a contorno, in grado di ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio. Facciate ventilate (opache o a doppia pelle), sistemi di schermatura solare, sistemi solari attivi (collettori solari e celle fotovoltaiche) e sistemi solari passivi (serre solari) diventano elementi ricorrenti nella progettazione dell'involucro architettonico e si trasformano spesso in laboratori di ricerca progettuale rispetto ai quali sperimentare l'innovazione tecnologica, ad esempio nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione di un *green building*.

La ricerca trova sempre più spesso il suo maggiore e più proficuo sviluppo nello studio della stratificazione, che non considera il materiale singolarmente ma lo mette a sistema con altri: la ricerca del materiale più idoneo è sostituita oggi dal tentativo di ricavare guadagno dalla sinergia e dalla reciproca interazione tra i diversi elementi che compongono un involucro.

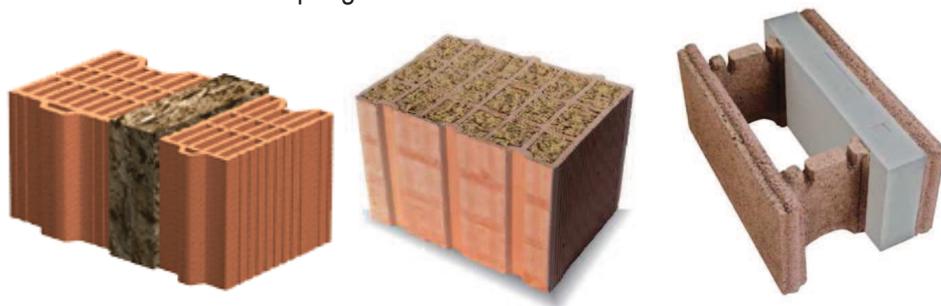


Figura 2.1 Esempi di blocchi innovativi coibentati per stratificazione o riempimento

Le prestazioni dei materiali tradizionali come il laterizio, la pietra naturale o il legno sono riscoperte in ogni luogo e raggiunte in modo completamente nuovo. Anche prodotti edili industriali come il compensato e le fibre di cemento, le lastre di materiali sintetici, i materiali stirati e le lamiere nervate, dopo alcuni discontinui esempi, vengono più ampiamente impiegati. Inoltre, da alcuni settori industriali, arrivano soluzioni che fino ad ora non avevano trovato facile impiego in architettura, se non nelle grandi opere. La più significativa innovazione in atto è di tipo adattivo: trasferire materiali e tecnologie, provenienti da altri settori, nell'edilizia residenziale e ancor più nell'*Housing Sociale*.

Un significativo esempio di tale trasferimento è rappresentato dagli isolanti termoriflettenti multistrato: a fronte di una spesa maggiore rispetto agli isolanti tradizionali, questo materiale offre elevate prestazioni con spessori decisamente ridotti. Nello specifico si tratta di materiali coibenti, normalmente utilizzato nei settori aerospaziali, composto da sottili strati (pellicole metallizzate con griglia di rinforzo, nappe di lana di pecora, schiume e pellicole riflettenti intermedie) che ottengono un efficace isolamento sia invernale che estivo, raggiungendo risultati pari a circa 20cm di isolanti tradizionali.

Nel contesto mediterraneo, l'applicazione di involucri trasparenti porta con sé un notevole problema energetico nella stagione estiva: il rischio di avere elevate temperature interne, dovute all'effetto serra, porterebbe infatti alla quasi totale inapplicabilità di grandi superfici vetrate. Queste, in realtà, sono in grado di apportare notevoli vantaggi di comfort abitativo e buoni risultati in materia di contenimento energetico, se progettate in maniera corretta.

L'applicazione di sistemi altamente performanti (vetri camera o basso emissivi) garantisce buone prestazioni ma ad un costo forse oggi eccessivo, sia economico che tecnologico. Alcune soluzioni innovative rispondono a tali questioni più semplicemente, in fase di progettazione, montaggio, uso e manutenzione, aggiungendosi al sistema di chiusura verticale dell'edificio ed accrescendone le prestazioni, combinandosi con frangisole orizzontali o verticali, oppure grazie all'utilizzo di sistemi trasparenti o traslucidi che presentano strutture indipendenti rispetto alla pelle interna.

Alcuni sistemi innovativi di facciata integrano pale frangisole e lame di vetro che consentono di ottenere i benefici della facciata a doppia pelle nel periodo invernale e dei frangisole orientabili nel periodo estivo, ad un costo di poco superiore ad uno solo dei due sistemi.

Se da un lato sotto la spinta delle norme più attuali si è assistito alla messa a punto di materiali e soluzioni tecniche mirate a contenere sempre di più la trasmittanza e ad evitare i ponti termici, dall'altro i modelli più innovativi di edifici efficienti trovano posto nell'integrazione tra tipologia edilizia, *layout* distributivo, tecnologie per l'involucro ed integrazione con i sistemi impiantistici.

I successivi livelli di integrazione innovativa riguardano la funzionalizzazione delle superfici dell'involucro, che possono essere integrate con moduli solari, fotovoltaici ed altro, nonché l'integrazione passiva o attiva con i sistemi impiantistici che forniscono energia all'edificio.

Nella quasi totalità dei casi si tratta di materiali per i quali la ricerca spinge al massimo livello possibile le prestazioni tradizionali. In alcuni altri casi si assiste addirittura alla riproposizione di materiali che erano stati messi da parte poiché di difficile utilizzo, che ora sono lanciati come innovazioni. Entrando nel merito di alcuni esempi specifici, nel campo degli infissi con telai a taglio termico, ad esempio, si sovrappongono quelli che aggiungono schiume all'interno dei profili; nei sistemi in vetro, invece, il mercato ha ormai assorbito soluzioni che sino a pochi anni addietro avevano costi troppo elevati, quali vetrate isolanti con lastre esterne ad alto fattore solare e lastre interne basso emissive, arricchite con inserimento di gas rarefatti. Riguardo ai sistemi opachi, i materiali che più hanno cercato di sfruttare l'impulso del nuovo quadro normativo sono quelli dotati di maggiore massa, che si sono proposti quali migliorati attraverso l'utilizzo di colle insieme ad altri materiali che sfruttano altri accorgimenti per ridurre i ponti termici.

Soluzioni che in passato erano state superate per via di diversi problemi costruttivi correlati, quali quelle a cappotto, sono oggi riproposte con forza (anche in situazioni che forse potrebbero impiegare soluzioni più complesse). Paiono però apprezzabili gli sforzi compiuti da diverse aziende per rendere più efficace, economico e sicuro l'utilizzo delle facciate ventilate. Mentre risulta decisamente troppo indietro la

ricerca sui materiali a fase variabile, si assiste invece alla diffusione di una nuova generazione di intonaci a grande spessore con inerti isolanti.



Figura 2.2_Intonaco premiscelato isolante



Figura 2.3_Edificio con sistema costruttivo a secco in legno

Un interessante filone di ricerca e progettazione, soprattutto legato agli edifici di piccola dimensione, riguarda i sistemi a secco con strutture in legno e pareti in grado di raggiungere livelli prestazionali di coibenza eccellenti. Tuttavia anche questi sistemi mostrano il limite, non solo dimensionale, legato alla scarsa adattabilità, ai diversi contesti ed alla unidirezionalità dell'efficacia tecnologica. All'interno di questo variegato ambito della tecnologia edilizia è possibile rintracciare alcune linee di evoluzione negli involucri. La quantità di proposte e innovazioni che compaiono di continuo tende a confondere la percezione d'insieme e rende difficile individuare delle tendenze diffuse e soprattutto di qualità. È possibile però individuare un *trend* che si sta affermando: in generale si può osservare come le facciate stiano diventando sempre più multifunzionali, gestendo meglio i flussi energetici, regolando la luce e le condizioni dell'ambiente interno.

Tale tendenza è accompagnata e spinta dalla rapida evoluzione della ricerca sui materiali e i componenti che tendono sempre più ad ampliare le loro funzioni aggiungendo nuove proprietà a quelle più tradizionali, come ad esempio la regolazione del calore, della luce o la trasparenza (si pensi ai calcestruzzi trasparenti additivati con fibre ottiche, oppure agli isolanti e alle barriere al vapore traslucide).

Nell'analisi dei materiali sviluppati e presentati nell'ultimo quinquennio è possibile evidenziare essenzialmente quattro linee di innovazione per gli involucri: adattività, bassa manutenzione, miglioramento qualità ambientale e produzione di energia. La

pelle degli edifici tende a diventare un sistema attivo che modifica le proprie prestazioni, ed eventualmente anche la propria forma, in funzione delle condizioni ambientali esterne. All'interno di questa categoria si possono annoverare sicuramente i casi delle schermature mobili, più o meno complesse. In particolare si osserva la tendenza a rendere i movimenti di tali elementi meno dipendenti da componenti elettrici al fine di garantirne una maggiore durabilità riducendone la manutenzione. Grande importanza stanno assumendo le protezioni in reti o tessuti metallici:

- alcuni flessibili e resistenti anche se impiegati nelle grandi realizzazioni architettoniche;
- altri particolarmente efficienti contro gli agenti atmosferici;
- altri ancora in grado di offrire effetti cromatici e di traslucenza del tutto particolari.



Figure 2.4 e 2.5 *Esempi di reti e tessuti metallici, anche molto resistenti agli agenti atmosferici.*

Oltre agli schermi, si osserva più in generale l'avvento di materiali in grado di modificarsi con le condizioni atmosferiche. I vetri trattati con diossido di vanadio, per esempio, sono in grado di cambiare, passando da trasparenti a riflettenti, in base alla temperatura a cui sono soggetti e diventano quindi dei regolatori passivi della radiazione solare. Un caso analogo è rappresentato dai vetri elettrocromici che possono cambiare colore grazie ad un apposito stimolo elettrico.

La necessità e la spinta a ridurre i costi di gestione di un edificio agisce sulla durabilità degli elementi tecnici che lo compongono e sulla riduzione della loro manutenzione. Accanto a materiali con componenti autopulenti e autoriparanti, si possono annoverare vernici sempre più resistenti anche agli agenti più aggressivi: è questo il caso di allumini preverniciati⁴. Inoltre potrebbero a breve affacciarsi sul

mercato materiali in grado di autoripararsi. In questo ambito la ricerca nel campo dei polimeri e dei metalli sta portando ad una nuova generazione di componenti che, a livello di nanoscala, sono in grado di autoripararsi da fratture superficiali e da piccoli fori che, nel tempo, si possono formare nel materiale. Si tratta di elementi in grado di ricristallizzarsi tornando alla condizione iniziale e che, a breve, probabilmente inizieranno ad avere un'applicazione anche nel settore edile.

Gli organismi edilizi, che per natura costituiscono elementi di conflitto col paesaggio naturale cominciano a mostrare la volontà di contribuire al miglioramento della qualità ambientale del contesto in cui si trovano. Tra le prime realizzazioni si ricordano quegli edifici attenti ad una progettazione bioclimatica ed ecosostenibile volta alla riduzione del fenomeno dell'isola di calore, attraverso semplici accorgimenti quali la diminuzione delle superfici esterne lastricate o pavimentate che producono elevate superficiali e che riflettono la radiazione solare.



Figura 2.6_Esempio di parete verde.

In questa direzione si possono leggere le facciate a verde ma anche l'avvento di nuovi materiali, i cosiddetti *cool materials* che rimangono freddi poiché, grazie alle loro bassissime emissività, non assorbono il calore e riemettono per irraggiamento in ambiente l'energia incidente. Essi sono già oggi presenti sul mercato, essenzialmente sotto forma di vernici, film e membrane.

2.2 Individuazione delle "questioni irrisolte" nelle soluzioni attuali

Ragionando sull'involucro edilizio da realizzare con sistema costruttivo tradizionale, non ci si può esimere dall'affrontare una serie di problematiche tutte tra loro connesse, e tutte fondamentali per dare una corretta risposta a tutti quei problemi che la normativa – e la prassi del costruire – pongono costantemente agli operatori del mondo delle costruzioni.

Nel contesto ambientale mediterraneo/continentale si avvicendano condizioni climatiche e microclimatiche notevolmente variabili sia nell'arco delle stagioni - con condizioni di caldo eccessivo d'estate e di estremo rigore d'inverno -, sia nelle condizioni di irraggiamento solare, con variabilità estreme di soleggiamento e di altezza sull'orizzonte. Per poter intervenire con efficacia in tali condizioni spesso si rende necessario impiegare materiali e componenti che siano in grado di garantire un'adeguata risposta in termini termico-igrometrici, acustici, sismici, ed economici; ad esempio, per garantire una corretta inerzia termica si utilizzano materiali caratterizzati da una elevata massa (laterizio, pietra, calcestruzzo), condizione necessaria per offrire uno sfasamento termico capace di trasporre alla notte l'ingresso di calore assorbito di giorno, durante le ore di intenso soleggiamento. La collocazione degli strati all'interno della chiusura è realizzata tenendo conto anche della destinazione d'uso dei locali ai quali è connessa: in ambiti dove vi è continua permanenza di persone - e si richiede prevalentemente il mantenimento di un valore costante di temperatura - è preferibile posizionare lo strato deputato all'inerzia termica verso l'interno. Ma collocare materiali e componenti in maniera corretta può essere funzionale anche all'orientamento dell'edificio: le chiusure verticali disposte sui fronti a maggiore irraggiamento richiedono, infatti, un valore di inerzia superiore rispetto a quelle esposte ad est o nord, dove l'isolamento termico può costituire, invece, il requisito fondamentale; nel primo caso la massa viene applicata verso l'esterno, mentre nel secondo viene collocata dopo l'isolante termico. Anche il colore e le caratteristiche fisiche dello strato di finitura superficiale (intonaci, rivestimenti) possono intervenire sul controllo del calore da irraggiamento, riflettendo o assorbendo determinate lunghezze d'onda delle radiazioni solari con un conseguente minore o maggiore accumulo di calore. Nell'applicazione di strati

paralleli contigui è importante anche mantenere il controllo della condensazione tra i diversi strati, verificando le interfaccia tra superfici calde e fredde ed inserendo, eventualmente, barriere al vapore o camere d'aria.

Si possono seguire percorsi affini anche in merito ai problemi connessi con l'acustica: l'attenuazione dei rumori aerei esterni è legata alla massa delle pareti perimetrali esterne ed alla struttura dei materiali che le compongono; risulta dunque importante lavorare sulla massa delle pareti, ed eventualmente – pensando a componenti in laterizio – abbinare alla massa anche una struttura alveolare in grado di produrre un ulteriore benefico effetto di smorzamento dell'onda sonora.

Le normative in campo acustico precedentemente individuate richiedono prestazioni fonoisolanti che è possibile soddisfare utilizzando blocchi laterizi di adeguato spessore, sebbene sia necessario tenere conto che una cattiva progettazione o realizzazione della muratura può determinare una qualità acustica scadente della chiusura verticale a prescindere dalle caratteristiche della stessa parete.

In ambito acustico in Italia si possono ritrovare diverse ricerche e sperimentazioni di aziende, con numerose certificazioni a supporto del progettista per pareti di facciata, sebbene la criticità, come evidenziato, risiede nelle criticità che comporta l'accostamento di elementi anche molto performanti tra di loro.

Si è osservato come le prestazioni acustiche di una parete, in termini di potere fonoisolante, indichino la capacità di ridurre la trasmissione dell'energia acustica incidente su di esso: l'elemento investito dalle onde sonore viene posto in vibrazione; tanto maggiore è la resistenza che l'elemento oppone ad essere posto in vibrazione, per la sua massa e/o per i vincoli laterali, tanto minore sarà l'ampiezza della vibrazione e conseguentemente minore l'energia trasmessa. A queste problematiche si coniuga tutta l'accresciuta attenzione che è necessario e d'obbligo mantenere in materia di comportamento antisismico delle strutture; come già evidenziato in conclusione del capitolo precedente, la normativa individua dei parametri e dei valori cui le strutture, e gli elementi che le compongono, devono sottostare. Ciò comporta che, soprattutto nell'ottica della separazione tra elemento portante ed elemento portato, i componenti necessitano di caratteristiche particolari

legate al peso ed alla durabilità, senza trascurare principalmente gli agganci tra i singoli elementi e tra questi e la struttura portante.

L'innovazione normativa ha accompagnato, e continua a farlo in questi anni, l'innovazione apportata dalle singole aziende che si sono organizzate spesso con strutture di ricerca interne in modo tale da sperimentare e testare prodotti innovativi in grado di dare risposte a ciascuno degli aspetti sinora evidenziato.

Ciò che ora risulta però essenziale è individuare le criticità nel sistema costruttivo tradizionale cui è necessario rivolgere le attenzioni della ricerca, e, soprattutto, cui è necessario trovare delle soluzioni tecnologiche adeguate in grado di riportare il sistema costruttivo tradizionale in grado di competere con la prefabbricazione e in grado di offrire prestazioni adeguate in ogni sua parte alle normative, nell'ottica di un percorso nuovo verso la certificazione relativa alla messa in opera del sistema applicato.

2.2.1 Criticità costruttive, economiche e normative

La qualità costruttiva di un involucro edilizio, dal più semplice al più complesso ed innovativo, si lega sempre a tre fattori di base: la buona progettazione, la perfetta costruzione dei singoli componenti e la qualità degli assemblaggi finali, cioè l'assenza di errori o imprecisioni quando si vanno a unire fra loro i vari materiali e componenti. Il rischio già individuato è quello di fermarsi fino a considerare solo i singoli componenti, senza addentrarsi nello studio di dettaglio della qualità della costruzione, quasi bastasse controllare qualche dimensionamento e i valori prestazionali dei singoli elementi per garantirsi solidità, durata, prestazioni termiche ed acustiche. In realtà la prassi costruttiva e tutta la nuova procedura legata alla certificazione energetica degli edifici ci riferiscono che non è così: gli accostamenti tra componenti portati in cantiere da ditte ed operai diversi non sono sempre corretti, gli accoppiamenti di materiali a prestazioni elevate sono labili e discontinui, gli allineamenti imprecisi; bastano così poche ore di lavoro per mettere a dura

prova un insieme di componenti che, ciascuno per suo conto, in laboratorio, fornivano buone prestazioni sotto differenti prospettive.

Il problema dell'interfaccia tra differenti materiali e componenti è l'oggetto principe di questa ricerca, che si inserisce in un più ampio progetto che già da qualche anno indaga sul sistema dell'involucro edilizio.

Le aziende produttrici di sistemi prefabbricati si sono negli anni interrogate sulla soluzione dei ponti termici ed acustici giungendo a proporre sistemi certificati nel loro complesso, tenendo spesso in considerazione anche il comportamento alle azioni sismiche: questo ha permesso loro di uscire da un mercato di nicchia legato a tradizioni costruttive localistiche, permettendo di candidarsi a valide alternative sul mercato delle costruzioni sull'intero territorio nazionale.

Non si è assistito, almeno non con la stessa diffusione, a comportamenti analoghi delle aziende produttrici di materiali e componenti per i sistemi costruttivi tradizionali, che hanno piuttosto spinto la ricerca verso l'evoluzione del proprio singolo materiale o componente: oggi, a ben guardare e come si avrà modo di dimostrare in seguito, l'evoluzione del singolo componente è al passo coi tempi, prende spunto da campi di applicazione anche legati alle nanotecnologie, giunge ad essere persino certificata.

Ma l'edificio, e nello specifico l'involucro edilizio, risulta tutt'ora molto più un insieme aggregato di elementi piuttosto che un vero e proprio "sistema": non è perciò ancora in grado di offrire prestazioni specifiche, e certificabili, in ogni sua parte, coinvolgendo sia il singolo materiale e componente che l'insieme di tutto quanto contribuisca alla corretta progettazione ad al buon funzionamento dell'involucro.

La sfida che bisogna raccogliere per rispondere alla problematica nel suo complesso passa attraverso tre tipologie di criticità che chi si avvicina alla materia si trova a dover affrontare:

_criticità costruttive: come già evidenziato, il problema di assemblare differenti materiali e componenti è nella prassi costruttiva affidato a manovalanza non specializzata e non formata sul senso più globale del proprio agire; inoltre i problemi emersi dalla lettura dei riferimenti normativi energetici, acustici e sismici portano a ragionare su una serie di componenti in grado di poter dialogare tra loro,

cosa che al momento spesso non solo non avviene, ma si mostra quasi come un ostacolo alla corretta progettazione e realizzazione dei sistemi di involucro;

_criticità economiche: assistendo spesso ad una giustapposizione di strati, i costi tendono a sommarsi, non favorendo una buona predisposizione del committente; il vantaggio dei sistemi prefabbricati spesso risiede anche nella capacità di contenere i costi di progettazione ed esecuzione, offrendo ai committenti quasi un costo "chiavi in mano" del prodotto edilizio certificato; la sfida da raccogliere deve indirizzare la ricerca in tale direzione: il sistema costruttivo tradizionale ha in sé tante potenzialità e ottime soluzioni di materiali e componenti innovativi ad altissime prestazioni, che bisogna integrare per far sì che l'intero sistema torni ad essere appetibile anche dal punto di vista economico; il costo da sostenere, parlando dei singoli componenti giustapposti, è ancora troppo elevato se paragonato alla continuità delle prestazioni che l'involucro costruito col sistema tradizionale è in grado di offrire; come correttamente affermava Pier Luigi Nervi, "la progettazione si può definire come l'invenzione e lo studio dei mezzi necessari a raggiungere un determinato scopo con la massima convenienza";

_criticità normative: una mole talmente imponente ed in continua evoluzione di norme non è detto che sia lo strumento giusto per il raggiungimento dell'obiettivo che si vuole raggiungere, ovvero la messa in campo di nuove e corrette sinergie tra componenti certificati per giungere alla sperimentazione di un involucro edilizio nel sistema costruttivo tradizionale; bisogna davvero, per dare delle risposte concrete ai temi in oggetto, procedere con la ricerca anche oltre le norme, prendendole come sfondo dell'azione di ricerca stessa, sfruttandone le definizioni e gli argomenti trattati per poi procedere, soprattutto con la sperimentazione sul campo al fine di avere dati tangibili dei risultati che un sistema pensato ed applicato in tale maniera è in grado di produrre; tutto questo deve spingere invece, sfruttando la normativa, al raggiungimento dell'obiettivo della certificazione per il sistema tradizionale nel suo insieme, attraverso abachi di materiali e componenti innovativi messi a sistema all'interno di soluzioni tecniche conformi in cui vengono applicati nell'insieme.

2.2.2 Nuovi prodotti, nuove metodologie, ritrovate fortune e declino di alcuni componenti o materiali.

L' "arte di arrangiarsi" che spesso si ritrova nei cantieri non deve necessariamente essere vista come qualcosa di negativo; da sempre sottolinea anche una serie di virtù, che si possono ricondurre a capacità innovativa e creativa; queste, associate al mondo del costruire, vogliono dire attenzione al dettaglio nel momento in cui si presenta, ricerca della soluzione ad un problema che si verifica nella realizzazione di cantiere. Il problema piuttosto risiede nel non rendersi conto della necessità di mettere a sistema questi problemi per giungere alla determinazione di soluzioni che possano divenire conformi, modelli di riferimento per problemi affini, se non proprio uguali, che in un cantiere, ed in "n" cantieri, hanno la tendenza a riproporsi.

Non di rado in cantiere, negli ultimi anni, i progettisti più accorti e coscienti, insieme alle imprese ed agli artigiani più consapevoli del loro mestiere, hanno cercato soluzioni innovative, magari non normate o codificate, a problemi della quotidianità del costruire.

Alla luce di anni di "interventi sperimentali", qualche piccola azienda si è avventurata in proprie ricerche al fine di essere competitiva sul mondo del mercato, alla ricerca di una nicchia di azione che viene ora sostenuta da un quadro normativo che non tralascia più quasi nessun aspetto.

Come evidenziato anche nel paragrafo 2.1, negli ultimi anni nuovi prodotti si sono affacciati sul mercato ed altri hanno vissuto un ritrovato periodo di fortuna applicativa; grazie anche a committenti di rilievo, a promotori lungimiranti e a ingenti risorse finanziarie di privati che hanno investito in progetti specifici, alcuni progettisti noti sono riusciti a sperimentare soluzioni innovative di alto profilo, ricorrendo a complessi sistemi di soluzioni di involucro, mantenendosi però nell'ambito del sistema costruttivo tradizionale "ad umido"; questo sforzo ha fatto da volano nei confronti di altre aziende o studi professionali, che si sono spinti a considerare nuove possibilità di applicazione per le tecnologie tradizionali.

I materiali avanzati impiegati in ambito edilizio derivano spesso da processi di trasferimento tecnologico da altri settori industriali caratterizzati da forti spinte all'innovazione (tipicamente aeronautico, automobilistico e biomedico), in cui la

ricerca nel campo di materiali con prestazioni sempre più elevate costituisce una condizione imprescindibile per la realizzazione di prodotti e sistemi sempre più efficienti. Poiché generalmente in edilizia le innovazioni vengono assorbite in tempi più lunghi che in altri settori, sia dal punto di vista della produzione industriale che del progetto di architettura, affinché tali materiali siano acquisiti nella comune prassi costruttiva sono necessari processi di adattamento e di verifica delle prestazioni in condizioni d'uso, che, uniti alle difficoltà tecnico operative legate all'impiego dei materiali avanzati e all'assenza di normative specifiche, tendono a ritardarne la diffusione.

Tali materiali sono generalmente caratterizzati da proprietà ottimizzate rispetto ai comuni materiali da costruzione in relazione allo specifico impiego previsto, possono essere in grado di fornire prestazioni variabili, selezionabili e controllabili, di modificare le proprie caratteristiche fisico-chimiche in relazione agli stimoli ricevuti, fino ad introdurre nuove proprietà e prestazioni non raggiungibili né considerate in precedenza.

Poiché la principale differenza rispetto ai materiali tradizionali risiede nelle capacità prestazionali e non solo in una particolare o inedita conformazione fisico-chimica, anche materiali tradizionali "innovati" nelle loro prestazioni (si pensi ai calcestruzzi ad alte prestazioni) sono da considerarsi "avanzati" a tutti gli effetti. Allo stesso modo particolari processi produttivi e di sintesi possono identificare alcune classi di materiali avanzati (si pensi ai materiali nanostrutturati, risultanti dall'accoppiamento a scala nanometrica di due o più materiali).

Al pari di tali materiali e componenti, alcuni stanno vivendo una ritrovata fortuna, come si può vedere per la tecnologia dell'isolamento a cappotto, diffusamente utilizzata per dare risposte in termini di energetica; o anche il pvc come materiale non solo per la realizzazione dei sistemi di infisso, ma anche per sistemi di rivestimento delle facciate, uscendo dal concetto della prefabbricazione di massa degli anni '70, ove esso fu utilizzato a larga scala e strettamente correlato all'edilizia popolare o economica.

Altri materiali hanno invece progressivamente vissuto un lieve declino applicativo, come ad esempio l'alluminio, che oggi viene impiegato per infissi altamente

performanti ma sono in accoppiamento ad altri materiali (legno, pvc) a differenza di quanto precedentemente avvenuto (infissi in alluminio a taglio termico).

Anche alcune scelte tecnologiche stanno subendo una fase di declino, si veda ad esempio i sistemi oscuranti ad avvolgibile interno, che per una serie di problemi connessi, vengono spesso accantonati per lasciare spazio ad alternative meno problematiche per la composizione dell'involucro edilizio.

Avere a disposizione una molteplicità di soluzioni tecnologiche ha permesso così di esplorare differenti pacchetti di involucro dove la stratificazione combinata di materiali innovativi ad alte prestazioni ha dato i suoi risultati.

L'avvento di nuovi prodotti e nuove metodologie di approccio alla tematica della costruzione dell'involucro edilizio nei sistemi costruttivi tradizionali ha visto anche alcuni materiali e componenti ritrovare in questi ultimi anni nuovi scenari di applicazione, come ad esempio il laterizio, sebbene alveolato, additivato, combinato con materiali isolanti giustapposti al blocco, interposti tra strati dello stesso materiale, a cavità riempite o trattate. Ma questo ancora non è sufficiente: quello che la presente ricerca vuole invece dimostrare è una tendenza che da qui discende ma deve andare oltre: l'innovazione del singolo materiale o componente è un dato di fatto, funziona, è sperimentata e sperimentabile, giunge alla certificazione ma non basta; la ricerca indaga il tema dell'interfaccia volendo definirne le questioni nodali, sviscerandone i problemi alla luce delle normative vigenti, per giungere alla proposta di soluzioni di sistema che siano in grado di dare risposte coerenti e complete nel suo insieme.

2.3 Definire e colmare i vuoti applicativi: metodologia di indagine.

Per arrivare a definire una corretta progettazione di un involucro edilizio oggi sono richieste più che mai adeguate conoscenze ed una metodologia di approccio rigorosa e innovativa, che permetta di affrontare con competenza tutte le criticità che l'interfaccia tra l'ambiente interno ed un determinato contesto ambientale e territoriale pone; l'obiettivo che questo lavoro di ricerca vuole portare avanti è quello

di costruire un quadro attendibile delle problematiche che emergono nell'approccio alla tematica progettuale dell'involucro edilizio tradizionale in relazione anche al complesso quadro normativo in cui si inserisce l'azione progettuale. In merito a ciò, ed in riferimento anche ad altre recenti ricerche compiute nello stesso settore, è emersa la necessità di avvalersi di un metodo di indagine rigoroso e che punta all'applicabilità diretta, oltre che in grado di condurre all'acquisizione di una approfondita conoscenza delle caratteristiche delle criticità di interfaccia tra materiali e componenti che, nei sistemi costruttivi tradizionali, vengono impiegati nella prassi corrente per la realizzazione di involucri edilizi.

L'approccio deve contemplare una continua sperimentazione diretta, una scientifica e precisa verifica dei risultati ottenuti, che vanno poi costantemente rianalizzati e rimessi in discussione al fine di dare il via ad una nuova sperimentazione; questo infatti specifica ulteriormente il senso di una ricerca scientifica che non può e non deve essere statica, bensì verificarsi e mettersi continuamente in discussione; importante, oltre alla ricerca scientifica di base, è procedere di pari passo anche con ricerche applicate, in modo da avere costanti riscontri applicativi delle metodologie di indagine sperimentate, dei risultati ottenuti e dei nuovi obiettivi che da questi possono scaturire per far procedere la ricerca.

Parte seconda

Componenti per l'involucro

La metodologia di indagine individuata fornisce informazioni anche sul livello di applicabilità della ricerca. La validità di quanto successivamente descritto e approfondito risiede nell'individuazione di un percorso di ricerca ben preciso e delimitato: l'impegno a delineare un percorso di ricerca con precisi obiettivi e risultati attesi ha permesso da un lato l'individuazione di una metodologia coerente con il percorso svolto e dall'altro ha affinato il problema scientifico e l'obiettivo stesso della ricerca.

È possibile ritrovare questo sforzo in diversi aspetti caratteristici del presente studio:

nell'approccio impostato per lo studio dell'evoluzione dei componenti per l'involucro edilizio; l'argomento non poteva prescindere da una vasta analisi dello stato dell'arte, dei riferimenti normativi, della prassi costruttiva, per poi giungere alla definizione delle criticità; importante l'individuazione dei vuoti applicativi da definire e colmare;

nella metodologia di indagine esposta; l'obiettivo principale di indagine trova il suo compimento in questo metodo applicativo, da cui estrapolare - leggendo anche attraverso le tendenze in atto - un modo di approcciare la materia che possa essere utilizzato anche per altre classi di elementi tecnici;

durante il processo di progettazione, la presenza di componenti differenti tra loro induce alla valutazione e all'analisi di elementi costruttivi che devono essere posti in relazione tra loro; il fine è infatti la realizzazione di un sistema per l'involucro in cui tutti i componenti si integrano tra loro, definendo un sistema complesso e certificabile. Questa composizione complessa non deve solamente offrire le corrette prestazioni ma lasciar entrare in gioco anche aspetti diversi: il livello di applicabilità della presente ricerca è fornito da un lato dalla metodologia di approccio indicata ai punti precedenti, dall'altro dagli spunti di riflessioni puramente tecnologici scaturiti dallo studio di uno nodo nel dettaglio applicativo;

infine, per quanto riguarda i contenuti specifici, è stato individuato uno strumento metodologico di approccio valutativo alla soluzione delle criticità di interfaccia tra i componenti di un involucro realizzato col sistema tradizionale. Tra gli altri, l'obiettivo è quello di fornire effettive indicazioni applicative: si è, infatti, tentato di trovare un equilibrio tra considerazioni di innovazione e applicazione sul campo, al fine di

Intervenire sulla comune prassi progettuale e sul mercato per consentire effettivamente di applicare le potenzialità dei componenti per l'involucro tradizionale nel progetto, sfruttandone appieno e consapevolmente tutte le caratteristiche prestazionali.

3 – Individuazione dei parametri per la valutazione delle prestazioni in funzione delle caratteristiche dei componenti di involucro.

La valutazione delle prestazioni dell'involucro è divenuta essenziale, agli occhi della nuova normativa, per giungere alla certificazione degli edifici.

In conseguenza, infatti, della sensibilizzazione ai temi del risparmio energetico, dell'uso efficiente delle risorse, della lotta all'inquinamento, del contenimento dei rumori, della sicurezza degli edifici, si è osservato come la tendenza normativa nell'Unione Europea sia quella di disporre prescrizioni sempre più stringenti sulle caratteristiche degli edifici: questo, insieme agli altri motori dell'innovazione messi in luce, potrebbe dare nuovo impulso alle attenzioni da prestare per la realizzazione di involucri efficienti sotto diversificati aspetti, incoraggiando una progettazione consapevole delle caratteristiche del luogo in cui opera, ed il più possibile aperta a considerare tutti i fattori che possano portare notevoli ricadute sul benessere degli occupanti finali, così come definiti anche nella normativa di indirizzo.¹

Il tema è di importanza tale da non rendere più accettabile demandare la risoluzione dei problemi di comfort termico-igrometrico ed acustico, a espedienti impiantistici o risolutivi applicati a posteriori, cioè soltanto dopo che l'ambiente costruito abbia cominciato ad essere vissuto e le deficienze della progettazione si siano manifestate sugli abitanti. Stessa rilevanza hanno i problemi legati alla sismica, che, come già evidenziato nei capitoli precedenti, sono stati spesso sottovalutati, e sono invece oggi oggetto di grandissima attenzione e di interessanti sviluppi dal punto di vista della ricerca della corretta disposizione della componentistica coinvolta. Al contrario: il progetto in tutti i suoi aspetti deve tenere

¹ Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia, art. 8

conto del contesto ambientale e deve adottare tutti gli accorgimenti utili a dialogare con esso, da un lato valorizzandone gli influssi vantaggiosi, dall'altro limitandone gli impatti negativi.

Dovrebbe dunque essere accordata priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare il rendimento (non solo termico) degli edifici, ragionando su binari paralleli che prendano in considerazione le singole problematiche emerse dall'analisi delle normative di riferimento, per giungere a metterle a sistema sia tra loro che con le buone prassi della progettazione. Concretamente, occorrerebbe sviluppare maggiormente le conoscenze relative al comportamento dei singoli componenti - tradizionali, innovativi, di ritrovata applicazione tecnologica - per essere sempre più consapevoli delle loro prestazioni all'interno del "sistema" involucro che si sta cercando di delineare ed approfondire.

Alla luce di queste note si può osservare che le normative prese in esame – aspetti termici, acustici e sismici – puntano molto all'individuazione di requisiti molto restrittivi nei tre ambiti, sebbene il quadro normativo non comunichi con sufficiente chiarezza in che modo il progetto possa sempre essere frutto dell'interazione tra le numerose prescrizioni.

Un esempio chiarificatore: è indubbio che l'eliminazione dei ponti termici sia divenuto un problema essenziale che la normativa pone; ed è altrettanto evidente come la normativa sia molto rigida nei confronti della sicurezza rispetto alle risposte alle azioni dei sismi che gli edifici devono garantire. Ciò porta però ad una discrepanza: se uno sporto – balcone, loggia, terrazzo – deve avere una specifica continuità strutturale con il resto del fabbricato, come si potrà agire per l'interruzione del ponte termico?

Una risposta banale potrebbe portare ad individuare nel rivestimento a cappotto continuato la soluzione; ciò però – senza voler per questo denigrare soluzioni di tipo simile – limita molto l'azione compositiva e progettuale che come architetti siamo chiamati a portare avanti nel nostro lavoro.

Non è ammissibile che questa semplificazione venga eletta a standard interpretativo e risolutivo di problemi affini, senza indurre invece una riflessione sull'appropriatezza del metodo di azione; allo stesso tempo si riscontra una tendenza a semplificare perché forse la semplificazione comporta una gestione più

rapida dei problemi, che però è possibile solo quando garantisce anche il mantenimento di una visione completa. Si osserva invece l'abitudine di concentrarsi soltanto sulla facilità di azione e di più facile gestione, a discapito di altri aspetti ugualmente importanti, ma inquadrabili e controllabili al prezzo di un maggiore sforzo progettuale e tecnologico.

Dalle considerazioni fatte sinora emerge che ogni parametro (energetico, acustico, sismico) produce effetti capaci di modificare gli altri; di conseguenza, per avere una panoramica integrale, è necessario analizzarli congiuntamente.

A supporto della fase di analisi e valutazione dei parametri messi in campo, si ritiene utile un accenno a concetti di fisica tecnica, anche per un maggiore riscontro della validità scientifica delle ipotesi successivamente formulate.

Dalla lettura incrociata di questi parametri emerge una serie di valutazioni delle prestazioni che ha lo scopo di valutare la *performance* dei componenti a seconda delle proprie caratteristiche materiche e di installazione; tale strumento si risolve in un giudizio sulla prestazione del componente, valutato rispetto alle prestazioni attese, e rispetto ad una serie di variabili che di seguito vengono evidenziate.

Un primo quadro d'analisi sarà relativo al clima, poiché la questione energetica, come la stessa normativa evidenzia, è una delle criticità più ostiche da affrontare nell'ottica di portare alla certificazione il sistema costruttivo tradizionale: a partire da tali riflessioni si svilupperanno dei ragionamenti in merito al comportamento in regime invernale ed in regime estivo.

Altre due discriminanti interessanti nel percorso di analisi e di ricerca sono relative alla distribuzione interne dei vani: la localizzazione e l'orientamento di un edificio, con la distribuzione di zona giorno e zona notte, sono fattori da considerare con attenzione per una progettazione in cui i componenti possano essere pensati in relazione all'esposizione solare estiva ed invernale.

È possibile valorizzare la scelta dei componenti di involucro in rapporto al contesto ambientale specifico e, in particolare, alle variabili solari locali; a questo proposito si può utilizzare uno schema di riferimento (tab. 3.1) che semplifica l'esposizione consigliata e l'individuazione delle destinazioni d'uso dei singoli ambienti interni.

Ambiente	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Camera da letto	X	X	X	X	X	X		
Soggiorno				X	X	X		
Pranzo			X	X	X	X	X	
Cucina			X	X	X	X		
Ripostiglio	X	X						X
Garage	X	X						X
Veranda				X	X	X	X	

Tabella 3.1 *Indicazioni di carattere generale utili per un'analisi delle migliori esposizioni per gli ambienti aventi determinate destinazioni d'uso.*

Alcune procedure di calcolo del fabbisogno, in relazione all'esposizione, si basano sulla suddivisione dell'edificio in zone climatiche distinte: sostanzialmente zone più calde e più fredde; attraverso l'orientamento del fabbricato in direzione est-ovest, si favorisce lo sfruttamento passivo dell'energia solare, senza l'utilizzo di sistemi meccanici di trasformazione dell'energia radiante solare, ad esempio attraverso l'impiego di serre solari: ciò vuol dire utilizzare componenti trasparenti per lasciar entrare la radiazione solare durante l'inverno, e poi schermature per escluderla durante l'estate.

Ecco perché la prassi costruttiva vuole che le parti a sud siano in grado di sfruttare e controllare la radiazione solare mentre il lato nord, che costituisce un elemento di dispersione termica, presenti livelli prestazionali di isolamento termico più elevati. Le finestre ad ovest possono essere protette con schermature verticali, per impedire in estate l'ingresso di radiazioni solari nelle ore più calde.

Nelle due stagioni di maggiore crisi prese a parametro per le prestazioni dei componenti di involucro, l'inverno e l'estate, la normativa considera solo ed esclusivamente i carichi di picco dell'irraggiamento solare nella condizione più estrema e sfavorevole (limita infatti la verifica del comportamento termo-igrometrico ai due solstizi d'estate e d'inverno, 21 dicembre e il 21 giugno). È chiaro che questa semplificazione rischia di non riferire comportamenti veritieri

Non andranno certamente trascurati, come si è cercato di spiegare nei capitoli precedenti, gli altri parametri relativi al confort acustico ed alla sicurezza in ambito sismico: tali parametri verranno analizzati a prescindere dalle condizioni climatiche esterne di riferimento.

Inverno

La normativa energetica è molto chiara sulle prestazioni che l'involucro deve essere in grado di avere, e mantenere, in regime invernale: le norme Uni 11300 parte 1 e parte 2, emanate nel 2008, riportano tutti i valori necessari per calcolare le prestazioni in regime invernale, a partire dal calcolo del fabbisogno di energia primaria che va a determinarne l'efficienza. Nello specifico, l'efficienza dell'involucro è data dalla capacità di reagire in maniera flessibile alla variabilità delle condizioni ambientali, minimizzando le dispersioni termiche nel periodo invernale e limitando l'innalzamento della temperatura in quello estivo, con il conseguente miglioramento del confort abitativo e della qualità ambientale, ottenuti senza l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili.

«Se intendiamo l'involucro come "pelle" dell'edificio che protegge l'interno dagli agenti atmosferici ma che allo stesso tempo ne sfrutta in modo funzionale la potenza, allora possiamo pensare alla creazione di uno spazio protetto controllabile. In questo caso le condizioni ambientali esterne diventano una risorsa e non una forza contro cui lottare, mentre l'involucro una "pelle reattiva" che migliora il benessere interno ed evoca molte possibilità di cambiamento.»²

In questa lettura stanno le valutazioni che questa ricerca si pone l'obiettivo di compiere, cercando di analizzare i parametri, ed i componenti, in funzione della loro capacità di garantire confort interno attraverso una corretta prestazione dell'involucro edilizio.

² T. Herzog, Atlante delle facciate, UTET, Torino, 2005

Estate

Si valuteranno le prestazioni che i componenti dono in grado di offrire in relazione alla stagione estiva; troppo spesso la normativa stessa tende a prestare la massima attenzione – come appena evidenziato – al comportamento dell'involucro in regime invernale.

Gli ingegneri Kontoleon e Bikas in un loro studio³ pubblicano i risultati di una ricerca comparativa tra materiali pesanti e leggeri, allo scopo di determinare le migliori soluzioni progettuali per creare un ambiente confortevole, caratterizzato da piccole oscillazioni di temperatura attorno ai valori ottimali e con minore necessità di usare sistemi artificiali per la climatizzazione, soprattutto in periodo estivo e in clima caldo. Due categorie di materiali - isolanti e laterizi - sono messe a confronto: variandone unicamente lo spessore d si esaminano gli effetti prodotti sui principali parametri termici di una parete. La trasmittanza varia in maniera pressoché lineare in funzione di d ; diversa è la relazione tra spessore e inerzia termica: al crescere dello spessore lo smorzamento tende velocemente ad un valore minimo asintotico, mentre lo sfasamento cresce con andamento leggermente esponenziale. Chiaramente, anche se l'andamento è il medesimo, le prestazioni di un materiale pesante come il laterizio sono numericamente molto maggiori di quelle di un puro isolante. La determinazione dei fattori di inerzia termica - e la conseguente applicazione dei materiali più appropriati - è questione nevralgica quando si progettano ambienti passivi in regioni climatiche caratterizzate da problemi estivi di surriscaldamento degli edifici.

³ Kontoleon K.J., Bikas D.K., Thermal mass vs. thermal response factors: determining optimal geometrical properties and envelope assemblies of building materials, intervento alla Conferenza Internazionale "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", Maggio 2005, Santorini, Grecia; entrambi gli ingegneri sono membri del "Laboratory of Building Construction & Physics", Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Thessaloniki, Grecia.

Zona giorno

Un ulteriore approfondimento sarà relativo ai componenti per chiusure verticali relative ad ambienti che fanno da frontiera a zone distributive relative ad attività che si svolgono principalmente nelle ore diurne; un'analisi di tale parametro aiuterà a comprendere se serva minore o maggiore sfasamento dell'onda termica, oppure se e come oscurare gli infissi; o anche, quale valore di isolamento acustico dover rispettare. Interessante sarà la combinazione tra questi parametri e quelli puramente energetici legati al clima ed alle stagioni.

Zona notte

I ragionamenti relativi agli ambienti destinati ad attività notturne, e quindi connesse al riposo, saranno molto importanti sia in chiave di prestazioni termiche che acustiche. Non bisognerà tralasciare la combinazione che emerge per far sì che vengano rispettate contemporaneamente tutte le norme vigenti.

Alla fine di ogni paragrafo successivo verrà proposta una lettura sintetica del parametro analizzato, con una tabella esplicativa che riassume il parametro stesso in relazione a queste quattro chiavi di lettura appena proposte.

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Parametro				

Tabella 3.2 Esempio di lettura sintetica ragionata:

	molto importante, da tenere in forte considerazione
	può essere rilevante
	non è essenziale per la valutazione della prestazione

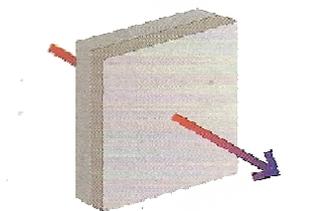
3.1 Parametri termici

L'isolamento termico degli edifici, come in precedenza affermato, rappresenta una delle principali strategie a disposizione dei progettisti per ridurre in modo significativo le perdite energetiche dell'edificio. L'isolamento termico permette infatti di ridurre il flusso di calore dall'interno verso l'esterno o verso gli ambienti non riscaldati durante il periodo freddo, e quindi di limitare il dispendio energetico per mantenere la temperatura di confort interno.

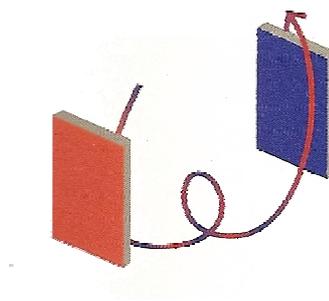
Il compito fondamentale dell'isolamento termico è quello di ostacolare e quindi rallentare il flusso di calore attraverso gli elementi disperdenti dell'involucro edilizio (pareti, infissi, solaio a terra, copertura); in presenza di ambienti a differente temperatura, l'energia termica tende a fluire dalla situazione a temperatura più elevata a quella a temperatura più elevata a quella a temperatura inferiore fino a quando non si raggiunga l'equilibrio termico.

Il trasferimento di calore può avvenire secondo tre diverse modalità:

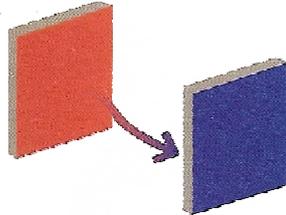
_conduzione: trasferimento di calore per contatto diretto tra le molecole dei corpi più caldi e quelle dei corpi più freddi;



_convezione: trasferimento di calore fra due corpi che si può avere solo in presenza di un movimento delle molecole di un liquido o di un gas fra essi interposto (come ad esempio l'aria);



_irraggiamento: trasferimento di calore attraverso onde elettromagnetiche irradiate da un corpo caldo verso uno più freddo (questa modalità può verificarsi nel vuoto).



Trasmittanza termica effettiva

L'analisi rigorosa del fenomeno del flusso termico si basa su basi teoriche molto complesse, e quindi per rendere più agevole lo sviluppo dei calcoli si ipotizzano le seguenti condizioni:

- _regime stazionario (flusso di calore costante nel tempo)
- _parete piana di estensione infinita
- _materiale componente perfettamente omogeneo ed isotropo
- _le due facce esterne della parete sono considerate come superfici isoterme

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:

$U = 1/R_T$, dove $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$, con:

R_{si} = resistenza superficiale interna;

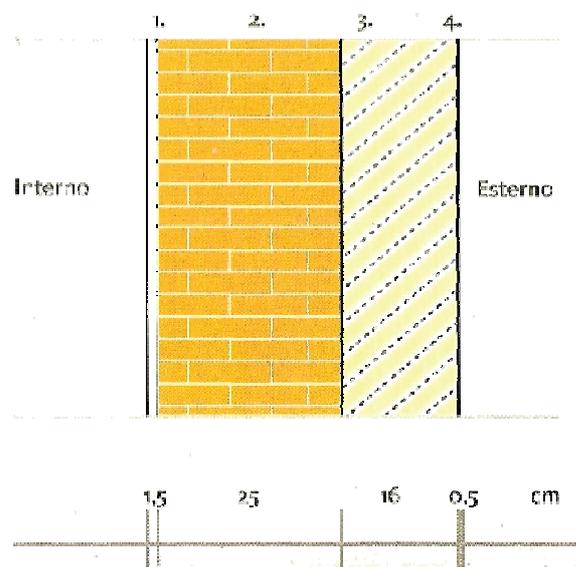
$R_1; R_2; \dots; R_n$ = resistenze termiche utili di ciascuno strato;

R_{se} = resistenza superficiale esterna.

La resistenza termica di una parete (resistenza alla conduzione) dipende dal materiale e dallo spessore: se lo spessore di una parete viene raddoppiato, anche

la resistenza alla conduzione raddoppia. In passato, lo spessore dei muri era dunque il principale per aumentare questa resistenza; lo sviluppo di materiali isolanti permette di migliorare più efficacemente la resistenza alla conduzione in spessore di parete. I materiali isolanti apparsi alla fine del secolo scorso sotto forma di materiali di origine vegetale, sono spesso costituiti da fibre minerali o polimeri (polistirene o poliuretano). La resistenza alla trasmissione di calore di una parete si misura attraverso un coefficiente di resistenza termica R , espresso in $\text{m}^2\text{°C}/\text{W}$, e si calcola come $R = d / \lambda$, con d = spessore dello strato di materiale nel componente; λ = conduttività termica utile calcolata secondo ISO/DIS 10456.2 oppure ricavata da valori tabulati. La conducibilità o conduttività termica λ (in $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$) permette di valutare la qualità intrinseca del materiale: può essere considerata come un flusso di calore in watt che attraversa 1m^2 di materiale con spessore di 1m , in presenza di una differenza di temperatura di 1°C tra le due facce del materiale in regime stazionario. Per il calcolo della trasmittanza dei componenti edilizi finestrati si fa riferimento alla Norma UNI EN ISO 10077-1.

Di seguito un esempio di calcolo della trasmittanza termica U per una parete esterna non ventilata.



Osserviamo la stratigrafia:

1. intonaco interno in calce cm 1,5 ($\lambda = 0,8 \text{ W}/\text{mK}$)
2. muratura in blocchi di laterizio forato porizzato cm 25 ($\lambda = 0,25 \text{ W}/\text{mK}$)
3. isolamento in pannelli di polistirene espanso (EPS) cm 16 ($\lambda = 0,0,4 \text{ W}/\text{mK}$)
4. intonaco per cappotto cm 0,5 ($\lambda = 0,9 \text{ W}/\text{mK}$)

Si calcolano quindi le resistenze:

$$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}; R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W};$$

e di conseguenza $R_T = R_{si} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + \dots + R_{se}$, ovvero

$$R_T = 0,13 + 0,015/0,8 + 0,25/0,25 + 0,16/0,04 + 0,005/0,09 + 0,04 = 5,19 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Per cui $U = 1/R_T$, ovvero $U = 0,19 \text{ m}^2\text{K}$.

Inverno

Nella valutazione della prestazione dell'involucro durante la stagione invernale questo parametro è molto significativo; esso infatti, come mostrato, risulta essenziale per bloccare il flusso di calore dall'interno all'esterno delle unità ambientali.

Estate

In regime estivo di questo parametro è essenziale cogliere principalmente il legame con il fattore di conducibilità termica: si avrà modo durante la trattazione di verniciare l'interazione dei parametri nelle diverse condizioni climatiche.

Zona giorno

Il valore di U per una frontiera della zona giorno non è propriamente rilevante: si avrà modo di ragionare successivamente su ulteriori caratteristiche necessarie per l'involucro che confina ambienti a principale uso diurno.

Zona notte

Il calcolo della trasmittanza termica per una frontiera della zona notte è significativo perché capace di evidenziare la necessità, in particolari condizioni climatiche e di esposizione (si veda a tal proposito anche la schematizzazione proposta in tabella 3.1), di essere rappresentato da un valore basso: ciò potrebbe consentire di avere porzioni di involucro che, racchiudendo ambienti a principale uso notturno, necessitano di essere fortemente coibentati.

Riassumendo:

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Trasmittanza effettiva				

Trasmittanza periodica

Il calcolo della dispersione del calore degli elementi d'involucro edilizio viene condotto, normalmente, considerando un regime termico stazionario. Si ipotizza, cioè, che la differenza tra le temperature, all'esterno e all'interno dell'edificio, sia costante nel tempo. L'ipotesi è accettabile se si sta affrontando un'analisi per il calcolo delle prestazioni nella stagione invernale.

In realtà durante l'arco della giornata la temperatura esterna e quella interna variano secondo determinate leggi che normalmente si possono approssimare a sinusoidi.

Per valutazioni durante la stagione estiva questa variazione assume una portata molto più significativa e pertanto, per un'analisi corretta, sono necessarie valutazioni dinamiche. Nella valutazione in regime dinamico entrano in gioco diversi parametri che nel regime termico stazionario sono completamente trascurati.

Ad esempio, si attribuisce alla sola caratteristica della resistenza termica il controllo del passaggio del calore trascurando la capacità termica dell'involucro esterno dovuta alla diversa disposizione dei materiali o al rapporto massa/conducibilità.

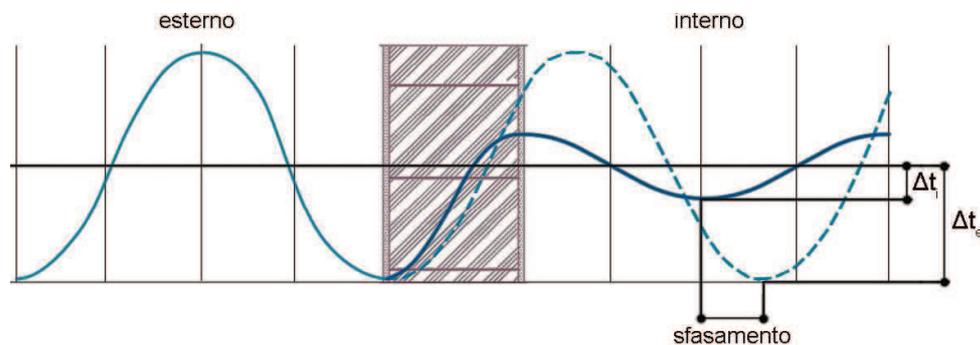


Figura 3.1_Grafico che riassume sfasamento e attenuazione dell'onda termica.

Pertanto, per descrivere il comportamento in regime termico dinamico di un elemento d'involucro, la trasmittanza termica periodica, pari al prodotto del fattore di attenuazione f_a [-] (riferito a una sollecitazione armonica nell'arco di 24 ore) per la trasmittanza termica stazionaria U [W/m^2k], risulta il parametro più corretto e rappresentativo. Si definisce la trasmittanza termica periodica (YIE) il parametro che valuta la capacità di un elemento opaco di sfasare ed attenuare il flusso

termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore; la norma tecnica di riferimento, la UNI EN ISO 13786:2008, descrive come calcolare, sulla base delle caratteristiche termo-fisiche dei materiali (conducibilità termica, spessore, calore specifico e densità) e dalla stratigrafia della struttura, la trasmittanza termica periodica e gli altri parametri termici dinamici: fattore di attenuazione (f_a) e coefficiente di sfasamento temporale (φ).

Inverno

In regime invernale questo parametro non è essenziale da approfondire rispetto al parametro precedentemente illustrato, proprio perché per le frontiere in regime invernale è essenziale la coibenza, non lo sfasamento.

Estate

Nella valutazione della prestazione dell'involucro durante la stagione estiva questo parametro è molto importante: esso infatti, come appena descritto, risulta essenziale per garantire confort all'interno delle unità ambientali, essendo lo sfasamento una caratteristica in grado di valutare il tempo in cui il calore passa dall'intradosso all'estradosso di un elemento di chiusura.

Zona giorno

Questo parametro risulta di importante rilievo soprattutto per chiusure relative alla zona giorno: proprio qui infatti si rivela molto significativo lo sfasamento dovuto al fattore di attenuazione: quando φ ha un valore di circa 8/9 ore, una parete, anche esposta a sud, lascia passare il calore dopo un ragionevole tempo, quando l'irraggiamento sarà ormai ridotto; si potrà combinare tale prestazione con la ventilazione naturale.

Zona notte

È interessante valutare lo sfasamento nei locali notturni soprattutto in quelle zone climatiche esposte a estati calde e umide, con poca escursione termica tra il giorno e la notte.

Riassumendo:

	inverno	estate	zona giorno	zona notte
Trasmittanza periodica				

Massa e capacità termica

La capacità termica è da riferire a quei materiali in grado di immagazzinare il calore. Per massa termica si intendono quindi tutti quei materiali in grado di accumulare calore. La massa termica accumula il calore variando la propria temperatura.

La massa termica può quindi accumulare il calore proveniente da un ambiente caldo interno oppure accumulare la radiazione solare attraverso la trasformazione diretta in calore.

Più c'è massa termica è più il calore può essere accumulato per ogni grado di aumento della temperatura. Nelle case solari passive sono comunemente usati materiali quali cemento, mattoni, piastrelle, pietre, tutti materiali con elevata massa termica. Anche l'acqua ha una buona massa termica.

La "capacità termica" è una proprietà caratteristica di alcuni materiali che descrive l'attitudine di un sistema omogeneo a trattenere il calore all'interno della propria struttura senza cederlo immediatamente all'ambiente circostante.⁴

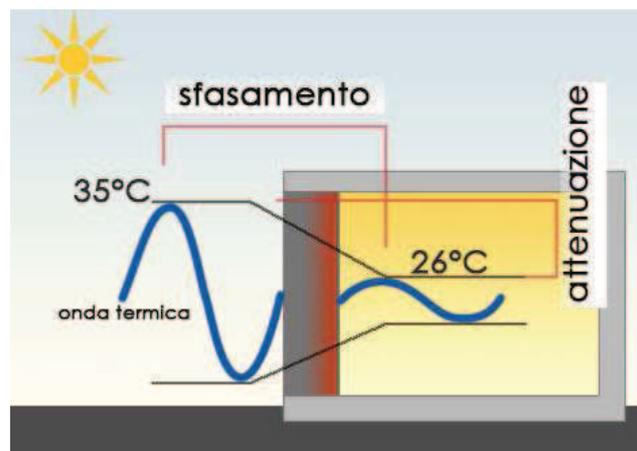


Figura 3.2. L'importanza della massa per aiutare la capacità termica dei componenti.

⁴ Francese D., Architettura Bioclimatica, UTET, Torino, 1996

Inverno

In regime invernale questo parametro non è essenziale da approfondire perché in questo caso è importante la coibenza termica legata alla presenza di materiali isolanti.

Estate

Nella valutazione della prestazione dell'involucro durante la stagione estiva tenere in considerazione la massa e la capacità termica risulta fondamentale soprattutto nei climi caldi, dove per garantire confort all'interno delle unità ambientali è necessario sfruttare la massa delle chiusure per evitare – in combinazione con lo studio dello sfasamento e l'attenuazione – il passaggio immediato del calore dall'esterno all'interno delle unità ambientali.

Zona giorno

Questo parametro risulta di importante rilievo soprattutto per chiusure relative alla zona giorno: proprio qui infatti si rivela molto significativa la massa che l'involucro riesce ad avere, opponendosi al passaggio immediato del calore dall'esterno verso l'interno delle unità ambientali; tale prestazione va combinata con i valori di sfasamento che la chiusura verticale è in grado di offrire.

Zona notte

È interessante compiere corretti ragionamenti sulla massa e sulla capacità termica delle chiusure per i locali notturni soprattutto in quelle zone climatiche esposte a estati calde e umide, con poca escursione termica tra il giorno e la notte.

Riassumendo:

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Massa e capacità termica				

Effetto serra

Una superficie vetrata a contatto con la radiazione solare diretta, crea un innalzamento della temperatura all'interno, comportandosi come una trappola di calore. La spiegazione di questo fenomeno sta nell'andamento della curva del coefficiente di trasmissione del vetro, che somiglia ad una U rovesciata. Il vetro, con gli spessori che ha nella pratica, trasmette il 90% della radiazione nel campo visibile e risulta praticamente opaco (non trasparente) alla radiazione nella regione infrarossa dello spettro elettromagnetico (circa $\lambda > 3\mu\text{m}$). Poiché, a temperatura ambiente, tutta la radiazione emessa dalle superfici cade nella regione infrarossa, si verifica che il vetro permette alla radiazione solare di entrare e impedisce alla radiazione infrarossa di uscire, causando quindi, un aumento della temperatura interna legato all'aumento di energia contenuta accumulata all'interno dell'ambiente. Questo fenomeno di riscaldamento, dovuto alle caratteristiche del vetro (o di plastiche trasparenti), è noto come effetto serra, perché viene sfruttato soprattutto nelle serre.

L'effetto serra è definito perciò come la capacità del vetro di trattenere calore.

I principi fondamentali su cui si basano le strategie passive per il riscaldamento solare sono sostanzialmente legati all'utilizzo dell'irraggiamento solare, all'accumulo e all'immagazzinamento del calore e alla sua distribuzione. L'irraggiamento solare può essere sfruttato, in genere, in due modi diversi: attraverso l'accumulo diretto di calore o attraverso quello indiretto. L'impiego di superfici vetrate esposte all'irraggiamento solare è un fattore chiave per lo sfruttamento della radiazione termica solare. Per quanto riguarda le tecniche di accumulo passivo, le tecnologie che offrono le maggiori potenzialità dal punto di vista prestazionale e di adattabilità relativamente all'integrazione architettonica, sono quelle relative all'introduzione di serre solari. Le serre e le strutture di forma analoga per spazi vetriati chiusi, componenti formali del fabbricato, nell'ambito degli edifici a uso residenziale, contribuiscono all'illuminazione naturale e possono concorrere al risparmio energetico.



Figure 3.3 e 3.4 *Esempio di serre solari a Palma de Mallorca: lungo le vie del centro storico molte delle aperture principali esposte a est e sud sono dotate di questi sistemi.*

Queste, pertanto, si configurano come elementi importanti per una progettazione coerente con i criteri della sostenibilità. Nonostante ciò, risulta ancora assente una disciplina omogenea di livello nazionale. I Regolamenti edilizi comunali, infatti, considerano le serre solari come volumi tecnici, escludendole come tali dal computo della superficie o del volume. In quanto volumi tecnici, la loro realizzazione è solitamente possibile in ogni parte del territorio comunale, nel rispetto delle norme dei PSC. Le serre si configurano come locali nuovi non riscaldati o comunque locali in cui non vi è presenza continuativa di persone e con orientamento principale rivolto a sud. La struttura di chiusura delle serre deve essere completamente trasparente, fatto salvo l'ingombro della struttura di supporto; inoltre deve essere apribile ed ombreggiabile per evitare il surriscaldamento estivo.

Inverno

Interessante in regime invernale la creazione ed utilizzo di spazi aggiuntivi per l'involucro, ottenuti mediante superfici trasparenti: l'andamento della temperatura in questi spazi è differenziato e dipende dalle condizioni esterne. L'effetto serra può

portare sia guadagno diretto che guadagno indiretto, ed il comportamento tipico nelle ore diurne dei periodi invernali è legato alla radiazione solare: questa penetra attraverso la superficie trasparente ed incide in parte sul pavimento di questa, in parte sulla chiusura ed in parte giunge direttamente all'interno dell'unità ambientale. Il pavimento e la parete fungono da superfici di accumulo, la radiazione che giunge all'interno costituisce la porzione di guadagno diretto. Nelle ore notturne o di scarsa insolazione, la serra può comunque fungere da fonte di guadagno termico quando la temperatura della serra risulti intermedia tra quella interna e quella esterna.

Estate

In estate, specialmente nei climi caldi, questo parametro è rischioso da applicare, anzi, va detto, andrebbe del tutto evitato. L'unico accorgimento tecnologico può essere relativo all'applicazione di sistemi di doppia pelle vetro-vetro in grado di sfruttare l'effetto camino ed incanalare, per convezione, l'aria calda dell'intercapedine verso l'alto.

Zona giorno

Questo parametro è essenzialmente legato alle zone giorno, dando la possibilità di creare spazi di filtro distributivo oltre che termico.

Zona notte

L'analisi dell'effetto serra potrebbe suscitare curiosità anche relativamente ad ambienti della zona notte: può infatti divenire un parametro in grado di valorizzare involucri leggeri in climi non eccessivamente caldi, ma in grado comunque di consentire un minimo di accumulo termico giornaliero.

Riassumendo:



3.2 Parametri acustici

Fra le prestazioni che l'involucro edilizio deve garantire, c'è quella del controllo delle condizioni di benessere acustico, all'interno delle unità ambientali rispetto ai rumori provenienti dall'esterno. Si devono considerare le sorgenti di rumore che possono essere percepite all'interno degli edifici, il tipo di rumore prodotto e le modalità di propagazione all'interno dell'edificio (propagazione aerea o strutturale). Le modalità di riduzione del rumore in un ambiente abitato si sintetizzano nell'uso di materiali isolanti ed assorbenti per la riduzione del rumore aereo e di materiali anticallpestivo ed antivibranti per lo smorzamento di rumori impattivi e di vibrazioni strutturali.

Le prestazioni acustiche dell'involucro sono valutate da alcune grandezze fondamentali: il rotore fonoisolante R, legato all'isolamento acustico, ed il livello di assorbimento acustico.

Isolamento acustico

Nel campo dell'isolamento acustico in edilizia vale la legge di massa:

$$t = \frac{1,75 \cdot 10^4}{M^2 f^2}$$

la quale esprime che il coefficiente di trasmissione di potenza sonora aumenta al diminuire della massa della parete per unità di area e della frequenza del suono; questa espressione è valida per pareti omogenee, le quali separino ambienti pieni d'aria, per frequenze non troppo superiori ai 3000 Hz e per onde con incidenza normale.

Si introduce poi il concetto di potere fonoisolante:

$$R = 10 \log \left(\frac{1}{t} \right) \quad \text{ovvero } R = 20 \log (Mf) - 42,4$$

A questo punto si deve però sottolineare che le formule appena citate hanno valore solo in prima approssimazione (e comunque spesso sono sostituite da altre simili,

di tipo sperimentale) e che il fenomeno dell'isolamento acustico di una parete reale è decisamente più complesso. Si prova di seguito a darne una descrizione.

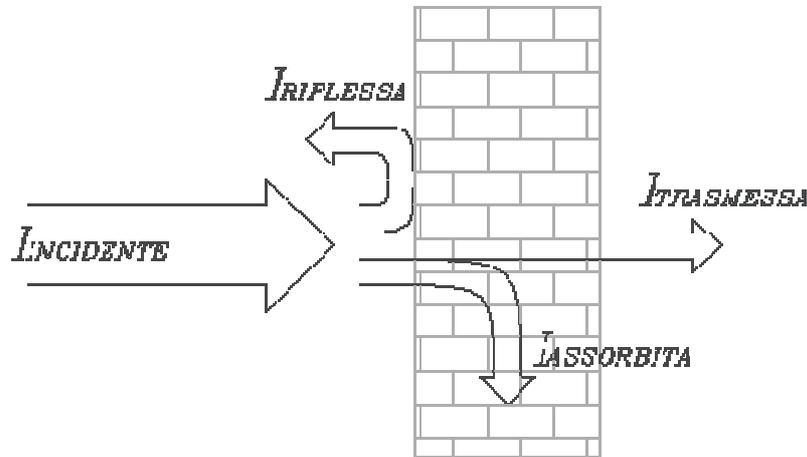


Figura 3.5_Schema di trasmissione dell'onda sonora.

Il suono, emesso dalla sorgente esterna, si propaga nell'aria sino ad incontrare l'involucro che, entrando in vibrazione, invia parte dell'energia sonora verso il ricevitore interno. La struttura di separazione si comporta, quindi, come un elemento passivo e le sue caratteristiche possono condizionare la trasmissione, la riflessione e l'assorbimento dell'energia sonora. La prestazione acustica dell'involucro è, quindi, legata al potere fonoisolante R degli elementi di facciata (pareti, finestre, cassonetti) ed all'isolamento acustico normalizzato D_n dei "piccoli" elementi di facciata (elementi avente superficie inferiore ad 1 m^2 , come le prese d'aria). Per facciata, secondo la definizione della norma UNI EN ISO 12354-3, si intende "la totalità della superficie esterna di un ambiente" comprese, quindi, le chiusure esterne orizzontali. In un primo intervallo di basse frequenze delle onde sonore incidenti, il potere fonoisolante di un materiale tendenzialmente cresce, ma con ampie oscillazioni dovute alla risonanza del materiale stesso. In un secondo intervallo di medie frequenze si ha una crescita in accordo con la legge di massa. In un ultimo intervallo di elevate frequenze si ha, all'inizio, una ulteriore crescita, seguita subito da un brusco calo, detto effetto di coincidenza: le componenti tangenziali delle onde sonore incidenti arrivano a coincidere con le frequenze di risonanza flessionale, così che sulla faccia di uscita dello stesso si hanno non solo le onde sonore che sono riuscite a passare, ma anche quelle provocate dalle

vibrazioni in risonanza. Questo ragionamento permette di calcolare (ma solo in prima approssimazione, in mancanza di dati sperimentali più affidabili) il potere fonoisolante di un certo materiale:

_si calcola R con la formula sperimentale $R = 18 \log (Mf) - 44$, fermandosi a una frequenza tale per cui il valore di R ne raggiunge uno ben definito per ogni tipo di materiale;

_si mantiene R costante a tale valore per un intervallo di frequenze (medie) dipendente dal materiale;

_si aumenta R di 6 dB per ogni ottava in un terzo intervallo di alte frequenze.

Inverno

Questo parametro non subisce grosse variazioni in relazione alla prestazione in regime invernale. Capita spesso però di prendere in considerazione componenti e materiali che abbinino ad un buon potere fonoisolante un potere coibente; in tal caso, sarà interessante valutare la combinazione dei due nell'ottica di un comportamento ottimale in clima invernale.

Estate

Questo parametro non subisce grosse variazioni in relazione alla prestazione in regime estivo. Va però tenuto in considerazione quando accanto ai parametri prestazionali acustici si studino quelli termici ed energetici: in tal caso è interessante valutare l'abbinamento di componenti e materiali fonoisolanti a strutture che, soprattutto in climi caldi, basino il loro comportamento energetico sulla massa.

Zona giorno

Questo parametro è importante per la zona giorno soprattutto nell'ottica di filtro dei rumori provenienti dall'esterno se la chiusura verticale si affaccia su una strada trafficata o su situazioni di particolari fonti di inquinamento acustico (aeroporti, grandi stazioni portuali, strade rumorose ed autostrade, ferrovie, imprese produttive rumorose, pubblici esercizi con impianti rumorosi, discoteche, impianti sportivi e ricreativi,...). Non va però tralasciato anche l'aspetto complementare: valutare

situazioni per cui l'inquinamento provenga dall'interno verso l'esterno (altre unità ambientali prospicienti).

Zona notte

L'analisi dell'isolamento acustico è essenziale per le chiusure delle zone adibite ad uso prevalentemente notturno. Il benessere acustico è essenziale per gli ambienti interni della zona notte: esistono all'interno delle unità ambientali dei rumori cui si rischia di non dare la corretta importanza, sebbene questi possano provocare stanchezza uditiva e inconsapevole irritazione.

Per ovviare a questi problemi è necessario intervenire prendendo in forte considerazione il potere fonoisolante che la chiusura verticale – ed i suoi componenti – devono possedere.

Riassumendo:

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Isolamento acustico				

Assorbimento acustico

Il fonoassorbimento, cioè la capacità di un materiale di assorbire l'energia sonora, assume diversi meccanismi, coinvolgendo alcune caratteristiche importanti dal punto di vista acustico.

Innanzitutto la porosità: l'aria racchiusa, messa in vibrazione dall'onda sonora, ne dissipa in calore l'energia; in generale pori paralleli alla direzione di flusso implicano minore assorbimento.

Resistenza al flusso: $R = \frac{\Delta p}{du}$, ovvero il rapporto tra la perdita di pressione

che subisce l'aria per attraversare il materiale e il prodotto tra lo spessore del materiale e la velocità di attraversamento valutata per la sezione apparente di deflusso.

Trasparenza acustica: indica la capacità del materiale di assorbire l'aria in vibrazione; quanto più facilmente essa penetra e quanto più è elevata la resistenza al flusso, tanto più l'assorbimento è elevato.

Un materiale fonoassorbente dovrebbe avere contemporaneamente elevata trasparenza acustica (e quindi bassa resistenza al flusso) e buona dissipazione dell'energia penetrata (e quindi alta resistenza al flusso): proprietà quindi contrastanti. Si deve quindi realizzare il migliore compromesso possibile.

La fonoassorbenza aumenta all'aumentare della frequenza dell'onda sonora incidente. Un elemento acustico, posto a una distanza dal supporto rigido pari a 1/4 di lunghezza d'onda, produce un risultato pari a un elemento di spessore pari al precedente più la spaziatura.

Un elemento che sia, oltre che poroso, anche flessibile aumenta la dissipazione di energia sonora in quanto la sua superficie viene messa in vibrazione.

Un elemento impermeabile, per poter essere fonoassorbente, deve essere flessibile e smorzato; particolarmente efficace risulta per frequenze che lo mettano in risonanza, che di solito sono basse frequenze: ecco allora dimostrata la sua complementarità a elementi porosi, per i quali l'assorbimento migliore è alle alte frequenze.

Esistono differenti tipi di assorbitori; un pannello acustico è tipicamente formato da una superficie ad elevata trasparenza acustica e da un riempitivo con porosità disposte in direzione diversa da quella del flusso (quindi elevata resistenza al flusso): in questo modo l'onda sonora penetra con facilità e quindi viene dissipata all'interno. Un risonatore acustico è invece una cavità dotata di una certa frequenza di risonanza, comunicante con l'ambiente per mezzo di uno stretto collo dove, in condizioni appunto di risonanza, si ha un'elevata dissipazione di energia. È efficace per basse frequenze. Si ricordano infine gli assorbitori sospesi, pannelli o solidi appesi al soffitto.

Un ambiente sottoposto a trattamenti per migliorarne l'assorbimento acustico vede una diminuzione del livello sonoro pari a (in dB):

$$\Delta L = 10 \log \frac{A_2}{A_1} = 10 \log \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

dove A indica l'assorbimento, τ il tempo di riverberazione e i pedici 1 e 2 lo stato iniziale e finale. Si sottolinea che difficilmente si arrivano a 10 dB di miglioramento, e comunque questo vale solo per il campo riflesso e non per quello diretto.

In un ambiente chiuso, quando un'onda acustica colpisce una superficie perimetrale, una parte dell'energia sonora è assorbita e una parte riflessa.

L'energia riflessa rimane in gioco per un determinato periodo di tempo a causa delle successive molteplici riflessioni che vengono a realizzarsi.

Il parametro di valutazione di questo fenomeno è il tempo di riverberazione che risulta inversamente proporzionale alle unità di assorbimento dell'ambiente e viene calcolato in via teorica con la formula: $T_r = 0,16V/A$, dove:

T_r è il tempo di riverberazione in secondi

A è l'unità di assorbimento = $\sum S \cdot \alpha$, dove S = superfici perimetrali e α = coefficiente di assorbimento; V è invece il volume dell'ambiente.

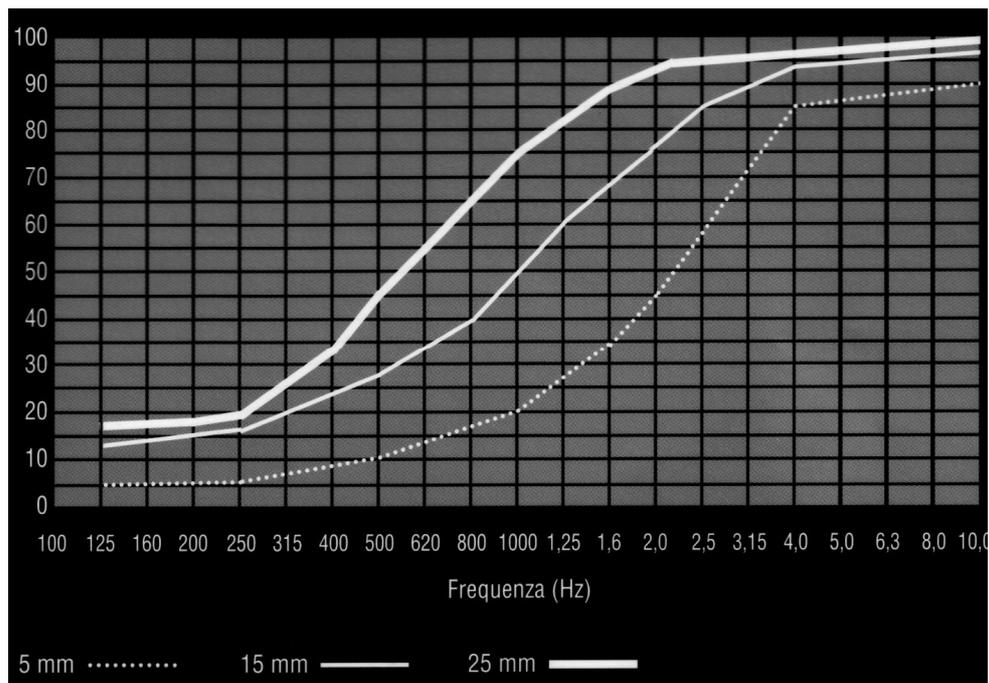


Figura 3.6_Coefficiente di assorbimento acustico ($S \cdot \alpha$): grafico.

Un tempo di riverberazione eccessivo interferisce con l'intelligibilità del segnale originale, che può diventare incomprensibile in quanto le onde sonore riverberate, e quindi ritardate, si sovrappongono a quelle della sorgente.

In ambienti come sale convegni, teatri, ristoranti, ambienti industriali ecc., dove la rumorosità ambientale deve essere bassa e/o la nitidezza del segnale sonoro devono essere elevate si utilizzano trattamenti fonoassorbenti delle pareti e/o del soffitto, come intonaci con speciali proprietà. In questo modo si riesce a condizionare tali fenomeni e ad ottenere un livello sonoro inferiore rispetto a quello che si determinerebbe nel caso in cui le pareti fossero completamente riflettenti. La risposta acustica degli intonaci fonoassorbenti è funzione del loro spessore.

Inverno

Questo parametro non subisce grosse variazioni in relazione alla prestazione in regime invernale. Capita spesso però di prendere in considerazione componenti e materiali che abbinino ad un buon potere fonoassorbente un potere coibente; in tal caso, sarà interessante valutare la combinazione dei due nell'ottica di un comportamento ottimale in clima invernale.

Estate

Questo parametro non subisce grosse variazioni in relazione alla prestazione in regime estivo. Va però tenuto in considerazione quando oltre ai parametri prestazionali acustici si studino quelli termici ed energetici: in tal caso è interessante valutare l'abbinamento di componenti e materiali fonoassorbenti a strutture che, soprattutto in climi caldi, basino il loro comportamento energetico sulla massa.

Zona giorno

È importante tenere presente la valutazione di questo parametro per la zona giorno soprattutto nell'ottica di filtrare i rumori provenienti dall'interno verso l'esterno. Interessante soprattutto per chiusure che si affacciano su aree protette o sensibili, come scuole, ospedali, case di riposo o di cura.

Zona notte

L'analisi dell'assorbimento acustico è molto importante per le zone notte soprattutto in relazione a chiusure prospicienti su aree protette o sensibili, come scuole, ospedali, case di riposo o di cura.

Riassumendo:

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Assorbimento acustico				

3.3 Parametri sismici

Nella realizzazione di un involucro edilizio, ed alla luce dei recenti fatti e delle recenti normative emanate, le prestazioni che l'involucro edilizio deve garantire in termini di antisismica sono molto importanti e per nulla trascurabili.

Di questa materia si occupa nello specifico l'ingegneria sismica, che in termini molto semplificati tratta la comprensione di come le onde sismiche si propaghino attraverso il terreno e come vengano trasmesse alla struttura.

Va sottolineato che principalmente i caratteri di antisismicità vengono demandati alle strutture portanti sia in fondazione che in elevazione verticale ed orizzontale, tenuto conto che la finalità ingegneristica è quella poi di realizzare una soluzione costruttiva economica, che possa proteggere la costruzione dalla più probabile tipologia di sollecitazioni sismiche che prevedibilmente agiranno sulla struttura consentendo, nella migliore delle ipotesi, che l'opera rimanga indenne o che subisca danneggiamenti lievi, facilmente ripristinabili in seguito ad una serie di riparazioni.

Tradizionalmente, nel caso di sollecitazioni sismiche di elevata intensità (terremoti con magnitudo almeno superiore a 5), l'obiettivo è quello di consentire la fuga del più ampio numero di persone, sacrificando l'indennità strutturale. In questo caso la struttura resistente dell'edificio potrà - e dovrà - anche deformarsi in maniera considerevole uscendo ampiamente dal campo elastico: l'opera potrà anche essere soggetta a crolli parziali, ma dovrà, comunque, sempre essere progettata per evitare, o almeno ritardare, il collasso totale, in modo da consentire la fuga di chi vi abita. Questo tipo di compromesso veniva accettato poiché, con le tecniche antisismiche convenzionali, realizzare un edificio capace di resistere senza danni a terremoti violenti risulta quasi impossibile, oltre che economicamente insostenibile. Si tratta di dosare il livello di sicurezza appropriato, in funzione della destinazione d'uso e del grado di pericolo prevedibile mediante metodi probabilistici.

Dopo aver ipotizzato un modello teorico su cui basare la progettazione, possono essere utilizzati vari metodi per minimizzare i danni, tra cui:

_adozione di nuclei di irrigidimento come setti, vani ascensore, vani scale, che tendono ad assorbire le azioni orizzontali, a patto che siano opportunamente collegati al resto della struttura (le masse strutturali vanno distribuite con particolare accortezza ed, in fase di progettazione, occorre provvedere ad attente verifiche);

_adozione del criterio della gerarchia delle resistenze: si studia la struttura in modo che le cerniere plastiche si formino nelle travi prima che nei pilastri (pilastro forte - trave debole) in modo tale che il meccanismo di collasso venga attivato dopo la formazione di moltissime cerniere plastiche;

_progettazione accurata dei nodi strutturali, cioè delle unioni fra travi e pilastri con adeguate staffature;

_adozione di smorzatori sismici: dispositivi realizzati con materiali di "sacrificio" che vengono posti in posizioni soggette ad elevate deformazioni, ad esempio nei giunti strutturali, attenuando i movimenti ed eventualmente arrivando a rottura, pur di preservare l'integrità strutturale; possono essere successivamente sostituiti.

Negli ultimi decenni del XX secolo, e soprattutto dopo il terremoto di Kobe del 1995, l'ingegneria sismica ha visto affermarsi sempre più rapidamente una nuova strategia contro i terremoti mediante le tecniche dell'isolamento sismico.

Anziché concepire una struttura vincolata rigidamente al suolo che "resista", pur subendo seri danni, alle azioni trasmesse dal terremoto senza crollare (tecniche antisismiche convenzionali), la nuova strategia consiste nel progettare la struttura svincolata dalle vibrazioni del terreno analogamente a quanto si fa nel campo dell'ingegneria meccanica con le tecniche di isolamento delle vibrazioni dei motori.

Tale isolamento avviene mediante idonei apparecchi chiamati appunto isolatori sismici, generalmente realizzati in neoprene armato, che vengono frapposti tra le fondazioni e la sovrastruttura e che risolvono "in radice" il problema sismico. Essi consentono di ridurre notevolmente il trasferimento delle sollecitazioni dalle fondazioni alla sovrastruttura. Grazie ad essi, la fondazione (solidale al terreno) rimane libera di muoversi e vibrare, mentre la sovrastruttura si appoggia verticalmente alla fondazione, ma scivola orizzontalmente su di essa, non prendendo parte alla temibile vibrazione in orizzontale.

La superiorità antisismica delle strutture isolate rispetto a quelle a base fissa è motivata dal diverso periodo fondamentale di oscillazione: con questa tecnica o

strategia si disaccoppia il moto del terreno dal moto dell'edificio (che tende a rimanere fermo); la protezione sismica così concepita è totale in quanto si riducono notevolmente le forze orizzontali di natura dinamica trasmesse dal terremoto all'edificio, il quale non subisce alcun danno perché la sua struttura resistente rimane sempre nel campo elastico.

Oltre alle tecniche antisismiche convenzionali e a quelle basate sull'isolamento sismico (controllo passivo) sono in fase di ricerca le tecniche basate sul controllo attivo e semi-attivo (si parla in questi casi anche di strutture intelligenti). Semplificando molto, esse consistono nel monitorare con dei sensori, in tempo reale, la struttura durante il sisma e quindi intervenire, sempre in tempo reale, con delle forze attive finalizzate, o a modificare le caratteristiche di rigidezza della struttura (rendendola più flessibile), o a contrastare le forze d'inerzia indotte dal sisma. Si tratta di tecniche analoghe a quelle che nell'ingegneria meccanica hanno portato ai sistemi di controllo attivo della sicurezza delle automobili: ABS, ASR, ESP, così pure come i sistemi di controllo ampiamente utilizzati anche nell'ingegneria aerospaziale.

Per quanto riguarda l'analisi dei componenti dell'involucro edilizio, va sottolineata la distinzione tra elementi portanti e portati; si cercheranno di tenere presenti quei parametri in grado di poter essere riferiti ad entrambe le casistiche.

Sicurezza

Le recenti normative per le costruzioni in zona sismica introducono nuovi impegni per i proprietari, pubblici o privati, sia di edifici esistenti - la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di Protezione Civile (es. ospedali, municipi, caserme, ecc.) e/o di edifici che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso (es. scuole, teatri, musei, biblioteche, chiese, ecc.) – che per nuovi edifici, anche con funzioni strategiche. È

fatto obbligo di procedere alla valutazione di sicurezza sismica ai sensi dell'art. 3 dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.3.2003⁵.

Per "valutazione di sicurezza sismica" o "valutazione di vulnerabilità sismica" di un edificio si intende un procedimento quantitativo volto a stabilire se questo (realizzato in fase di progetto) sia in grado o meno di resistere alla combinazione sismica di progetto. Ogni edificio è un caso a sé: le norme forniscono gli elementi per la valutazione dei singoli edifici ed i risultati non sono estendibili a edifici diversi pur appartenenti alla stessa tipologia. Interventi di adeguamento sismico possono essere effettuati qualora ne sia verificata la necessità, a seguito di verifiche tecniche.

Le fonti da considerare per l'acquisizione dei dati necessari ai fini della valutazione di sicurezza sono: i documenti di progetto, il rilievo strutturale e le prove in situ e/o in laboratorio. La quantità e la qualità dei dati acquisiti determina il metodo di analisi e i valori dei fattori di confidenza (FC) da applicare alle proprietà dei materiali.

Le resistenze medie ottenute dalle prove in situ vanno divise per i fattori di confidenza, per definire la resistenza dei materiali da utilizzare nelle formule di capacità degli elementi strutturali.

Ai fini della scelta del tipo di analisi, ma soprattutto dei valori dei fattori di confidenza, vengono definiti dalla vigente normativa i tre livelli di conoscenza: LC1 (conoscenza limitata), LC2 (conoscenza adeguata) e LC3 (conoscenza accurata). Le resistenze medie ottenute dalle prove in situ restano invariate nel caso di conoscenza accurata (FC=1,00 per LC3), ma vengono sensibilmente ridotte nei casi di conoscenza adeguata (FC=1,20 per LC2) e di conoscenza limitata (FC=1,35 per LC1).

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono la geometria, i dettagli costruttivi e le proprietà dei materiali. Un livello di conoscenza si intende raggiunto quando i tre aspetti vengono analizzati e definiti ad un livello pari o superiore.

⁵ "L'ordinanza è nata dalla necessità di dare una risposta rapida e integrata alle esigenze poste dal rischio sismico, una risposta che non poteva ulteriormente essere ritardata, visto il ripetersi di eventi sismici calamitosi che hanno interessato anche zone non classificate sismiche" (Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale, Nota del 4 giugno 2003).

Oggi è possibile costruire nuovi edifici antisismici ed intervenire su quelli esistenti con interventi per renderli sicuri durante un terremoto attraverso nuove tecnologie antisismiche in grado di accrescere notevolmente la sicurezza.

A partire dall'inizio degli anni '90 l'ENEA⁶ ha effettuato dettagliati studi per lo sviluppo e l'ottimizzazione di isolatori in gomma, dissipatori d'energia ed altri dispositivi e tecnologie antisismici, che sono ora usualmente installati in numero sempre crescente di edifici. L'isolamento sismico consiste nell'interporre, fra la base di un edificio ed il terreno, dispositivi in grado di ridurre drasticamente le forze sismiche agenti sulla struttura. Si crea in questo modo una disconnessione fra la struttura ed il terreno. In caso di sisma, la struttura trasla indeformata e lentamente sugli isolatori sismici, senza subire alcun danno né causare panico. Questo concetto era già noto fino dall'antichità: i Greci, ad esempio, solevano interporre strati di sabbia o di altri materiali sotto i loro templi. Solo a partire dagli anni '60 si sono però resi disponibili materiali e dispositivi completamente adatti allo scopo. Oggi gli isolatori più diffusi sono formati da strati di gomma alternati a piastre d'acciaio. Più recentemente, in Italia nell'ambito della ricostruzione in Abruzzo, sono stati utilizzati anche isolatori a scorrimento con superficie curva, i cosiddetti isolatori "a pendolo scorrevole". Un esempio di intervento di isolamento sismico alla base è stato applicato nella costruzione della scuola Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia (figura 3.7).

La dissipazione di energia consiste nell'inserire all'interno della struttura particolari dispositivi in grado di dissipare l'energia immessa dal terremoto. I dissipatori riducono le deformazioni della struttura in misura assai minore degli isolatori, perché è proprio grazie a queste deformazioni che funzionano. Per dissipare

⁶ ENEA: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile. Secondo quanto stabilito dall'articolo 37 della Legge n. 99 del 23 luglio 2009, l'Agenzia ENEA è finalizzata "alla ricerca e all'innovazione tecnologica nonché alla prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, con particolare riguardo al settore nucleare, e dello sviluppo economico sostenibile". L'ENEA svolge attività di ricerca e attività di Agenzia, a supporto della PA, delle imprese, dei cittadini. (fonte: www.enea.it)

energia si sfruttano fenomeni fisici quali la deformazione plastica di metalli, la trafilazione di fluidi viscosi e l'attrito.



Figura 3.7 Scuola Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia – Esempio di applicazione di isolamento sismico alla base, come si vede nella immagine sovrapposta



Foto 3.8 A sinistra, scuola Domiziano Viola a Potenza, e a destra, scuola Gentile Fermi di Fabriano: esempi di applicazione della dissipazione d'energia (dissipatori elastoplastici nel primo caso, viscoelastici nel secondo)

Inverno - Estate

Questo parametro non subisce grosse variazioni in relazione al variare delle condizioni climatiche: va garantito sempre e con estrema cura.

Zona giorno - Zona notte

L'analisi di questo parametro non subisce variazioni sull'involucro edilizio in relazione a fattori distributivi interni alle unità ambientali.

Riassumendo:

	inverno	estate	zona giorno	zona notte
Sicurezza				

Resistenza

Si indica la capacità di evitare danni sproporzionati (es. crollo) nel caso in cui la struttura subisca danni locali anche gravi dovuti ad esempio ad incendi, esplosioni, urti o conseguenze di errori umani. Il concetto di resistenza è stato formalizzato solo di recente: esso consente di realizzare costruzioni in grado di mettere in campo tutte le proprie riserve di resistenza sino al collasso, attraverso l'attivazione di molteplici percorsi alternativi di carico. In tal modo è allontanato, tra l'altro il pericolo di collasso generalizzato, a seguito di rotture localizzate della struttura (collasso progressivo) specie in occasione di eventi eccezionali. Le principali indicazioni progettuali che permettono di realizzare strutture a telaio robuste sono:

- _privilegiare la resistenza degli elementi strutturali in elevazione verticale rispetto a quella degli elementi orizzontali travi (*schema pilastro forte - trave debole*);
- _privilegiare la resistenza a taglio rispetto a quella a flessione;
- _esaminare in maniera opportuna l'iterazione tra la struttura e gli elementi di completamento (tamponamenti, impianti, ...);
- _curare i dettagli costruttivi (*detailing*) per permettere corretti trasferimenti di carico.

Un esempio recente del concetto di robustezza strutturale è legato al crollo delle Twin Towers a seguito dell'attentato terroristico dell' 11 settembre 2001; dopo l'impatto con i due Boeing 767, molte delle colonne esterne furono completamente distrutte, ma le torri non crollarono immediatamente per effetto della loro rilevante resistenza: il carico fu infatti ridistribuito dagli elementi danneggiati verso le parti

integre della struttura, e ciò dette agli occupanti i piani inferiori il tempo sufficiente per mettersi in salvo.

Il concetto di *robustness* viene richiamato più volte anche nel testo delle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) in merito ai requisiti che devono avere le varie opere strutturali: viene infatti richiesta la "robustezza nei confronti di azioni eccezionali" intesa come la "capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni e urti"; in fase di progetto, viene ulteriormente richiesta la verifica della robustezza "imponendo azioni nominali convenzionali, in aggiunta alle altre azioni esplicite (escluse le sismiche e quelle indotte dal vento) applicate secondo due direzioni ortogonali e consistenti in una frazione dei carichi pari all'1% al fine di verificare il comportamento complessivo".

Inverno - Estate

Questo parametro non subisce grosse variazioni in relazione al variare delle condizioni climatiche: va garantito sempre e con estrema cura.

Zona giorno - Zona notte

L'analisi di questo parametro non subisce variazioni sull'involucro edilizio in relazione a fattori distributivi interni alle unità ambientali.

Riassumendo:

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Resistenza				

Efficienza

È una delle più importanti caratteristiche legata alla sorgente sismica ed è definita come rapporto tra l'energia irradiata sottoforma di onde sismiche (E_s) e la diminuzione totale dell'energia di deformazione (ΔE). L'energia di deformazione è stata definita da Benioff⁷ come la radice quadrata dell'energia rilasciata dal terremoto. Mediamente ogni anno ne viene rilasciata una quantità pari a circa $7,5 \times 10^{11}$ erg⁸, ma non in modo costante nel tempo: più forte è il terremoto, maggiore è la quantità di energia sismica rilasciata. Questo lascerebbe pensare ad una diretta proporzionalità tra la magnitudo del terremoto e l'efficienza sismica, sebbene dati sperimentali dimostrino che l'efficienza sismica decresca con l'aumentare della magnitudo del sisma, poiché per grandi terremoti la diminuzione dell'energia di deformazione (ΔE) avviene più rapidamente di quanto non aumenti E_s .

In riferimento agli edifici, l'efficienza sismica diviene dunque la risposta a quanto appena descritto.

Inverno - Estate

Anche per questo parametro si sottolinea la trascurabilità della valutazione prestazionale in relazione al variare delle condizioni climatiche.

Zona giorno - Zona notte

L'analisi di questo parametro non subisce variazioni sull'involucro edilizio in relazione a fattori distributivi interni alle unità ambientali.

⁷ Victor Hugo Benioff (Los Angeles, 14 settembre 1899 – 1968) è stato un geofisico e inventore statunitense. Cominciò a interessarsi di Scienze della Terra nel 1924; nel 1935 conseguì il dottorato al California Institute of Technology, dove rimase come professore di Sismologia. Nel 1932 creò un sismometro, utilizzato ancora oggi, molto utile per ottenere informazioni sui terremoti profondi.

⁸ L'erg è l'unità di misura dell'energia e del lavoro nel sistema di misura CGS; un erg è pari a $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{cm} = 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{s}$, ed equivale a 10^{-7} joule, $10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$, $2,78 \cdot 10^{-14}$ chilowattora.

Riassumendo:

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Efficienza				

Durabilità

Secondo il D.M. 14.01.2008 la durabilità o durevolezza è definita come "conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture", proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera. La durabilità di un materiale è dunque la capacità di durare nel tempo per l'intero periodo di vita atteso, resistendo alle azioni aggressive dell'ambiente in cui si trova; le proprietà del materiale devono dunque rimanere inalterate. In una definizione data dal comitato misto delle due associazioni internazionali FIP⁹ e CEB¹⁰ la durabilità di una struttura viene espressa come attitudine di un'opera a sopportare attacchi di agenti aggressivi di diversa natura mantenendo inalterate le caratteristiche meccaniche e funzionali. La durabilità del materiale è condizione necessaria ma non sufficiente per garantire la durabilità della struttura: in linea di massima il 27% dei degradi rilevati è da attribuire a materiali prodotti in maniera scorretta, il 42% per deficienza nella messa in opera del materiale, il 12% per errori di progettazione, l'8% per sovraccarichi non adeguati all'uso, il 7% per fondazione non adeguate, il 4% per incendi.

Inverno - Estate

Anche questo parametro deve avere uguali ed elevati comportamenti prestazionali in relazione al variare delle condizioni climatiche.

⁹ Federation Internationale de la Precontrainte

¹⁰ Comité Européen du Béton

Zona giorno - Zona notte

Questo parametro non genera differenziazioni sulle caratteristiche dei componenti per l'involucro edilizio in relazione a fattori distributivi interni alle unità ambientali.

Riassumendo:

	<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
Durabilità				

4 – Classificazione dei componenti e loro valutazione secondo i parametri individuati.

Come si è cercato sinora di descrivere, le caratteristiche dell'involucro edilizio hanno subito, nel tempo, sostanziali cambiamenti: dall'uso di materiali legati alla tradizione locale, che conferivano all'involucro edilizio non solo la finalità di confine tra interno ed esterno ma anche una funzione portante, si è passati all'utilizzo di nuovi materiali legati prevalentemente a processi di industrializzazione edilizia. La massa muraria caratteristica degli edifici tradizionali, risulta "bucata" da superfici vetrate che assumono spesso dimensioni rilevanti anche rispetto alla cortina opaca, determinando un allontanamento dell'involucro edilizio dalla funzione portante. A seguito di questo fondamentale cambiamento variano le esigenze architettoniche, funzionali ed energetiche degli involucri. L'involucro murario è così sempre più in bilico tra una dissoluzione in vista di maggiore trasparenza e permeabilità nei confronti della luce, e un insieme di elementi esterni accomunati dal tentativo di ottimizzare gli aspetti positivi del clima, garantendo confort termico, igrometrico, acustico, di sicurezza.

Si ritiene utile fornire, a questo punto della trattazione, un'immagine della produzione attuale tale da poter consentire il formarsi di una mentalità più aderente alle effettive esigenze del settore dell'edilizia residenziale attuale.

Si osserva una produzione di semilavorati o di componenti per chiusure perimetrali verticali caratterizzato sostanzialmente da tecnologie relativamente semplici ed in grado di adattarsi con facilità ad indicazioni nuove perché contenibili entro le possibilità dei mezzi di produzione. È possibile, dunque, affermare che la gamma degli elementi attualmente prodotti per involucro edilizio realizzato col sistema costruttivo tradizionale può essere considerata molto ricca sebbene sia molto critica ad oggi la disponibilità che tali componenti hanno di integrarsi tra loro e con il sottosistema struttura, indipendentemente delle soluzioni scelte.

Nei capitoli precedenti si è inquadrato un problema scientifico, si è cercato di delineare i riferimenti normativi che ne fanno da cornice, per giungere all'individuazione di una serie di parametri – in parte estrapolati dalle normative, in parte dedotti da esse – per valutare ora i componenti che oggi vengono utilizzati per la realizzazione di un involucro edilizio.

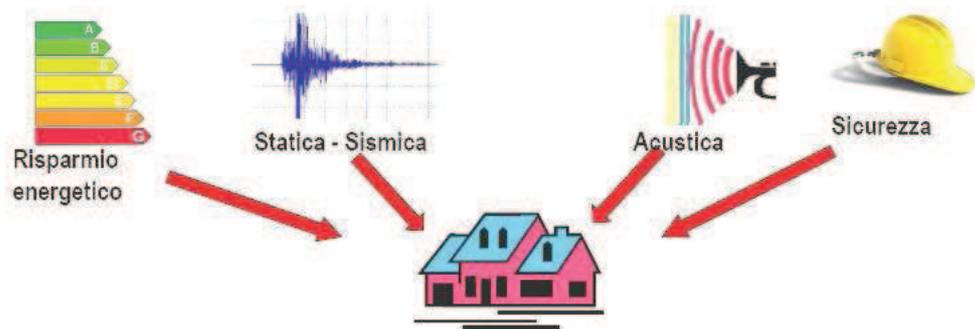


Figura 4.1 _Costruire oggi 'involucro edilizio significa ragionare su definiti ed esigenti riferimenti normativi, oltre a portare avanti una corretta progettazione integrata.

L'intento di questo capitolo specifico è quello di proporre una classificazione dei componenti per l'involucro edilizio definiti come "piccoli elementi", limitando il campo di indagine a quelli relativi ai modi "tradizionali" di costruire ad umido.

Volendo classificare i prodotti relativi alla classe di elementi tecnici delle chiusure verticali, il riferimento più concreto a cui rifarsi sia ancora la distinzione tra prodotti pesanti e prodotti leggeri¹, anche se è necessario chiarire il senso che a tale classificazione si vuole dare all'interno della presente trattazione. Nel classificare alcuni prodotti come pesanti o come leggeri non ci si vuole limitare ad un confronto fra i pesi dei prodotti stessi, ma anche ai materiali di cui sono costituiti; si sceglie dunque di classificare come pesanti tutti quegli elementi realizzati prevalentemente con materiali tradizionali che risultano generalmente dotati di una massa ed un peso relativamente grandi. Nella maggior parte delle soluzioni tradizionali di involucro le pareti perimetrali verticali opache sono costituite da materiali e da superfici non trasparenti, e pertanto la funzione di regolazione del flusso luminoso

¹ M. Zaffagnini, op. cit.

naturale e della ventilazione deve essere risolta attraverso la predisposizione di vani di apertura e l'integrazione con elementi di infisso verticale.

Le pareti perimetrali verticali opache pesanti, tradizionalmente, sono caratterizzate da una serie complessa di stratificazioni, demandando a ciascuno strato funzionale il soddisfacimento di uno o più requisiti di prestazione tra quelli precedentemente definiti. La varietà dei materiali e delle alternative tecniche che caratterizzano i diversi sistemi di chiusura può essere ricondotta a differenti modelli funzionali e ad un'ampia gamma di soluzioni costruttive degli strati funzionali.

La progressiva richiesta di maggiore resistenza termica, acustica e sismica degli edifici sta portando in questi ultimi anni a notevoli innovazioni tecnologiche, sia attraverso l'utilizzazione di nuovi materiali o il diverso impiego di materiali naturali tradizionali, sia mediante la realizzazione di nuove soluzioni tecniche costruttive che modificano, in parte, il comportamento funzionale dei modelli usualmente impiegati. Quello cui si sta assistendo, sia a livello di richieste prestazionali stabilite dalla normativa che a livello di produzione industriale, è un ritorno all'involucro massivo in grado di avere un comportamento eccellente sia in inverno (per coibentazione e stratificazione) che in estate (inerzia e capacità termica).

Per limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e contenere la temperatura interna degli ambienti, il D.Lgs. n. 311² prevede che in tutte le zone climatiche, ad esclusione della F il valore della massa superficiale³ delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate sia superiore a 230 kg/m². Il D.Lgs. n. 311 consente di derogare a tale limite nel caso in cui si utilizzino tecniche e materiali che garantiscano comunque gli effetti positivi raggiungibili con pareti aventi massa superficiale superiore a 230 kg/m², non specificando alcun indicatore prestazionale. Il D.P.R. n. 59 individua nella trasmittanza termica periodica (Y_{IE}) l'indicatore del grado di smorzamento e di sfasamento dell'onda termica proveniente dall'esterno e, limitatamente per le località dove $I_{m,s}$ è maggiore o uguale a 290 W/m², richiede, in alternativa alla verifica della massa superficiale di 230 kg/m², di verificare che il

² Allegato I al punto 9.

³ D.Lgs. n. 311, Allegato A, Comma 22: massa superficiale è la massa per unità di superficie della parete opaca compresa la malta dei giunti esclusi gli intonaci, l'unità di misura utilizzata è il kg/m².

modulo della trasmittanza termica periodica delle pareti verticali opache sia inferiore a $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Secondo altre disposizioni normative locali⁴ la capacità della struttura edilizia di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'irraggiamento solare può essere utilmente rappresentata in termini di sfasamento (S) espresso in ore ed attenuazione (fa) e può essere considerata adeguata, al fine di contenere i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva, quando lo sfasamento è superiore a 8 ore e l'attenuazione è inferiore a 0.40.

Pertanto questi "piccoli elementi" verranno classificati in componenti opachi pesanti e leggeri, componenti trasparenti, e materiali isolanti; tutto ciò che fa riferimento alla componentistica traslucida, verrà accennato all'interno del paragrafo dedicato ai componenti trasparenti, cui si è scelto di assimilarla per comportamento affine, considerando comunque sempre quei materiali che presentano continuità materica tale da poterne assimilare il comportamento ai materiali propriamente trasparenti.

Si riporta di seguito uno schema riepilogativo della classificazione proposta, con un riferimento alle schede che trovano una esplicitazione all'interno della trattazione esposta nel presente capitolo.

Inoltre, alla fine di ogni categoria, si riporta uno schema riepilogativo delle prestazioni che i componenti analizzati sono in grado di fornire, con una breve interpretazione critica frutto della ricerca.

⁴ Si veda ad esempio la Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 156 del 4 marzo 2008.

OPACHI	PESANTI	INTRAIOLATI	A1_Blocchi a cavità riempite
			A2_Malta termica isolante
	LEGGERI	INTRAIOLATI	B1_Blocchi preassemblati
			C1_Blocchi porizzati a setti sottili
TRASPARENTI	INTRAIOLATI	E1_TIM	
		E2_Vetri evacuati	
		E3_Aerogel	
		E4_Vetri elettrocromici	
		E5_Vetri termocromici	
		E6_Vetri fotocromici	
	PREASSEMBLATI	F1_Vetri a selettività angolare	
		F2_Vetri energetici con fotovoltaico integrato	
		F3_Vetri con micro reticolo integrato	
		F4_Vetri a cristalli liquidi	
		F5_Vetri luminosi	
	BASSOEMISSIVI	G1_Vetri bassoemissivi	
		G2_Infissi ad alto rendimento	
	MATERIALI ISOLANTI		H1_Materiali isolanti vegetali
H2_Materiali isolanti di origine animale			
H3_Materiali isolanti minerali			
H4_Materiali isolanti sintetici			

4.1 Componenti opachi pesanti

Si ipotizza dunque in questa sede una classificazione che osservi come l'utilizzo di piccoli elementi per la creazione di cortine murarie sia correlato alle prestazioni che il sistema deve garantire nel suo complesso; nello specifico, si propone una classificazione che tenga in considerazione componenti intrasolati e componenti a strati preassemblati.

Come è facilmente intuibile, già la semplice giustapposizione di strati di materiali a risposta differente lascia intuire come di "tradizionale" e "convenzionale" non rimane molto, stando alle norme vigenti ed alla sempre maggiore richiesta della committenza (pubblica e privata) di edifici a bassi costi di gestione energetica.

Ciò nonostante, si propone una identificazione che faccia riferimento ai tipi comunemente in uso, con uno sguardo interessato a tutti quei prodotti innovativi che la ricerca e le aziende sviluppano e continuamente immettono nel mercato dei prodotti edilizi.

Il comparto del laterizio, da sempre dominante in Italia nella realizzazione delle porzioni opache degli involucri, ha affrontato la sfida del miglioramento delle sue prestazioni termiche, puntando sulle specificità tecnico-realizzative e prestazionali che lo caratterizzano come vincente e migliorando gli aspetti (legati soprattutto alla sua conducibilità termica) che lo penalizzavano nel confronto con altri materiali. Le specificità del laterizio sono la stabilità dei prodotti nel tempo (anche dal punto di vista prestazionale) e quindi l'elevata durabilità; la capacità di abbinare prestazioni di isolamento termico e di inerzia termica (grazie alla massa); la protezione acustica.

Nel caso delle pareti pesanti a piccoli elementi, il laterizio forato e la sua tecnologia sono stati presi a riferimento in quanto rappresentano, come appena mostrato, la soluzione più usata e perché sostanzialmente la tecnica di messa in opera ad essi riferita può essere estesa a molti altri piccoli elementi senza sostanziali variazioni; pur tuttavia molti prodotti di questo tipo presentano caratteristiche innovative di indubbio interesse, che vale la pena accennare.

Si propone di seguito una panoramica di tali componenti, riletta all'interno della schematizzazione proposta nel capitolo precedente.

4.1.1 Componenti opachi pesanti intraisolati

Con questa definizione si intende racchiudere tutti quei componenti che risultano capaci di fornire prestazioni in termini di isolamento termico ed acustico in base alle caratteristiche proprie insite nella struttura stessa del materiale. A questo gruppo si fanno appartenere alcuni blocchi realizzati in maniera specifica ed innovativa nonché altri materiali essenziali per la buona riuscita dell'involucro inteso come sistema stratificato, vale a dire i leganti, i materiali isolanti e gli intonaci eventuali di finitura.

Prendendo in considerazione come appena alcuni componenti intraisolati, si possono distinguere i blocchi in laterizio, quelli in calcestruzzo normale e quelli in calcestruzzo alleggerito; ciò che accomuna questi diversi elementi è il tipo di messa in opera (sempre possibile a mano per la leggerezza dell'elemento), la tecnica di giunzione (con circa un centimetro di malta tra elemento ed elemento), l'esigenza di lavori di completamento, una volta realizzato il paramento murario (intonaco interno ed esterno), soprattutto nell'ottica del rispetto della normativa vigente in ambito sia energetico che antisismico.

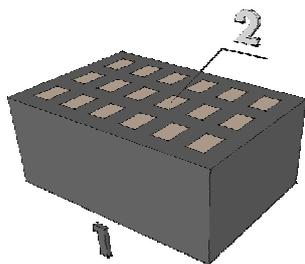
Bisogna inoltre specificare che la tenuta all'aria ed all'acqua sono unicamente garantite solo nel caso in cui si proceda con una posa a regola d'arte dei blocchi e degli eventuali strati integrativi costituenti la muratura, ivi compresa la disposizione di guaine impermeabilizzanti nei punti critici della muratura, negli innesti tra murature incidenti, nei raccordi con l'attacco a terra, con i solai intermedi e con quello di copertura. Molti dei componenti che si vedranno presentano inoltre pareti proprie rettificata, cosa che agevola una corretta posa in opera, e che con l'aiuto di malte termiche, garantisce giunti sottili.

Scheda A1 - Blocchi a cavità riempite

I blocchi con riempimento isolante in materiale naturale, sintetico o a cambiamento di fase, presentano una particolare geometria, caratterizzata da appositi fori nei quali sono presenti inserti di materiale coibente. Il risultato è una linea di blocchi che coniuga la resistenza termica, la traspirabilità, la naturalità e la durabilità



Spesso sono blocchi rettificati, quindi con una posa in opera semplificata che garantisce l'abbattimento di ponti termici dovuti a malte e collanti. Questa tipologia di blocchi rappresenta dunque una concreta soluzione per la realizzazione di murature di tamponamento monostrato di solo laterizio; essi possono essere adoperati esclusivamente in murature di tamponamento. Sono disponibili sia portanti (foratura al 45%) che di tamponamento (foratura al 50 - 60%).



Di fianco si riproduce una schematizzazione che identifica con il numero **1** il materiale con cui è realizzato il blocco, con il numero **2** il materiale che può essere inserito all'interno delle cavità.

1) Questi blocchi sono presenti sul mercato in vari formati; possono essere realizzati in:

Laterizio: il materiale di base è l'argilla, materia prima che dà luogo ai blocchi; per consentire agli elementi di raggiungere le dimensioni più opportune è necessario che l'argilla sia di buona qualità; il blocco viene prodotto per trafilatura, cioè facendo

passare a forza l'argilla attraverso apposite maschere che ne determinano la forma esterna e la struttura interna dei pieni e dei vuoti, essenziali per avere, oltre ad un peso ridotto, un comportamento termico più conformante; tale procedimento impone l'assoluta costanza della forma lungo l'asse di trafilatura e garantisce una buona consistenza del materiale; dopo la trafilatura si procede alla cottura dei blocchi, una volta che si siano essiccati. Questi blocchi laterizi a incastro con facce di appoggio rettificate hanno le proprie cavità atte ad accogliere materiale coibente a bassissimo peso specifico e ad elevate capacità termoisolanti, per elevare le caratteristiche di isolamento termico al fine di realizzare edifici a basso consumo energetico.

_calcestruzzo: blocco in calcestruzzo vibrocompresso alleggerito con alloggiamenti per doppio inserto di isolante; questi blocchi sono utilizzati per la realizzazione di murature dotate di elevate caratteristiche di isolamento termico e la conseguente riduzione al minimo delle perdite di calore. Infatti, le murature realizzate con questi blocchi posati con giunti di malta orizzontali sottili ed intonacate con 1,5 cm di intonaco tradizionale per lato presentano una bassa trasmittanza termica, pari a $U=0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$, che garantisce il rispetto delle limitazioni prescritte dal D.lgs. 311/06. Infine, grazie alla ridotta resistenza al passaggio del vapore acqueo μ , le pareti realizzate con questi blocchi di calcestruzzo consentono una rapida traspirazione del vapore che si produce all'interno delle abitazioni, impedendo la formazione di condense superficiali e interstiziali, causa di degrado del confort abitativo.

_argilla espansa: sono blocchi in cemento e argilla o lapillo, destinati alle costruzioni sia per la loro leggerezza che per la lavorabilità; questa particolare conformazione è stata studiata per eliminare i ponti termici verticali che inevitabilmente si formerebbero in una monoparete se i blocchi avessero una normale forma parallelepipedica: gli elementi isolanti sfalsati e sovrapposti garantiscono l'assenza dei ponti termici nel verso della trasmissione del calore.

2) I materiali coibenti inseriti all'interno dei fori dei blocchi sono ampiamente utilizzati nell'edilizia per le caratteristiche di isolamento termico che possiedono; in particolare, essi possono essere in:

_polistirene espanso sinterizzato EPS ad alta densità: è un ottimo isolante termico a celle chiuse in edifici sia nuovi che in fase di ristrutturazione: l'EPS contribuisce infatti al risparmio dei combustibili fossili usati per il riscaldamento/raffrescamento e riduce le emissioni di anidride carbonica che concorrono all'aumento dell'effetto serra. La sua compatibilità con calcestruzzo, laterizi, malte e membrane impermeabili bituminose, lo rendono adatto alle più svariate applicazioni. Inoltre, la leggerezza del materiale rende possibile un notevole risparmio durante il trasporto; è un materiale inerte, e, non avendo alcun valore nutritivo, non è attaccabile da funghi, batteri e piccoli animali; ed il rapporto fra costi e prestazioni risulta interessante.

_polistirene espanso sinterizzato EPS ad alta densità, additivato con grafite: innovativo, con capacità di isolamento termico superiori a qualsiasi polistirene sinterizzato, si presenta di un colore nero argenteo, con all'interno particelle riflettenti di grafite: proprio grazie alla grafite riesce ad assorbire e riflettere le radiazioni di calore che si propagano all'interno con l'irraggiamento, migliorandone il potere isolante; si ottengono così ottimi risultati di conducibilità termica già a basse densità.

_sughero: utilizzato in pannelli prelaborati, è ottimo in quanto inserisce all'interno della muratura tutta al sua naturalità, accrescendo il potere di confort abitativo "indoor". Il sughero presenta un'elevatissima elasticità ed impermeabilità ai liquidi e ai gas; è un ottimo isolante termico ed acustico, resiste bene all'usura, al fuoco ed all'attacco di roditori ed insetti; è inoltre inodore, insapore, atossico, asettico, anallergico, imputrescibile ed antistatico. Il sughero al naturale e/o opportunamente trasformato risponde pienamente ai criteri di scelta dei materiali per la bioedilizia per vari motivi: è rinnovabile e la sua raccolta non danneggia l'ambiente; la sua lavorazione può essere pulita e richiedere pochissima energia per eventuali trasformazioni del materiale; contribuisce negli ambienti chiusi a regolare l'umidità e quindi a garantire comfort termico; è durevole nel tempo e riutilizzabile - riciclabile.

_lana di roccia: è stata scoperta agli inizi del secolo scorso e deve la sua origine al processo di risolidificazione, sotto forma di fibre, della lava fusa, lanciata nell'aria durante le attività eruttive; è un prodotto completamente naturale che combina la forza della roccia con le caratteristiche di isolamento termico tipiche della lana.

Oltre ad essere un materiale prettamente naturale ed avere una capacità di isolamento termico elevata, la lana di roccia, grazie alla sua struttura a celle aperte, è anche un ottimo materiale fonoassorbente. Più precisamente, è l'unico materiale che riesce a coniugare in sé cinque doti fondamentali: la presenza di un'infinità di celle nella struttura della lana di roccia consente al prodotto di essere d'ostacolo al passaggio del caldo e del freddo e quindi di sviluppare una forte azione isolante; la sua struttura a celle aperte favorisce l'assorbimento delle onde acustiche e permette di attenuare l'intensità e la propagazione del rumore; è un materiale prettamente inorganico che fonde a temperature superiori ai 1000 °C, non contribuisce pertanto né allo sviluppo ed alla propagazione dell'incendio, né all'emissione di gas tossici; per la sua particolare struttura, non assorbe né acqua né umidità, mantenendo pertanto inalterate le caratteristiche nel tempo; mantiene inoltre le proprie caratteristiche inalterate nel tempo, non subisce variazioni dimensionali o prestazionali al mutare delle condizioni termiche e igrometriche dell'ambiente.

_perlite: è una roccia vulcanica effusiva silicatica che ha la capacità di espandere il proprio volume fino a 20 volte rispetto a quello originale quando viene portata ad elevate temperature; il processo di espansione conferisce alla perlite uno straordinario e irreversibile potere isolante. La perlite è naturale, ecologica, inodore, rispettosa dell'ambiente, leggera, termoisolante, incombustibile, sterile, chimicamente inerte, stabile e possiede marcatura CE e certificazione di Qualità.



_PCM, materiali a cambiamento di fase: materiale capace di accumulare il calore latente attraverso il fenomeno della transizione di fase: è in grado di assorbire i flussi energetici entranti, immagazzinando una elevata quantità di energia e mantenendo costante la propria temperatura. Con questa tecnica è possibile ridurre in modo rilevante le oscillazioni di temperatura nell'ambiente abitato. La ricerca, ancora in corso, ha dato i primi significativi risultati.

_isolante termo riflettente: gli isolanti riflettenti trattengono fino al 95% del calore trasmesso per irraggiamento, la modalità più frequente.

I pori presenti nell'impasto di tali materiali aiutano il comportamento dei blocchi in relazione all'isolamento termico. Inoltre, la presenza di materiale coibente inserito all'interno delle cavità dei blocchi, accresce il potere isolante degli involucri con essi costruiti, raggiungendo spesso, con semplicità di posa e di realizzazione, valori di trasmittanza termica ben al di sotto dei limiti di legge, rendendo inutile la posa di un cappotto a lastre o di un termo intonaco; inoltre gli strati materici del blocco proteggono gli inserti coibenti, garantendone nel tempo le prestazioni.

Per questa tipologia di blocchi l'inerzia termica è uno dei principali motivi che genera l'utilizzo; infatti gli spessori delle murature realizzate con piccoli elementi vanno ad accrescere il valore dell'inerzia termica, garantendo un comportamento molto buono in quelle tipologie di involucri che sfruttano la massa per rispondere alle esigenze climatiche dell'edificio nel suo contesto, generando un miglior comfort abitativo e portando ad una sensibile riduzione dei consumi energetici per il raffrescamento estivo.

Di seguito si riportano alcuni esempi dei valori di trasmittanza termica U per i vari materiali di base (*precedentemente identificati con il numero 1*) in relazione alle più diffuse dimensioni di questa tipologia di blocchi sul mercato:

_laterizio: Il valore è variabile a seconda della casa produttrice e, soprattutto, in virtù degli spessori e dei materiali isolanti interposti;

portanti (b x l x h)

35 x 25 x 25 $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\lambda_{\text{eq}} = 0,11$), con perlite

tamponamento (b x l x h)

49 x 25 x 25 $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\lambda_{\text{eq}} = 0,09$), con perlite

35 x 25 x 25 $U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\lambda_{\text{eq}} = 0,08$) ÷ $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\lambda_{\text{eq}} = 0,09$), con perlite

35 x 25 x 25 $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\lambda_{\text{eq}} = 0,11$), con lana di roccia

35 x 25 x 25 $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, cavità trattate con vernici bassoemissive

38 x 25 x 25 $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\lambda_{\text{eq}} = 0,10$), con EPS

30 x 25 x 25 $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($\lambda_{\text{eq}} = 0,10$), con EPS

_calcestruzzo: il valore è variabile a seconda degli spessori degli inserti coibenti;

portanti o di tamponamento (b x l x h)

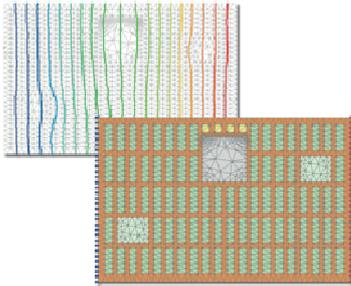
35 x 25 x 20 $U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$, con EPS additivato con grafite

_argilla espansa: il valore è variabile a seconda della casa produttrice e, soprattutto, in virtù degli spessori:

tamponamento (b x l x h)

40 x 25 x 20 U = 0,42 W/m²K, con isolante termoriflettente

45 x 30 x 20 U = 0,34 W/m²K, con isolante termoriflettente



Tutti gli elementi termoisolanti sono certificati ed i loro valori termici di progetto sono individuati secondo la Norma UNI EN 1745 che, attraverso un dettagliato calcolo secondo il metodo degli elementi finiti, mette in relazione la geometria dell'elemento con le caratteristiche termiche

dell'impasto (materia prima) determinate in laboratorio. Questo consente il pieno rispetto di quanto previsto ed anche la migliore aderenza alla realtà delle materie prime utilizzate da ciascuna fornace.

Si riportano di seguito anche alcuni valori relativi al controllo del rumore (potere fonoisolante) in relazione alle più diffuse dimensioni di questa tipologia di blocchi sul mercato:

_laterizio:

portanti (b x l x h)

35 x 25 x 25 R_w = 50 dB, con perlite

tamponamento (b x l x h)

49 x 25 x 25 R_w = 50 dB, con perlite

35 x 25 x 25 R_w = 48 dB, con perlite

35 x 25 x 25 R_w = 52 dB, lana roccia

38 x 25 x 19 R_w = 48 dB, con EPS

30 x 25 x 25 R_w = 47 dB, con EPS

_calcestruzzo:

portanti o di tamponamento (b x l x h)

35 x 25 x 20 R_w = 52, con EPS additivato con grafite

_argilla espansa:

tamponamento (b x l x h)

40 x 25 x 20 R_w = 44, con isolante termoriflettente

45 x 30 x 20 R_w = 48, con isolante termoriflettente

Va segnalato infine uno dei vantaggi significativi dell'utilizzo di questa tipologia di componenti, legato alla posa: a beneficiare infatti delle caratteristiche di questi prodotti non sono solo gli utenti finali, ma anche i costruttori stessi; i tempi del cantiere, infatti, si riducono fino al 50% - valori definiti dalle aziende - grazie all'incastro al millimetro dei blocchi e all'impiego di una specifica malta particolarmente mescolabile con acqua all'interno di un normale secchio, che permette di ridurre al minimo l'uso di silos, gru o betoniere, con un notevole risparmio sul consumo di acqua ed energia elettrica in cantiere. Inoltre, realizzando giunti orizzontali di 1 mm come suggeriscono le case produttrici, il consumo di malta si riduce del 90%, evitando sfridi.



A.



B.

Figura 4.2_A) Blocco a fori verticali in laterizio porizzato da 30 cm con inserti in polistirene: la parete completa, con due strati di intonaco tradizionale, garantisce una trasmittanza termica di $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.
B) Blocco a fori verticali in laterizio porizzato da 38 cm con inserti in polistirene e in sughero: la parete completa, con due strati di intonaco tradizionale, garantisce una trasmittanza termica di $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ (con polistirene) e di $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ (con sughero).



Figura 4.3_ Quello in foto è un sistema costruttivo brevettato, composto da blocchi a cassero in calcestruzzo alleggerito di argilla espansa, con inserto di isolante ad elevata densità. Il sistema permette di ottenere i vantaggi statici di una struttura scatolare e quelli di un reale comfort abitativo grazie alla sua massa e inerzia termica, eliminando i possibili ponti termici.

Scheda A2 – Malta termica isolante

Alcune nuove malte risultano possedere un potere termico isolante molto interessante se abbinato a quanto espresso all'interno delle schede precedenti (nonché alle successive). Tali leganti sono malte cementizie premiscelate la cui formulazione, a base di cemento Portland, perlite e additivi aeranti, utilizza le elevate capacità isolanti della perlite; le malte convenzionali preparate in cantiere offrono prestazioni termiche decisamente inferiori a quelle dei laterizi alveolati e, di conseguenza, i giunti tra i blocchi sono causa di forti dispersioni di calore. Questa malta premiscelata, invece, ha una conduttività termica analoga a quella dei laterizi, per cui le murature realizzate con malta e blocchi innovativi sono quindi termicamente omogenee, prive di ponti termici e con una trasmittanza U sensibilmente inferiore. Insieme agli additivi aeranti, la perlite presente nella malta consente di ottenere una massa volumica allo stato secco di circa 1000 kg/m³. A un chilogrammo di prodotto premiscelato corrisponde indicativamente un litro di malta pronta all'uso, che va applicata a giunti continui di spessore di 10 ÷ 12 mm su blocchi in laterizio preventivamente bagnati (saturi a superficie asciutta). Il corretto dosaggio di cemento assicura una resistenza superiore a 5 N/mm².

Questo porta numerosi vantaggi:

- _murature termicamente omogenee;
- _drastica riduzione dei ponti termici, sia in numero che in gravità di dispersione: le malte convenzionali preparate in cantiere hanno una conduttività elevata ($\lambda = 0,75 \div 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$) e i giunti di malta sono causa di forti dispersioni di calore; con queste malte si giunge alla quasi totale eliminazione dei ponti termici;
- _cantiere più razionali: questi leganti sono un prodotto secco, confezionato in sacchi da 30 kg, a cui va aggiunta soltanto acqua. Con 1 kg di miscela si ottiene 1 litro di malta; il loro utilizzo consente notevoli vantaggi organizzativi: si evitano infatti al cantiere sprechi di materiale, tempi morti di manodopera specializzata e immobilizzazione di attrezzature, i punti di preparazione della malta possono essere ubicati in prossimità dell'opera da realizzare e spostati in funzione dell'avanzamento dei lavori. Inoltre si ha la possibilità di poter avere una migliore

organizzazione e maggiore razionalità del lavoro, che consentono un non trascurabile abbattimento dei costi. Essendo poi spesso dei prodotti premiscelati, questo solleva l'impresa dall'onere dello studio preliminare della miscela e dei relativi oneri di prova. Tutto questo senza rinunciare ad un elevatissimo livello qualitativo, poiché queste miscele sono costantemente controllate sia dal laboratorio interno di controllo qualità del produttore sia da laboratori esterni ufficialmente riconosciuti. I controlli attestano la resistenza della malta secondo il D.M. 3 giugno 1968 e la classe di appartenenza secondo il D.M. 20 novembre 1987. L'impiego di tali malte assicura al progettista e al direttore dei lavori la costanza delle caratteristiche meccaniche e termiche per tutta la durata del cantiere: i controlli potranno così limitarsi alla sola verifica di rispondenza della classe dichiarata dal produttore a quella prevista dal progetto.

Alcune caratteristiche tecniche ed i consumi sono variabili a seconda della casa produttrice e, soprattutto, in virtù degli spessori; di seguito si riportano alcuni valori in relazione alle più diffuse dimensioni dei blocchi a setti sottili sul mercato:

Caratteristiche tecniche:

_resistenza media a compressione < 5 MPa classe M5;

_resistenza media a flessione > 1 MPa;

_conduttività termica $\lambda = 0,25 \pm 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Consumi indicativi, per murature realizzate a giunti continui, in funzione delle caratteristiche dei blocchi:

30 x 25 x 19 cm	34 litri	1,1 sacchi da 30 kg	0,9 m ² con 1 sacco
45 x 30 x 19 cm	38 litri	1,3 sacchi da 30 kg	0,75 m ² con 1 sacco
30 x 25 x 19 cm	35 litri	1,2 sacchi da 30 kg	0,9 m ² con 1 sacco
30 x 25 x 25 cm	25 litri	0,85 sacchi da 30 kg	1,2 m ² con 1 sacco

Riassumendo per i COMPONENTI OPACHI PESANTI INTRAISSOLATI:

		<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva				
	Trasmittanza periodica				
	Massa e capacità termica				
	Effetto serra				
ACUSTICI	Isolamento acustico				
	Assorbimento acustico				
SISMICI	Sicurezza				
	Resistenza				
	Efficienza				
	Durabilità				

Tabella 4.1 Legenda:

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

Tali componenti, leggendo i dati prestazionali, riescono a garantire elevati comportamenti soprattutto per quanto riguarda l'involucro in regime invernale; non va però tralasciato l'abbinamento con la massa, del materiale e dei coibenti interposti, in grado di permettere che l'involucro così realizzato sia in grado di avere buone prestazioni in regime estivo.

La tabella 4.1 riporta una specifica che mette in relazione l'involucro alle funzioni delle unità ambientali che delimita: interessante rilevare che in regime invernale può essere vantaggioso l'utilizzo di tali componenti per ambienti della zona notte, dove l'isolamento degli ambienti interni risulta essenziale per una buona percezione di comfort; per la ragione estiva, l'utilizzo porta vantaggi soprattutto per le chiusure

degli ambienti della zona giorno, ove lo sfasamento dell'onda termica risulta preponderante, abbinandosi ad una buona massa con relativa capacità termica di tali componenti. Dal punto di vista acustico si riporta un'attenzione relativa alle diverse ore del giorno: le potenzialità di questi componenti sono utilizzabili ai fini di garantire un elevato isolamento degli ambienti interni rispetto ai rumori provenienti dall'esterno. Dal punto di vista sismico, soprattutto per i componenti utilizzati con funzione portante, i parametri sono tutti di rilevanza massima; per i blocchi utilizzati come tamponamento di strutture intelaiate, va in questa sede sottolineata la necessità di una elevata coesione tra i componenti, al fine di evitare che, in risposta ad un evento sismico, possano subire dei distacchi materici e strutturali.

4.1.2 Componenti opachi pesanti a strati preassemblati

Con questa definizione si definiscono tutti quei componenti che vengono immessi sul mercato già con uno strato coibente interposto ai materiali stessi; va peraltro sottolineato che già - come evidenziato - vengono trattati nell'ottica di avere maggior potere coibente e, se combinato, un maggior grado di isolamento acustico. Provando ad ipotizzare una possibile sezione di un componente preassemblato - portante o di tamponamento non è fondamentale ai fini della individuazione -, oltre alla parte resistente del blocco, entrano in gioco dei materiali essenziali per la buona riuscita dell'involucro inteso come sistema stratificato, vale a dire i leganti, i materiali isolanti e gli intonaci eventuali di finitura. A questa tipologia di componenti va conseguentemente connessa la natura del materiale isolante interposto.

Bisogna inoltre specificare che la tenuta all'aria ed all'acqua sono unicamente garantite solo nel caso in cui si proceda con una posa a regola d'arte dei componenti e degli eventuali strati integrativi costituenti l'involucro edilizio verticale, ivi compresa la disposizione di guaine impermeabilizzanti nei punti critici della muratura, negli innesti tra murature incidenti, nei raccordi con l'attacco a terra, con i solai intermedi e con quello di copertura.

Scheda B1 - Blocchi preassemblati

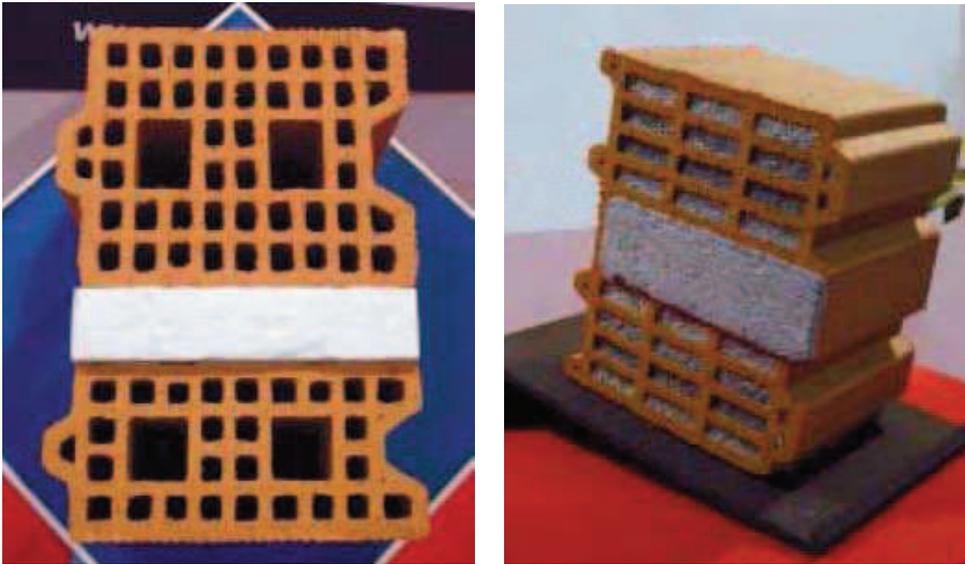
I blocchi multistrato preassemblati sono generalmente costituiti da tre elementi, di cui i due più esterni sono di uno stesso materiale con specifica massa, mentre quello interno è un materiale coibente, rispondendo bene ad una richiesta di aumento delle prestazioni dei materiali per chiusure verticali. Il sistema di aggancio dei tre elementi che compongono può essere di tipo meccanico, chimico, o entrambi, e viene ideato e studiato in modo da garantire una tenuta totale del prodotto.

Lo strato isolante può essere realizzato in materiali sia naturali che sintetici, già ampiamente utilizzati nell'edilizia per le caratteristiche di isolamento termico che possiedono. Per ottenere continuità nell'isolamento ed evitare così la creazione di ponti termici il pannello isolante viene battentato sui 4 lati.

Questi blocchi sono disponibili sia portanti che di tamponamento.



Sono prodotti in diverse misure e con diversi spessori di isolante interposto. Essi consentono di realizzare con la posa di un unico elemento una doppia parete con isolamento interposto, ottimizzando in tal modo i tempi di realizzazione della muratura. Per le elevate prestazioni termiche ottenibili con tali prodotti non è necessario l'impiego di malte o intonaci termoisolanti.

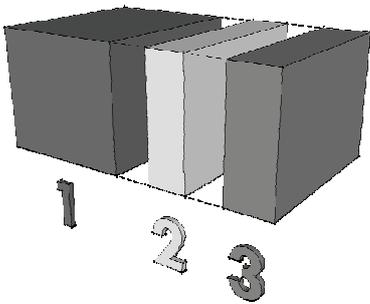


A.

B.

Figura 4.4_A) Blocchi a fori verticali in laterizio porizzato da 24 e 12 cm, con interposto un pannello di materiale isolante in polistirene da 5 cm: il sistema è preassemblato e i blocchi sono fissati tra loro tramite tasselli. La parete completa, con due strati di intonaco tradizionale, garantisce una trasmittanza termica di 0,29 W/m²K.

B) Blocco a fori verticali in laterizio porizzato da 31 cm, addizionato con grafite: la trasmittanza termica della parete intonacata è di 0,294 W/m²K.



Si analizzano di seguito gli strati che compongono questa tipologia di blocchi; i numeri della stratificazione fanno riferimento all'immagine a sinistra; va tenuto presente che solitamente gli strati 1 e 3 di un blocco multistrato sono realizzati con lo stesso materiale.

1) la parte che costituisce la massa dei blocchi multistrato può essere realizzata in: *laterizio*: il materiale di base è l'argilla di buona qualità; il blocco viene prodotto per trafilatura, che determina la forma esterna e la struttura interna dei pieni e dei vuoti, essenziali per avere un comportamento termico più conformante, ottimo in collaborazione con lo strato coibente. In questa tipologia di blocchi è essenziale il sistema di aggancio delle varie componenti la stratificazione: legando e agganciando le parti che compongono il blocco ne risulta un elemento monolitico

dalle eccellenti prestazioni termiche ed acustiche, che viene posto in opera con malta tradizionale disposta tra un elemento e l'altro sia in orizzontale che in verticale con giunti dello spessore di 10 mm.

_argilla espansa: questo strato del blocco multistrato è costituito da un elemento semipieno realizzato in argilla espansa; forma, dimensioni e peso fanno ottenere migliori prestazioni e consentono un uso razionale, sia in fase di progettazione che di esecuzione, con l'economia di materiali e manodopera, soprattutto in questo caso dove i tre componenti sono preassemblati al fine di consentire una posa unica.

_calcestruzzo: lo strato è realizzato in calcestruzzo faccia vista, all'interno del quale vengono anche realizzate sottili lame d'aria che danno un elevato contributo all'isolamento termico ed alla durabilità della parete. Questa tipologia di blocchi è principalmente utilizzata per murature di tamponamento, che lasciano all'interno dello strato 2 lo spazio per alloggiare la struttura portante intelaiata.

_legno-cemento: questo strato è realizzato con blocchi cassero in conglomerato di legno cemento, posati a secco, ad eccezione della prima fila posata a malta, sfalsati di mezzo blocco, con giunti ad incastro verticali ed orizzontali, ad eliminazione completa di ponti termici ed offrendo un ottimo isolamento. All'altezza consigliata di circa 150 cm, si procede al getto di calcestruzzo negli alveoli centrali, dove vengono quindi comodamente inseriti i ferri di armatura. Il lavoro non richiede manodopera specializzata e procede più velocemente rispetto ai sistemi tradizionali. Sono disponibili blocchi di varie misure in larghezza per differenti spessori delle pareti; per migliorare ulteriormente l'isolamento termico, i blocchi destinati alle pareti portanti esterne vengono forniti con l'aggiunta di un inserto in polistirene ad alta densità nel lato esterno degli alveoli centrali.

2) la parte che costituisce lo strato coibente viene realizzata con materiali ampiamente utilizzati nell'edilizia ed in alcuni casi, per ottenere continuità nell'isolamento ed evitare così la creazione di ponti termici, il pannello isolante viene battentato; in particolare, essi possono essere in:

_polistirene espanso sinterizzato EPS ad alta densità, 6-15 cm: essendo un ottimo isolante termico a celle chiuse è diffusamente impiegato in edifici sia nuovi che in

fase di ristrutturazione, contribuendo a tutte le azioni legate all'isolamento termico. È un materiale inerte e non è attaccabile da funghi, batteri e piccoli animali; ed il rapporto fra costi e prestazioni risulta interessante.

_polistirene espanso sinterizzato EPS ad alta densità, con grafite, 6-10 cm: innovativo, con capacità di isolamento termico superiori a qualsiasi polistirene sinterizzato, si presenta di un colore nero argenteo, con all'interno particelle riflettenti di grafite, grazie alla quale riesce ad assorbire e riflettere le radiazioni di calore che si propagano all'interno con l'irraggiamento, migliorandone il potere isolante; si ottengono così ottimi risultati di conducibilità termica già a basse densità.

_sughero, 6-8 cm: utilizzato in pannelli prelaborati, è ottimo in quanto inserisce all'interno della muratura tutta al sua naturalità, accrescendo il potere di confort abitativo "indoor". Il sughero è un ottimo isolante termico ed acustico, resiste bene all'usura, al fuoco ed all'attacco di roditori ed insetti; contribuisce negli ambienti chiusi a regolare l'umidità e quindi a garantire confort termico; è durevole nel tempo e riutilizzabile - riciclabile.

3) la parte che costituisce lo strato più interno del blocco può essere realizzata in:

_laterizio

_argilla espansa

_calcestruzzo

_legno-cemento

La stratificazione e la compattezza garantiscono ottimi livelli di isolamento termico, in alcuni casi addirittura migliori di quelli previsti dalla normativa; inoltre questa tipologia di blocchi abbina l'isolamento termico alla massa superficiale, conferendo alle murature che vanno a comporre elevate prestazioni di inerzia termica, e consentendo agli edifici realizzati di rientrare nelle classi di qualità prestazionali più elevate. L'elevato peso specifico, principalmente legato allo strato **1**, consente di ottenere vantaggiosi tempi di accumulo dell'energia, e quindi una notevole inerzia termica, nonostante lo spessore a volte contenuto. Le strutture con pareti ad accumulo termico impediscono un rapido raffreddamento degli ambienti interni ed

evitano tempi di riscaldamento elevato. In questo modo si evita lo choc termico e di conseguenza l'avviamento troppo frequente dell'impianto di riscaldamento. Ne risultano una resa molto alta e la sensazione di un notevole comfort abitativo.

Di seguito si riportano alcuni esempi dei valori di trasmittanza termica U per i vari materiali di base (*precedentemente identificati con i numeri 1 e 3*) in relazione alle più diffuse dimensioni di questa tipologia di blocchi sul mercato:

_laterizio: Il valore è variabile a seconda della casa produttrice e, soprattutto, in virtù degli spessori:

portanti (b x l x h)

40 x 26 x 19	U = 0,23 W/m ² K (con EPS 8 cm)
	U = 0,28 W/m ² K (con sughero 8 cm)
35 x 26 x 19	U = 0,24 W/m ² K (con EPS 8 cm)
	U = 0,30 W/m ² K (con sughero 8 cm)
38 x 26 x 19	U = 0,27 W/m ² K (con EPS 6 cm)
	U = 0,33 W/m ² K (con sughero 6 cm)
32 x 26 x 19	U = 0,28 W/m ² K (con EPS 6 cm)
	U = 0,35 W/m ² K (con sughero 6 cm)

tamponamento (b x l x h)

40 x 26 x 19	U = 0,24 W/m ² K (con EPS 8 cm)
40 x 26 x 24	U = 0,24 W/m ² K (con EPS 8 cm)
35 x 26 x 19	U = 0,25 W/m ² K (con EPS 8 cm)
35 x 26 x 24	U = 0,25 W/m ² K (con EPS 8 cm)
38 x 26 x 19	U = 0,28 W/m ² K (con EPS 6 cm)
32 x 26 x 19	U = 0,295 W/m ² K (con EPS 6 cm)

_argilla espansa

portanti (b x l x h)

38 x 25 x 20	U = 0,27 W/m ² K (con EPS con grafite 7,5 cm)
--------------	--

tamponamento (b x l x h)

38 x 25 x 20	U = 0,23 W/m ² K (con EPS con grafite 9,5 cm)
36 x 25 x 20	U = 0,27 W/m ² K (con EPS con grafite 7,5 cm)
30 x 25 x 20	U = 0,29 W/m ² K (con EPS con grafite 7,5 cm)

_calcestruzzo*tamponamento (b x l x h)*50 x 30 x 20 U = 0,33 W/m²K (con EPS fino a 15 cm)_legno-cemento*blocchi cassero (b x l x h)*50 x 30 x 25 U = 0,34 W/m²K (con EPS 8 cm)50 x 32,5 x 25 U = 0,32 W/m²K (con EPS 9 cm)50 x 37,5 x 25 U = 0,27 W/m²K (con EPS 12 cm)

Si riportano di seguito anche alcuni valori relativi al controllo del rumore (potere fonoisolante) in relazione alle più diffuse dimensioni dei blocchi preassemblati in mercato:

_laterizio:*portanti (b x l x h)*40 x 26 x 19 R_w = 58 (EPS 8 cm)R_w = 59 (sughero 8 cm)35 x 26 x 19 R_w = 57 (EPS 8 cm)R_w = 57 (sughero 8 cm)38 x 26 x 19 R_w = 54 (EPS 6 cm)R_w = 57 (sughero 6 cm)32 x 26 x 19 R_w = 52 (EPS 6 cm)R_w = 54 (sughero 6 cm)*tamponamento (b x l x h)*40 x 26 x 19 R_w = 57 (con EPS 8 cm)40 x 26 x 24 R_w = 57 (con EPS 8 cm)35 x 26 x 19 R_w = 56 (con EPS 8 cm)35 x 26 x 24 R_w = 56 (con EPS 8 cm)38 x 26 x 19 R_w = 57 (con EPS 6 cm)32 x 26 x 19 R_w = 56 (con EPS 6 cm)_argilla espansa*portanti (b x l x h)*38 x 25 x 20 R_w = 55 dB (con EPS con grafite 7,5 cm)*tamponamento (b x l x h)*38 x 25 x 20 R_w = 53 dB (con EPS con grafite 9,5 cm)36 x 25 x 20 R_w = 53 dB (con EPS con grafite 7,5 cm)30 x 25 x 20 R_w = 51 dB (con EPS con grafite 7,5 cm)

_calcestruzzo

tamponamento (b x l x h)

50 x 30 x 20 $R_w = 52$ dB (con EPS fino a 15 cm)

_legno-cemento

blocchi cassero (b x l x h)

50 x 30 x 25 $R_w = 54$ dB (con EPS 8 cm)

50 x 32,5 x 25 $R_w = 52$ dB (con EPS 9 cm)

50 x 37,5 x 25 $R_w = 55$ dB (con EPS 12 cm)

Riassumendo per i COMPONENTI OPACHI PESANTI PREASSEMBLATI:

		<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva				
	Trasmittanza periodica				
	Massa e capacità termica				
	Effetto serra				
ACUSTICI	Isolamento acustico				
	Assorbimento acustico				
SISMICI	Sicurezza				
	Resistenza				
	Efficienza				
	Durabilità				

Tabella 4.2 *Legenda:*

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

Questa tipologia di componenti è in grado di offrire buone prestazioni sia in regime estivo che invernale, sebbene probabilmente vada ad incidere maggiormente nel regime estivo e per le chiusure relative ad ambienti della zona giorno, avendo una massa in grado di offrire dei livelli significativi di capacità termica. L'adozione di strategie di raffrescamento passivo basate sull'utilizzo di tali componenti richiede anche di condurre un'analisi in regime dinamico, ponendosi cioè in una scala temporale molto ristretta, dell'ordine delle ore: questo permette di considerare con il giusto peso fattori come l'escursione termica giorno-notte e la variazione dell'irraggiamento solare nel corso della giornata.

La tabella 4.2 mostra anche livelli elevati di prestazioni acustiche, soprattutto in materia di assorbimento acustico, cui contribuisce notevolmente la scelta dei materiali coibenti interposti nella struttura del blocco.

Dal punto di vista sismico, soprattutto per i componenti utilizzati con funzione portante, i parametri sono tutti di rilevanza massima; per i blocchi utilizzati come tamponamento di strutture intelaiate, va in questa sede sottolineata la necessità di una elevata coesione tra i componenti, al fine di evitare che, in risposta ad un evento sismico, possano subire dei distacchi materici e strutturali.

Un ragionamento ulteriore è qui d'obbligo in riferimento a tali componenti.

L'assemblaggio di due metà materiche "pesanti" con interposto un materiale coibente apre degli scenari applicativi proprio connessi alla composizione ed alle relative prestazioni. Le chiusure opache dotate di una massa consistente accumulano e rilasciano il calore in maniera complessa, non solo smorzando i picchi di temperatura dell'esterno, ma differendoli nel tempo: si tratta, come si è già avuto modo di esprimere, di un fenomeno un grado di generare ripercussioni interessanti sull'utilizzo e sulla collocazione nelle diverse porzioni dell'involucro.

Se però i materiali in traisolati mostrano un gradiente termico costante che induce una termoregolazione graduata, i componenti preassemblati presentano le due metà materiche soggette a temperature differenti; in inverno, la parte più interna è calda, incontra poi il materiale coibente ed infine la porzione fredda dello stesso materiale della prima; in estate, la parte calda è all'esterno, ma il materiale coibente non permette che il componente lavori bene nell'attenuazione dell'onda termica.

Va inoltre posto in luce un problema che può aprire ulteriori scenari di ricerca: nell'ottica di non sottrarre calore all'interno, sarebbe molto interessante che la porzione materica posta verso l'ambiente circoscritto sia leggera, in modo da non assorbire il calore prodotto all'interno dell'unità ambientale.

4.2 Componenti opachi leggeri

In genere si definiscono componenti leggeri quelli realizzati con materiali diversi da quelli tradizionali che non fanno riferimento a tecnologie dette “bagnate” cioè che impiegano leganti diversi da quelli cementizi; tali materiali selezionati in base all'uso che se ne deve fare potendo essere impiegati in strati estremamente sottili e pur tuttavia resistenti, danno luogo a prodotti dotati di un piccolo peso ed una altrettanto piccola massa. Sono materiali applicati in spessori sottili, dotati di un ridotto peso specifico, che sostituiscono le prestazioni relative all'inerzia termica con quelle derivanti dall'isolamento. I materiali vengono spesso combinati per ottenere componenti a strati sottili che vanno a formare un unico elemento dotato spesso di un rivestimento esterno (pannelli già composti).

La definizione espressa però al paragrafo 4.1 in merito ai componenti opachi pesanti fa da contrappunto alla presente trattazione di quelli che vengono qui definiti come leggeri, sempre in relazione a quanto esprime il D.Lgs. n. 311 sul valore della massa superficiale delle pareti opache verticali, che si ricorda debba essere superiore a 230 kg/m^2 ; lo stesso decreto si è visto in che modo consenta di derogare a tale limite nel caso in cui si utilizzino tecniche e materiali che garantiscano comunque gli effetti positivi raggiungibili con pareti aventi massa superficiale superiore a 230 kg/m^2 .

Facendo riferimento alla trasmittanza termica periodica si riescono a prendere in considerazione dei componenti in grado di avere valori di smorzamento e di sfasamento dell'onda termica proveniente dall'esterno.

Si ipotizza dunque anche in questa sede una classificazione in componenti leggeri intraisolati, componenti a strati preassemblati e componenti basso emissivi.

4.2.1 Componenti opachi leggeri intraisolati

Studi e ricerche sul laterizio, svolti presso numerosi centri universitari, per valorizzare le sue qualità e migliorare le prestazioni in campo energetico, hanno portato all'introduzione sul mercato italiano di nuovi prodotti.

Un primo percorso di innovazione, avviatosi già da prima della normativa energetica, ma reso particolarmente evidente dalla richiesta di soluzioni performanti dal punto di vista dell'isolamento termico, è la porizzazione e l'"alleggerimento" del materiale di base.

La densità dell'impasto d'argilla cotta influisce notevolmente sul valore di conducibilità termica del prodotto finale: più il materiale è poroso, minore sarà la sua conduttività termica. La produzione si è da tempo orientata a inserire nell'impasto materiali, come segatura o scarti di cellulosa, che, bruciando durante il processo di cottura, lasciano dei micropori cavi che migliorano le prestazioni termiche, ottenendo un laterizio porizzato in pasta.

Un'altra interessante evoluzione produttiva riguarda lo studio di geometrie migliorate della foratura degli elementi, che ha portato, ad esempio, alla realizzazione di blocchi per murature a setti sottili, i quali abbinano ad una ridotta conducibilità termica elevati valori di sfasamento e ridotti valori di attenuazione (indicatori di inerzia termica): più il blocco è forato e "poroso", maggiore è la sua capacità di isolare termicamente. L'aumento del numero di file di fori nella direzione perpendicolare al flusso termico migliora le prestazioni di isolamento, riducendo la conducibilità termica degli elementi.

Scheda C1- Blocchi porizzati a setti sottili

I blocchi a setti sottili rappresentano la soluzione ottimale per la realizzazione di murature di tamponamento monostrato di solo laterizio.

La particolarità di questa nuova tipologia di blocchi consiste nel minor spessore dei setti interni (circa 5 mm) e nell'elevato numero di lamine d'aria (fino a 15) tese a contrastare il flusso termico: è possibile ottenere un elevato numero di file di fori nel senso perpendicolare al flusso termico, e si utilizzano al meglio le caratteristiche di conduttività dell'aria in quiete; questa particolare conformazione geometrica consente di ottenere dei valori di trasmittanza inferiori rispetto ai normali blocchi in commercio del medesimo spessore.

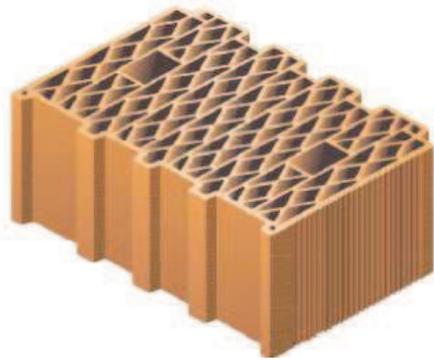


Fig. 4.5 Blocco 35x25x19 cm, disegno innovativo:
 $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ (argilla: 1560 kg/mc $\lambda = 0,36$
 W/mK); $\lambda_{eq} \text{ blocco} = 0,131 \text{ W/mK}$ (- 21%)

Questi blocchi sono presenti sul mercato in vari formati, a dimostrazione della grande versatilità e del diffuso utilizzo, sia per semplicità di posa che per economicità e facilità di reperimento. Il primo brevetto relativo a blocchi a setti sottili in laterizio risale al 1968, ma questa intuizione fu ripresa soltanto nei primi anni '90, con i brevetti depositati in Germania nel 1992 e nel 1993, brevetti poi estesi in Italia nel 1995. Un brevetto del Consorzio Alveolater è del 1994. L'anno successivo fu sperimentato il blocco Iper 30, risultato di una ricerca condotta in collaborazione con il Dipartimento di Energetica dell'Università Politecnica delle Marche. La limitata sensibilità alle problematiche energetiche di quegli anni non ha tuttavia consentito di apprezzare il contenuto innovativo dei nuovi prodotti, oggi certamente di attualità grazie ai Decreti 192 e 311.

Utilizzando il metodo di calcolo previsto dalla norma UNI EN 1745, assumendo per l'argilla una massa volumica netta di 1550 kg/m³ e una conduttività $\lambda_{10, dry} = 0,33$

W/mK, si può avere un confronto omogeneo con i prodotti tradizionali. Un blocco per tamponamento, di formato 30x25x19 cm ha un valore di conduttività equivalente di 0,175 W/mK e una trasmittanza di parete, priva di intonaco, pari a $U = 0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Un blocco 30x25x19 cm, a disegno evoluto ha una conduttività equivalente di 0,135 W/mK e una trasmittanza $U = 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$, con un miglioramento quindi del 14 %. Le prestazioni termiche di un blocco 30x25x19 cm, a setti sottili e disegno innovativo, migliorano ancora, a parità di spessore e di materia prima. La conduttività equivalente è di 0,126 W/mK e la trasmittanza U è di $0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ (- 22% rispetto ad una parete in blocchi tradizionali), che scende al $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ se la posa è fatta con malta termica.

Dal punto di vista dell'isolamento termico, la conduttività delle lame d'aria è funzione della dimensione delle cavità nelle quali l'aria è contenuta: in fori di grande dimensione l'aria non può più essere considerata in quiete e la sua capacità isolante diminuisce; mentre la capacità isolante aumenta se i fori sono di piccola dimensione. I blocchi in laterizio a setti sottili sfruttano al meglio le proprietà dell'aria in quiete, poiché sono caratterizzati da un elevato numero di file di piccoli fori nel senso perpendicolare al flusso termico. I pori presenti nell'impasto di tali materiali aiutano il comportamento dei blocchi in relazione all'isolamento termico.

Per questa tipologia di blocchi l'inerzia termica è uno dei principali motivi che genera l'utilizzo; infatti gli spessori delle murature realizzate con piccoli elementi vanno ad accrescere il valore dell'inerzia termica, garantendo un comportamento molto buono in quelle tipologie di involucri che sfruttano la massa per rispondere alle esigenze climatiche dell'edificio nel suo contesto.

Il valore della trasmittanza termica U è variabile a seconda della casa produttrice e, soprattutto, in virtù degli spessori; di seguito si riportano alcuni valori in relazione alle più diffuse dimensioni dei blocchi a setti sottili sul mercato:

tamponamento (b x l x h)

30 x 25 x 19 $U = 0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$ (con $\lambda_b = 0,126$, $\lambda_{eq} = 0,155$)

35 x 25 x 19 $U = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ (con $\lambda_b = 0,127$, $\lambda_{eq} = 0,158$)

38 x 25 x 19 $U = 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (con $\lambda_b = 0,128$, $\lambda_{eq} = 0,147$)

48 x 25 x 25 $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ (con $\lambda_b = 0,130$, $\lambda_{eq} = 0,152$)

Dal punto di vista del controllo del rumore, le pareti monostrato in laterizio a setti sottili isolano dai suoni anche con notevole contenuto di basse frequenze, e ciò le rende ideali per proteggere dai rumori del traffico; di seguito si riportano alcuni valori del potere fono isolante dei blocchi in laterizio a setti sottili in relazione alle dimensioni più diffuse sul mercato:

tamponamento (b x l x h)

30 x 25 x 19 $R_w = 48$ dB

35 x 25 x 19 $R_w = 50$ dB

38 x 25 x 19 $R_w = 51$ dB

48 x 25 x 25 $R_w = 53$ dB

Nel caso di blocchi semipieni o comunque di blocchi strutturali il disegno deve rispettare le prescrizioni geometriche previste dalle normative vigenti (il D.M. 14 gennaio 2008 fissa la percentuale di foratura e dimensione massima dei fori; i D.M. 20/11/87, 16/1/96 e l'Ordinanza 3431 fissavano anche lo spessore delle pareti esterne e dei setti interni); più libera è invece la progettazione di blocchi per esclusivo uso di tamponamento.

Riassumendo per i COMPONENTI OPACHI LEGGERI INTRAISSOLATI:

		inverno	estate	zona giorno	zona notte
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva	■	■	■	■
	Trasmittanza periodica	■	■	■	■
	Massa e capacità termica	■	■	■	■
	Effetto serra	■	■	■	■
ACUSTICI	Isolamento acustico	■	■	■	■
	Assorbimento acustico	■	■	■	■
SISMICI	Sicurezza	■	■	■	■
	Resistenza	■	■	■	■
	Efficienza	■	■	■	■
	Durabilità	■	■	■	■

Tabella 4.3_Legenda:

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

Questa tipologia di componenti è in grado di offrire buone prestazioni sia in regime estivo che invernale, sebbene probabilmente vada ad incidere maggiormente nel regime estivo e per le chiusure relative ad ambienti della zona giorno, avendo una massa in grado di offrire dei livelli significativi di capacità termica.

La tabella 4.3 mostra anche livelli elevati di prestazioni acustiche, soprattutto in materia di assorbimento acustico, cui contribuisce notevolmente la scelta dei materiali coibenti interposti nella struttura del blocco.

Dal punto di vista sismico, tali componenti hanno esclusiva funzione di tamponamento di strutture intelaiate: va in questa sede sottolineata la necessità di una elevata coesione tra i componenti, al fine di evitare che, in risposta ad un evento sismico, possano subire dei distacchi materici e strutturali.

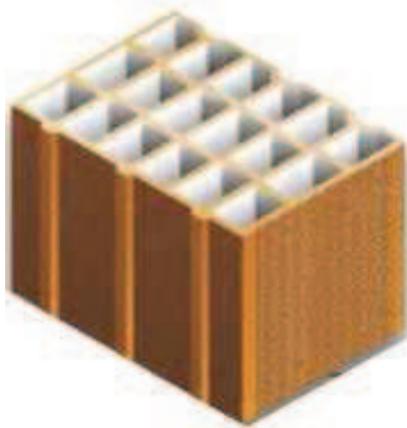
4.2.2 Componenti opachi leggeri basso emissivi

All'interno di questa ulteriore classificazione si inseriscono tutti quei componenti ad alta prestazione termoisolante, con trasmittanza totale $U \leq 2.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ secondo D.M. 11/03/2008, e potere fonoisolante superiore ai 40 dB (DPCM 5/12/97).

In particolare, si farà riferimento ad una serie particolare di blocchi trattati con vernici basso emissive, e si parlerà di infissi, dove i vetri basso emissivi (o *low-e*) sono diventati elemento imprescindibile per raggiungere elevati livelli sia di risparmio energetico che di ottimo controllo del rumore; inoltre, combinando i precedenti, accresce notevolmente il livello di confort interno.

Scheda D1 - Blocchi a cavità trattate con vernici bassoemissive

Il miglioramento delle prestazioni termiche dei blocchi può essere ottenuto anche variando l'emissività delle superfici interne delle cavità. Infatti, la componente di scambio termico nelle cavità è per gran parte dovuta all'irraggiamento ed in piccola parte alla conduzione e alla convezione, e quindi una riduzione dell'emissività delle superfici interne porta ad una significativa riduzione della trasmissione di calore nelle cavità stesse. La potenzialità di questa ipotesi è stata valutata calcolando la trasmittanza termica dei laterizi al variare dell'emissività delle camere interne. Il risultato della ricerca è un elemento nel quale le pareti di parte o di tutti i fori sono trattate con uno strato di vernice a bassa remissività termica. In questo modo si riducono sia le dispersioni termiche invernali, permettendo il ridimensionamento degli impianti di riscaldamento e dei consumi di combustibile, sia i carichi termici estivi che eventuali sistemi di climatizzazione devono contrastare, diminuendo il consumo energetico e permettendo, quindi, un miglior comfort all'interno dei locali.



Secondo una recente ricerca⁵ questi blocchi trattati con vernici basso emissive hanno una trasmittanza termica di $0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$, il 23% in meno rispetto a quelli non trattati.

Inizialmente si è proceduto ad una valutazione teorica della trasmittanza del blocco base assumendo per l'argilla una conduttività pari a $0,47 \text{ W/mK}$, valore di tabella Prospetto A1 secondo la Norma UNI EN 1745 per massa 1.600 kg/m^3 . La conduttanza media del blocco, su tre provini, è risultata di $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$. e la trasmittanza media del blocco pari a $0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ipotizzando invece un'emissività delle cavità pari a $0,5$, la conduttanza media del blocco, sempre su tre provini, è risultata pari a $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ e la trasmittanza media del blocco pari a $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$.

⁵ Dipartimento di energetica dell'Università Politecnica delle Marche, ricerca seguita dal professor Principi e dall'Ing. Fioretti.

Sebbene i valori sperimentali siano risultati ampiamente superiori a quelli teorici, è tuttavia evidente un netto miglioramento delle prestazioni dei blocchi trattati. Grazie a questi risultati è quindi possibile prevedere interessanti sviluppi sia nell'analisi di diverse vernici che nello studio di forme di blocchi e di forature che ottimizzino il contributo apportato da questa nuova tecnologia.

Riassumendo per i COMPONENTI OPACHI LEGGERI BASSOEMISSIVI:

		<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva				
	Trasmittanza periodica				
	Massa e capacità termica				
	Effetto serra				
ACUSTICI	Isolamento acustico				
	Assorbimento acustico				
SISMICI	Sicurezza				
	Resistenza				
	Efficienza				
	Durabilità				

Tabella 4.5 *Legenda:*

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

L'utilizzo di tali componenti è al momento in fase sperimentale; interessanti le applicazioni per le porzioni di involucro sia relative ad unità ambientali della zona giorno che della zona notte, considerate le prestazioni soprattutto in termini di isolamento e bassi valori di trasmittanza termica.

In conclusione, massiccio o leggero?

Dall'indagine dello stato dell'arte, è emerso come il dibattito sul tema energetico sia particolarmente animato rispetto alla questione della definizione del corretto rapporto tra soluzioni tecniche iperleggere (costituite da solo materiale isolante, utilizzato in grandi spessori) e soluzioni tecniche massive in muratura (spesso anch'esse monostrato). Ricerche internazionali sul tema hanno cercato di delineare come la presenza sia della massa, con ruolo di inerzia termica, sia dell'isolamento, con ruolo di barriera alle dispersioni, sia parimenti importante per il contributo dato al risparmio energetico e al comfort termico. A fronte di una normativa energetica italiana che privilegia il ruolo dell'isolamento (imponendo valori di trasmittanza termica limite e richiedendo la verifica del solo FEP invernale, trascurando la questione estiva), per quantificare il ruolo della massa in Italia sono state condotte, su diverse tipologie di edificio e in diverse zone climatiche, alcune simulazioni energetiche in regime dinamico (DOE.2), per testare diverse soluzioni di involucro.

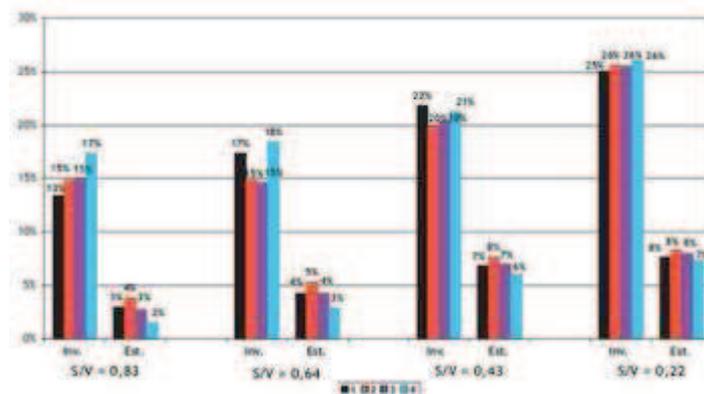


Figura 4.6 *Involucro leggero vs involucro massiccio: nel grafico sono riportate le riduzioni percentuali di fabbisogno termico invernale ed estivo delle tipologie in laterizio rispetto a quella "iperleggera".*

Nell'ambito di una ricerca svolta al Politecnico di Milano, si è voluto verificare quale ruolo avesse, in termini di efficacia prestazionale, la capacità termica dell'involucro edilizio, a parità delle restanti soluzioni costruttive adottate (partizioni verticali interne e solai). A tale scopo, con il codice di calcolo DOE-2 è stato condotto un set di simulazioni su alcuni edifici-tipo di diversa dimensione (rapporti S/V pari a 0.22, 0.43, 0.64 e 0.83, rispettivamente), con modalità occupazionali e gestionali costanti

nel tempo, variando le sole caratteristiche delle murature perimetrali, confrontando cioè le prestazioni date da stratigrafie di involucro convenzionali in laterizio rispetto a quelle ottenute da un involucro “iperleggero” (isolante in sandwich), a parità di trasmittanza termica risultante $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La sensibilità del codice di calcolo dinamico utilizzato ha diagnosticato scostamenti prestazionali significativi in presenza di involucro edilizio dotato di capacità termica, sia per quanto riguarda il fabbisogno di energia termica sia invernale che estivo.

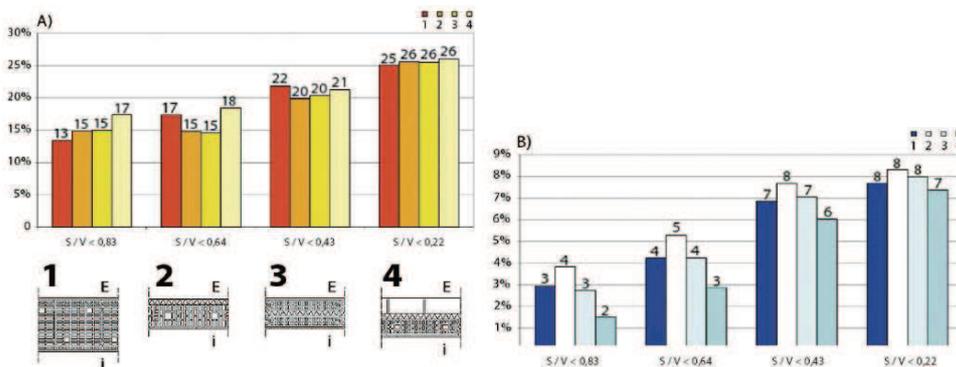


Figure 4.7 e 4.8_A riduzione del fabbisogno energetico invernale nei quattro pacchetti di involucro presi in considerazione (a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso) rispetto al tamponamento leggero;

B) riduzione del fabbisogno energetico estivo nei quattro pacchetti di involucro presi in considerazione (a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso) rispetto al tamponamento leggero.⁶

Ne è emerso che la soluzione priva di massa può richiedere consumi energetici, sia invernali che estivi, fino al 30% in più rispetto a soluzioni massive (a parità di trasmittanza termica e condizioni d'uso). Ulteriori verifiche di dettaglio sono state condotte sul rapporto tra massa e isolamento termico nella stratigrafia di involucro: tramite la valutazione delle caratteristiche dinamiche (UNI 13786) sono stati definiti i valori di ritardo/sfasamento e attenuazione/decremento, dimostrando che sostanzialmente non vi è un ruolo significativo del posizionamento dell'isolante nelle stratigrafie esaminate, ma quello che conta è il giusto equilibrio tra spessore

⁶ Risultati delle simulazioni energetiche in regime dinamico (condotte con DOE.2) di diverse soluzioni di involucro (a parità di trasmittanza e condizioni d'uso) per diverse tipologie di edifici, a Roma, op. cit..

dello strato massivo e spessore dello strato isolante (in base anche alle caratteristiche materiche dei componenti utilizzati). La ricerca, inoltre, ha affiancato alle valutazioni energetiche anche la verifica dei costi di costruzione e il computo dell'energia incorporata nelle soluzioni tecniche analizzate, al fine di accertare l'effettiva "sostenibilità" di scelte finalizzate al risparmio energetico anche sotto il profilo della riduzione degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita (LCA).

I percorsi evoluti sono caratterizzati dalla ricerca di un equilibrio e di un giusto rapporto tra "leggerezza", per diminuire la trasmissione del calore e isolare termicamente, e "massa", per stabilizzare le temperature e garantire una idonea inerzia termica. Nel dualismo "leggero" e "massivo", il prodotto migliore in termini di isolamento termico tende a essere il peggiore dal punto di vista della capacità termica, e viceversa. Gli orientamenti della ricerca sull'innovazione dei prodotti - specialmente in laterizio - stanno portando al progressivo alleggerimento dei componenti (forati, alleggeriti, porizzati, ecc.) a scapito della massa capacitiva. Nel panorama delle soluzioni possibili, risulta quindi importante verificare quali prodotti riescano a soddisfare contemporaneamente entrambe le prestazioni termiche (isolamento e inerzia), raggiungendo un equilibrio: per esempio, i blocchi a setti sottili hanno una ridotta conducibilità termica, ma garantiscono, nel contempo, anche elevati livelli di inerzia termica.



Figura 4.9 Blocco a fori verticali riempito con materiale a cambiamento di fase (PCM): il materiale a cambiamento di fase è in grado di accumulare il calore latente e rilasciarlo con uno sfasamento di tempo, in modo da ridurre le oscillazioni di temperatura all'interno degli ambienti e garantire una elevata inerzia termica. I granuli di materiale sono contenuti in sacchetti onde evitarne la dispersione. Si tratta di una tecnologia interessante, ma ancora poco applicabile per gli alti costi dei materiali PCM (paraffina, ecc.).

4.3 Componenti trasparenti o traslucidi

Appartengono a questa famiglia tutti quei componenti che portano alla realizzazione di elementi trasparenti all'interno dell'involucro edilizio, sia esso continuo o semplicemente intervallato da elementi trasparenti.

I componenti trasparenti di chiusura dell'edificio, oltre alle comuni prestazioni riferibili alle chiusure stesse (protezione dagli agenti atmosferici, eventuale ventilazione dei vani interni, protezione dal rumore, ecc.), per le caratteristiche fisiche che li contraddistinguono essi sono in grado di offrire prestazioni principalmente legate all'isolamento termico ed acustico, e al recupero di calore da irraggiamento. Il livello del controllo delle dispersioni termiche (estive ma, soprattutto, invernali) è funzionale alle caratteristiche fisiche della struttura di supporto e fissaggio delle lastre e alle caratteristiche e alle proprietà termiche del tamponamento trasparente.

La finestra, in quanto apertura nell'involucro verticale di un edificio, permette un'interrelazione tra l'esterno e l'interno, consente lo scambio luminoso, termico, acustico, la ventilazione naturale e la vista; la progettazione e l'uso corretto di questo componente può migliorare in modo rilevante gli aspetti visivi di un edificio.

Il passo successivo è legato all'evoluzione dell'infisso verso la realizzazione di involucri trasparenti più complessi, dove i componenti diventano essenziali per la realizzazione ed il mantenimento di alti standard prestazionali termici, acustici e strutturali (per cui antisismici).

Si riporta in questo specifico punto della trattazione - essendo principalmente legato alla prestazione ed al corretto utilizzo progettuale dei componenti trasparenti - uno zoom tematico sul tema degli apporti solari gratuiti, che possono essere di due tipologie, diretto o indiretto.

Guadagno diretto

Il guadagno diretto, nel riscaldamento solare passivo, è ottenuto tramite la penetrazione, direttamente all'interno degli ambienti abitati, della radiazione solare.

Le superfici trasparenti permettono l'ingresso della radiazione solare direttamente

nell'ambiente. Le superfici che delimitano l'ambiente, le pareti e il pavimento, vengono direttamente investite dalla radiazione solare e l'insieme di tali elementi forma l'accumulo. Per migliorare la diffusione dei raggi solari all'interno dello spazio abitato è necessario che le aperture vetrate siano alte e tendenti ad avvicinarsi, il più possibile, all'intradosso del solaio soprastante. Va anche considerato che il sistema delle aperture vetrate deve, al tempo stesso, consentire l'inserimento di ingressi, uscite, vani di ventilazione e integrare altre funzioni quali: percezione dell'ambiente esterno, percezione dall'esterno. La superficie di guadagno termico va quindi calibrata temperando le esigenze di comfort termico e di visuale. Il criterio termico corretto della progettazione passiva consiste nel limitare, in termini accettabili, l'escursione termica giornaliera, mantenendo la temperatura in limiti che non eccedano quello del comfort.

Il guadagno diretto costituisce la più semplice configurazione di un sistema solare passivo. Nelle ore diurne la radiazione solare che attraversa le superfici trasparenti incide su pavimento e pareti, viene parzialmente assorbita e convertita in calore. Questo calore provoca un aumento della temperatura dei corpi e una conseguente cessione di calore all'ambiente per convezione dell'aria. Il calore immagazzinato, a seconda della capacità termica delle varie parti esposte alla radiazione solare, viene restituito nelle ore notturne.

Nei sistemi passivi, la quantità di fabbisogno termico da fornire con l'impianto di riscaldamento va regolata secondo le necessità termiche che variano in funzione di più parametri (orario, presenza di persone, macchinari accesi, ecc.) La soluzione ideale richiederebbe una regolazione, comandata da sensori di temperatura, in ogni ambiente. Per migliorare l'efficienza del sistema, è importante impiegare schermature mobili (persiane, avvolgibili, tende) che riducono le dispersioni di calore attraverso le superfici trasparenti nelle ore notturne.

Guadagno indiretto

Il sistema a guadagno indiretto, nel riscaldamento solare passivo, consiste nell'interporre elementi per l'accumulo termico, o pareti isolate, tra la zona a guadagno solare diretto e gli spazi utilizzati. Tali sistemi sono soggetti a controlli più precisi e producono minori surriscaldamenti e sbalzi di temperatura dei sistemi a

guadagno diretto.

In questo gruppo di sistemi passivi la radiazione non penetra direttamente negli ambienti abitati perché viene intercettata dal collettore, che può essere di forma e natura molto diverse. Il calore prodotto dalla conversione della radiazione solare dovrà poi giungere agli ambienti, con meccanismi prevalentemente naturali.

Le scelte più frequenti consistono nell'impiego di muri di accumulo, serre e collettori a convezione naturale, muri di Trombe.

L'inserimento di queste attrezzature va ovviamente valutato tenendo conto di considerazioni di ordine economico e di integrazione architettonica.

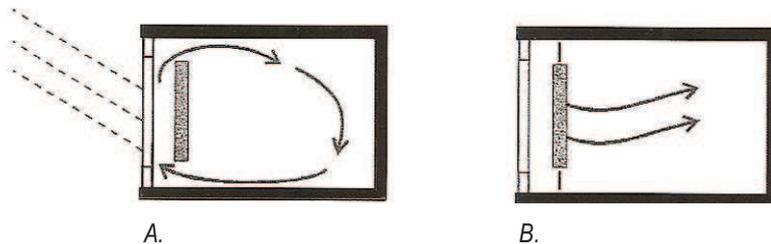


Figura 4.10_A. Funzionamento invernale diurno: una serra bioclimatica durante le giornate invernali massimizza la captazione di energia solare. La serra produce i massimi benefici in presenza di radiazione diretta sulla superficie vetrata chiusa, anche se in presenza di temperature non troppo basse e con una struttura trasparente è sufficientemente isolata, la serra potrà dare un contributo energetico positivo anche in una giornata nuvolosa.

Figura 4.11_B. Funzionamento invernale notturno: durante le notti invernali l'obiettivo è quello di minimizzare le dispersioni della serra bioclimatica verso l'esterno. Per fare questo innanzitutto la parte vetrata della serra dovrà essere realizzata con vetri e serramenti che minimizzino la dispersione termica e inoltre utilizzare tende e/o pannelli rigidi rimovibili.

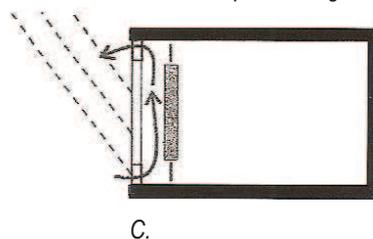


Figura 4.12_C. Funzionamento estivo.

Le serre sono nate principalmente per apportare un beneficio termico durante i mesi invernali, ma dato che molto spesso sono parte integrante della casa bisognerà predisporre dei sistemi di ombreggiamento per impedire alla radiazione solare di attraversare le superfici vetrate. Inoltre bisognerà predisporre dei sistemi di aerazione per impedire il verificarsi dell'effetto serra. Nelle notti estive bisognerà garantire la massima dispersione energetica sia sotto forma radiante che sotto forma di convezione delle masse termiche della serra verso l'esterno, in modo da raffrescare la serra e l'edificio creando anche dei moti d'aria interni attraverso delle aperture nell'edificio.

4.3.1 Componenti trasparenti inraisolati

Rientrano in questa categorizzazione quei componenti trasparenti che possiedono già al loro interno una serie di caratteristiche, molto spesso innovative, in grado di fornire adeguate risposte alle numerose richieste prestazionali che la porzione trasparente dell'involucro edilizio è tenuta a soddisfare.

Nello specifico, questa classe di materiali comprende anche quelli che, in base alla loro struttura geometrica, risultano dotati di particolari proprietà termiche che li rendono paragonabili ad alcuni dei componenti opachi, pur mantenendo un alto passaggio della luce, come le varie tipologie di TIM.

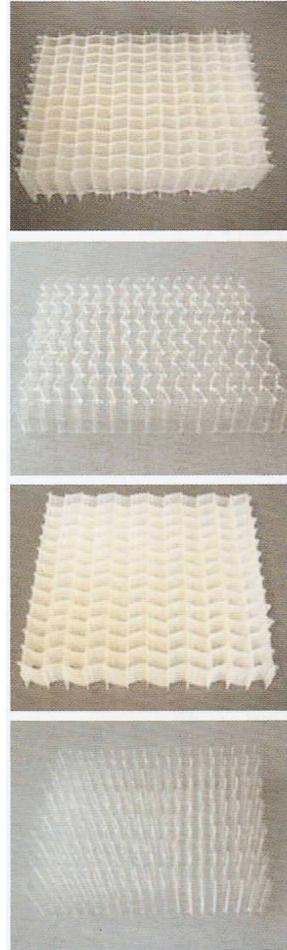
Rientrano inoltre in questa categoria quei componenti trasparenti o traslucidi in grado di offrire prestazioni elevate grazie al loro cambiamento o di stato o delle proprietà intrinseche: vi rientrano i vetri elettrocromici che subiscono un piccolo trasferimento di carica elettrica sotto l'applicazione di un campo elettrico a tensione relativamente bassa; i termo cromici, ovvero i materiali trasparenti che modificano le proprietà ottiche in funzione della variazione di temperatura tramite una reazione chimica reversibile; ed anche i materiali fotocromici che cambiano le proprie caratteristiche quando sono esposti alla luce, principalmente ai raggi UV, per poi ritornare al loro stato originale quando vengono oscurati.

Questi componenti innovativi offrono molteplici soluzioni applicative, ad oggi sperimentali ed in fase continua di studio.⁷

⁷ La classificazione parte dalle definizioni che di tali materiali ha dato Tucci, F., op. cit.

Scheda E1 – TIM (*Transparent Insulated Materials*)

Questa classe di materiali deve il proprio nome alla caratteristica di avere proprietà termiche paragonabili a quelle di componenti opachi, conservando un alto valore di trasmittanza luminosa. A tal fine si utilizzano delle strutture geometriche per limitare le dispersioni termiche dovute a convezione e irraggiamento. In pratica con del materiale plastico (in alcuni prototipi anche in vetro) trasparente nel visibile e nel vicino infrarosso ma opaco nel lontano infrarosso possono esser realizzati involucri atti a bloccare i moti convettivi dell'aria e ridurre lo scambio radiativo. Tali materiali, in base alla loro struttura geometrica, si possono classificare in due gruppi. Il primo è costituito da strutture multiple parallele: vetrate o film di plastica (completamente trasparenti o traslucidi). Con l'aumentare del numero degli elementi aumenta la capacità isolante, ma anche il numero delle riflessioni interne, riducendo in tal modo la trasmissione della radiazione solare. Al secondo appartengono materiali con strutture composite, perpendicolari alla superficie vetrata, realizzate per direzionare le radiazioni verso l'interno.



In questo caso va detto che ad ogni passaggio attraverso queste barriere parte della radiazione viene riflessa verso l'esterno e persa irrimediabilmente. Ciò limita fortemente il numero di strati realizzabili, per evitare un'attenuazione drammatica della trasmittanza complessiva. In questo caso le barriere vengono mantenute parallele alla direzione di propagazione e, nel caso ideale di assenza di assorbimento e diffusione durante l'attraversamento delle pareti, tutta la radiazione incidente raggiunge, indipendentemente dal numero di successive riflessioni e trasmissioni, l'altra estremità del materiale. Inoltre lo spessore dello strato non è influente, ancora nella situazione ideale, sulle proprietà ottiche.

In realtà fenomeni di assorbimento e di diffusione, anche se minimi, avvengono senza peraltro pregiudicare le prestazioni di tali materiali che vengono realizzati con spessori fino a 50 cm.

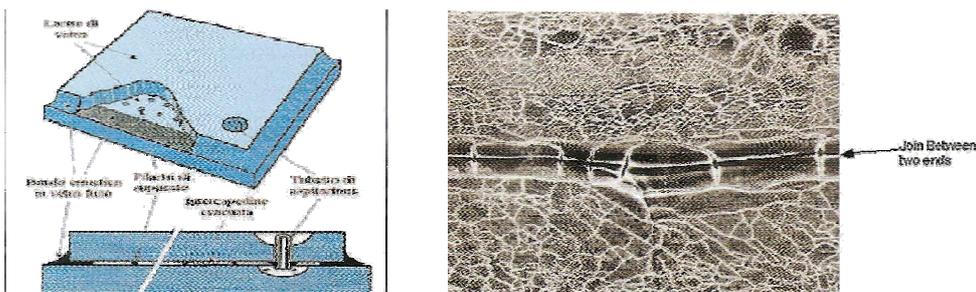
Eccezionali dal punto di vista energetico sono le prestazioni quando il sistema TIM è applicato su un muro massivo con interposto un sottile strato scuro assorbente, per favorire l'accumulo termico passivo nel muro stesso sul principio del Trombe.

Nelle immagini della pagina precedente sono riportate alcune configurazioni geometriche dello strato di TIM, variabili a seconda delle esigenze energetiche di captazione dell'irraggiamento solare e del grado di isolamento termico che si vuole conferire all'involucro rispetto al contesto climatico, all'orientamento dell'edificio e agli obiettivi di efficienza energetica rispetto al suo comportamento di tipo "passivo".

Scheda E2 – Vetri evacuati

Il principio di funzionamento dei cosiddetti "vetri evacuati" è estremamente semplice: se nell'intercapedine tra due lastre di vetro, dotate di rivestimenti selettivi basso emissivi, viene pompata fuori l'aria fino al raggiungimento di una pressione assoluta pari a 10^{-7} atm, gli scambi convettivi tra le lastre sono completamente assenti e gli scambi radiativi estremamente ridotti cosicché le dispersioni totali sono molto basse. Per evitare che, a causa della depressione esistente, le lastre (distanti 0.3-0.5 mm) collasino una sull'altra, è necessario disporre dei sistemi di separazione (*pillars*) costituiti da minuscoli "pilastrini" di *indio* - materiale che reagisce bene alle sollecitazioni di compressione atmosferica imposta dal sistema di pressione - disposti su una maglia regolare e con dimensioni praticamente invisibili ad occhio nudo.

Di particolare importanza è il sistema di sigillatura per la tenuta del vuoto, sistema delicato sottoposto a diverse sollecitazioni, senza il quale vengono pregiudicate le prestazioni dell'intero sistema e che necessita di particolari accorgimenti in fase di montaggio. Inoltre il passaggio di calore avviene principalmente attraverso i bordi per cui risulta importante anche in fase di progettazione e montaggio tenere presenti tali problematiche.



Le prestazioni di tali finestre sono eccellenti, si raggiungono trasmittanze termiche di 0.6-0.8 W/m²K, e l'aspetto esteriore è quello di un doppio vetro normale.

Tali componenti sono ancora in fase prototipale in quanto esistono ancora dei problemi per le guarnizioni laterali, per la disposizione automatica dei *pillars* e per la tenuta agli stress termici, anche se già sul mercato si trovano alcuni prodotti commerciali (*Ashai glass* e *Nippon sheet glass*), applicati in vetrate di piccole

dimensioni, ma si stanno tentando applicazioni più estese.

La ricerca, oltre a consolidare i risultati raggiunti, si muove nella direzione dell'utilizzo sempre più esteso e più spinto dei sistemi di controllo informatizzati che regolano la presenza del vuoto tra le lastre sfruttando i guadagni termici in inverno (viene ripristinato il gas nobile o l'aria tra le lastre) ed escludendoli in estate (si ristabilisce il vuoto tra le lastre, che viene rimesso sotto pressione).

Le prime e peraltro pochissime sperimentazioni applicative di tali involucri vetriati in edilizia si sono avute in questi ultimi anni prevalentemente in Giappone, dove comunque si cominciano a contare interessanti risultati a Tokyo, Osaka e Okayama, sia nell'edilizia residenziale che terziaria.

Scheda E3 – Aerogel

Sono materiali costituiti da particelle di silice; la disposizione spaziale di tali particelle è realizzata grazie a particolari processi produttivi delle strutture microcellulari porose. Una delle caratteristiche fisiche più importanti di questi materiali è la scarsissima densità apparente: solo il 2-5% del volume, infatti, è costituito da silice, mentre il restante 95-98% è riempito di aria, di conseguenza la densità volumetrica è pari ad appena 3 Kg/mc.

Dal punto di vista delle proprietà termiche essi presentano un comportamento molto interessante: si riescono a raggiungere valori di conduttività di 0.1- 0.2 W/mK paragonabili a quelli dei migliori materiali isolanti. L'estrema fragilità e la necessità di essere protetti dall'umidità sono i maggiori problemi che devono essere affrontati negli aerogel, che vengono solitamente realizzati in due formati: granulare e monolitico; nel primo caso il materiale di base viene prodotto in forma di palline di circa 8-12 mm di diametro, con cui viene riempita l'intercapedine tra due vetri che svolgono anche una funzione protettiva; a causa delle discontinuità superficiali il componente è traslucido. Nel secondo caso, gli aerogel monolitici sono costituiti da lastre di spessore variabile tra 8 e 20 mm e in questo caso, pur rimanendo l'effetto generale di diffusione, si mantiene molto meglio la caratteristica di visibilità, quindi possono essere applicati anche addirittura in sostituzione delle finestre. Si potrebbe pensare che gli aerogel siano una recente scoperta della più moderna tecnologia: in realtà i primi campioni di questi materiali furono prodotti nel 1931, anno in cui Steven Kistler suppose, correttamente, che la componente solida del gel fosse microporosa e che l'interfaccia liquido-vapore del liquido evaporante esercitasse delle intense forze di tensione superficiale, che portavano alla distruzione della struttura dei pori. Kistler intuì quindi l'aspetto chiave della produzione degli aerogel: sostituire il liquido con aria, facendolo passare attraverso condizioni supercritiche in cui, pertanto, non fossero presenti contemporaneamente le due fasi e fossero così assenti le tensioni superficiali. Gli aerogel furono ripresi alla fine degli anni '70: tra gli sviluppi più recenti vanno segnalati la messa a punto di metodi di produzione non pericolosi, ossia a più alto grado di sicurezza; la possibilità di sostituire la fase

supercritica modificando chimicamente la superficie del gel e portando i costi di produzione al livello della commercializzazione.

Con il costante sviluppo della ricerca ci si aspettano sviluppi sia nella tecnologia sia nelle possibilità di applicazione.

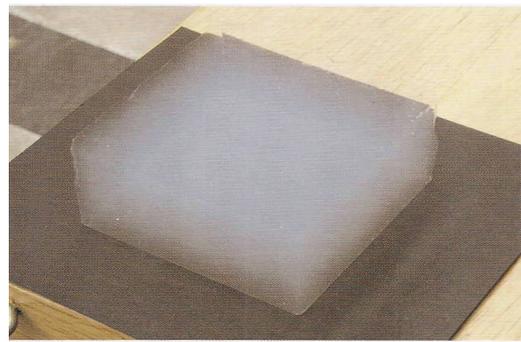
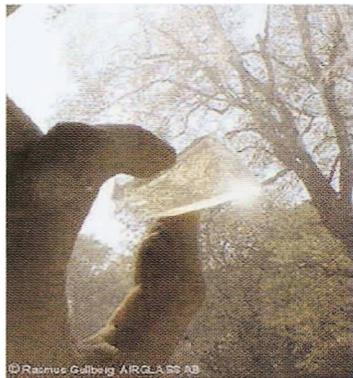


Figure 4.13 e 4.14 *La produzione del materiale Aerogel in laboratorio è cosa particolarmente complessa, che si è affinata e perfezionata nel corso di decenni di prove, insuccessi e, finalmente, di recenti successi.*

L'aerogel viene prodotto in mattonelle di dimensioni tipicamente 10 x 10 cm e di spessori comunemente di 1 cm; si producono attualmente due tipi di aerogel: igroscopico (cioè assorbe vapor d'acqua), o idrofobico, cioè impermeabile al vapor d'acqua. Nel primo caso le mattonelle di aerogel vanno protette dall'aria, da cui assorbono l'umidità. In genere le si sigillano in un contenitore impermeabile all'aria oppure le si mantengono in ambiente secco, per esempio in atmosfera di azoto.



L'immagine di una piccola porzione di materiale Aerogel allo stato solido evoca tutte le caratteristiche del materiale: leggerezza (pesa appena 3 volte l'aria e 10 volte meno del più leggero coibente termico), trasparenza (il diametro medio sia della particella primaria costituente il materiale sia dei pori risulta sensibilmente inferiore alla lunghezza d'onda della radiazione visibile), e resistenza al passaggio del calore (vista la esigua frazione di solido di cui è composto il materiale, esso offre un'altissima resistenza alle dispersioni di calore).

Scheda E4 – Vetri elettrocromici

Il fenomeno dell'elettrocromismo si manifesta in parecchi composti inorganici e organici (compresi alcuni polimeri). Ci sono due categorie principali di materiali elettrocromici: ossidi dei metalli di transizione e composti organici. Alcuni dei più comuni vengono elencati nella tabella della pagina seguente. L'effetto elettrocromico avviene nei composti inorganici per effetto della contemporanea iniezione o estrazione di ioni (M^+) e elettroni (e^-). Il cambiamento della densità di elettroni nello strato elettrocromico (necessario a mantenere la neutralità elettrica e provocato dall'inserzione/estrazione di ioni) è il fattore che modula il comportamento ottico.



I vetri elettrocromici sono costituiti da due lastre elettrochimiche i cui elettrodi chimicamente attivi (materiali elettrocromici) sono depositati sotto forma di film sottili in superficie.

Il processo elettrocromico consiste nel cambio di stato di questi materiali, a seguito di un piccolo trasferimento di carica elettrica sotto l'applicazione di un campo elettrico a tensione relativamente bassa (1-5 V). Uno dei maggiori vantaggi dei dispositivi elettrocromici è quello di essere particolarmente adatti ad applicazioni che richiedono grandi estensioni di superfici, soprattutto in rapporto alle loro caratteristiche prevalenti che risiedono nel fornire un alto contrasto, un angolo di visuale non ristretto, e nel fatto che, interrompendo l'alimentazione elettrica, questi materiali mantengono il loro stato per lunghi tempi (effetto memoria a circuito aperto), tutti fattori che ben si adattano a dimensioni piuttosto estese.

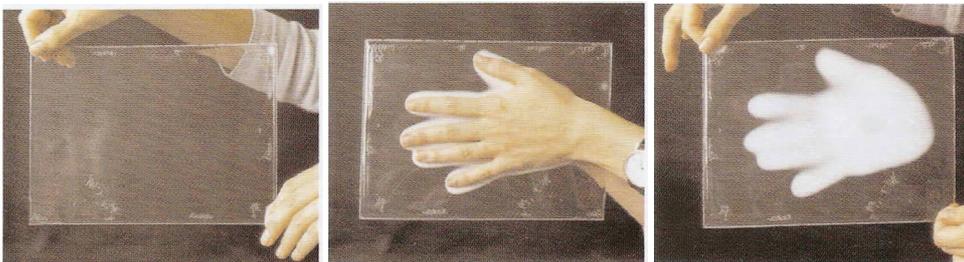
Nel concreto, un dispositivo elettrocromico consiste di un multistrato depositato su un supporto di vetro o di plastica. Tale multistrato deve essere progettato e realizzato in modo tale da immagazzinare ioni e farli viaggiare avanti e indietro, inserendoli o estraendoli dallo strato di materiale elettrocromico, per mezzo della applicazione di una tensione elettrica. La conduttività elettronica e ionica dello

strato elettrocromico devono assicurare una modulazione ottica veloce. Il trasporto ionico è spesso il fattore limitante, così che il film elettrocromico deve possedere una struttura che permetta facilmente l'inserzione e l'estrazione degli ioni.

Lo strato serbatoio di ioni deve possedere caratteristiche di conduttività ionica/elettronica simili a quelle dello strato elettrocromico primario. Per assicurare uniformità di colorazione, il conduttore ionico dovrebbe avere una bassa conduttività elettrica e i conduttori trasparenti una bassissima resistività elettrica.

Scheda F5 – Vetri termocromici

Sono definiti termocromici quei materiali trasparenti che modificano le proprietà ottiche in funzione della variazione di temperatura. Ciò avviene tramite reazione chimica reversibile una volta ripristinate le condizioni termiche entro le quali è statica la reattività chimica. A modificare le caratteristiche di un materiale termocromico può essere una modifica dell'equilibrio molecolare, tramite reazione chimica indotta, oppure la transizione della struttura cristallina.



Il comportamento termocromico si può avere con svariati composti organici, inorganici e in film di ossidi metallici, i quali presentano la particolarità di trasformarsi in conduttori a determinate temperature. La soglia dei 70°C è uno dei punti critici di questi materiali anche se molto si sta facendo per abbassare la temperatura critica alla soglia della temperatura media ambientale.

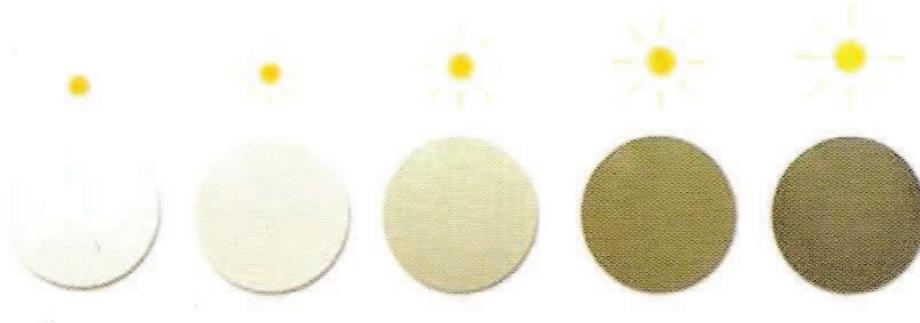
Prestazioni termocromiche sono state raggiunte con l'invenzione di speciali gel inseriti tra due strati di film plastici: le molecole polimeriche restano trasparenti fino a una temperatura critica. che, se superata, riduce la trasparenza fino a rendere il materiale opaco con colorazione biancastra contribuendo a riflettere la radiazione solare. Negli elementi di involucro, quando cioè i materiali termocromici espongono le due facce (interna ed esterna) a condizioni termiche differenti, occorre regolare la reazione del materiale in relazione alle prestazioni richieste. Per modulare il passaggio di luce e calore in quantità idonee è stato adottato un sistema in cui il comportamento del gel dipenda al 75% dalla variazione di temperatura interna e al 25% dalla variazione di quella esterna: a questo punto il gel viene isolato dall'esterno per mezzo di uno strato isolante trasparente consentendogli la massima trasparenza in una giornata invernale fredda mentre, in una giornata estiva, il maggiore guadagno solare provoca

l'oscuramento del materiale.

Il comportamento dei materiali termocromici nei confronti della radiazione solare consente di migliorare i consumi energetici dell'edificio diminuendo i carichi di raffreddamento e creando una condizione climatica ambientale migliore; un'altra caratteristica estremamente interessante per l'applicazione nell'edilizia di questi dispositivi riguarda l'alta percentuale di luce trasmessa sia nello stato trasparente che in quello opaco. Occorre comunque sottolineare che la trasmissione di luce che caratterizza questi materiali è diffusa, ovvero anche quando il materiale è nello stato chiaro le immagini trasmesse non risultano mai nitide. Questa caratteristica rende i termocromici, particolarmente adatti per applicazioni in cui non è richiesta la visibilità ed è invece desiderabile la privacy o comunque un effetto di schermatura. L'utilizzo dei pannelli termocromici come componenti di facciata dove è richiesta una buona visibilità, è possibile se si osserva l'accorgimento di inserire i pannelli termocromici alternati a pannelli convenzionali trasparenti, collocandoli preferibilmente nelle zone al di sopra o al di sotto della fascia di visibilità.

Scheda E6 – Vetri fotocromici

I materiali fotocromici cambiano le proprie caratteristiche quando sono esposti alla luce, principalmente ai raggi UV, e ritornano al loro stato originale quando vengono oscurati. Il fenomeno avviene in un gran numero di composti, sia organici che inorganici. L'utilizzo più comune di materiali fotocromici è nelle lenti per occhiali da sole: poiché comunque tali materiali non possono, al momento, essere prodotti usando il processo *float glass*, mediante il quale vengono realizzati i vetri per l'edilizia, il loro utilizzo in architettura è per ora eccessivamente costoso ed applicabile solo ad edifici-pilota che godono di particolari finanziamenti.



Di fatto, allo stato dell'arte delle esperienze di ricerca, quello che gradualmente era un film trasparente scurisce in toni di grigio e nero; quando la luce è bloccata, la reazione si inverte. Finestre o intere facciate "intelligenti" basate sull'uso di queste tecnologie potrebbero rimanere trasparenti mentre il sole è basso nel cielo, e scurirsi gradualmente come quando sorge e comincia a scaldare gli spazi interni di un edificio. I potenziali vantaggi sono evidenti: evitando l'ingresso della radiazione solare ed il conseguente sviluppo di energia termica per effetto serra, l'edificio riduce il suo bisogno energetico per produrre raffrescamento artificiale, il che significa riduzione dell'inquinamento dell'aria e sensibile risparmio economico. Quando il sole tramonta i livelli di luce esterna calano e la vetratura gradualmente torna alla sua normale trasparenza.

Riassumendo per i COMPONENTI TRASPARENTI INTRAISOLATI:

		inverno	estate	zona giorno	zona notte
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva				
	Trasmittanza periodica				
	Massa e capacità termica				
	Effetto serra				
ACUSTICI	Isolamento acustico				
	Assorbimento acustico				
SISMICI	Sicurezza				
	Resistenza				
	Efficienza				
	Durabilità				

Tabella 4.6_Legenda:

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

Viste le loro caratteristiche, tali componenti sono applicabili in tutte le porzioni di involucro trasparente, soprattutto in quelle relative alle zone giorno, che principalmente in inverno e grazie all'effetto serra sono in grado di aumentare l'accumulo termico dovuto all'irradianza solare. Taluni di tali componenti, come descritto nelle schede, possono offrire prestazioni interessanti anche in ambito acustico. Dal punto di vista sismico, tali componenti hanno esclusiva funzione di tamponamento per le specchiature: va comunque sottolineata la necessità di una elevata prestazione relativa alla resistenza all'urto ed alle azioni sismiche, al fine di mantenere comunque alti valori prestazionali in termini di sicurezza.

4.3.2 Componenti trasparenti preassemblati

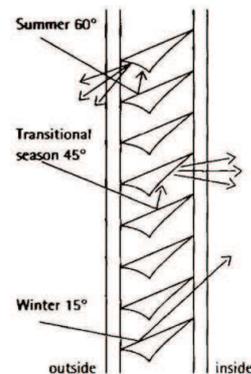
Poiché la trattazione della trasparenza, come già indicato, risulta essenziale nella composizione di un involucro tradizionale, la ricerca ha negli anni proseguito i suoi studi, in campo nazionale ad internazionale, alla ricerca di prodotti che potessero essere, oltre che trasparenti o traslucidi, anche detentori di molte altre caratteristiche tecniche in grado di far accrescere le prestazioni termiche ed acustiche della parte trasparente dell'involucro edilizio verticale.

Si riporta di seguito una classificazione dei più innovativi tra questi componenti preassemblati, anche riferendosi alle applicazioni che negli ultimi anni li hanno visti protagonisti.

Scheda F1 – Vetri a selettività angolare

Fanno parte di questa categoria di componenti quegli elementi vetrati la cui forma e la cui composizione materica servono per indirizzare verso direzioni particolari e controllate la radiazione solare incidente o che presentano valori di trasmittanza particolarmente alti per alcuni angoli di incidenza.

Sono costituiti da un elemento in vetro termico basso emissivo con intercapedine eventualmente riempita di gas nobili ospitante in modo integrato una serie di lamelle fisse schermanti ad alta capacità di riflessione.



La presenza nell'intercapedine di tali elementi consente l'ingresso di una quantità variabile di radiazione solare diretta (e quindi di energia e calore) in relazione all'altezza solare. In questo modo si ottengono prestazioni dell'edificio e risposte diverse in base alla posizione geografica, alle stagioni e alle diverse ore del giorno. Il sistema è particolarmente indicato per uffici, *showrooms*, musei e gallerie, e in generale risulta appropriato in tutti quei casi in cui viene richiesta un'alta qualità dell'illuminazione naturale ed un effettivo controllo della radiazione solare mantenendo invece, seppur leggermente alterata, molto elevata la qualità della visione verso l'esterno.

Oggi questi componenti trasparenti sono un'efficace alternativa ai normali sistemi schermanti, poiché offrono uguali prestazioni senza mettere in gioco le ricorrenti questioni d'impatto visivo e senza bisogno di manutenzioni particolari.

L'intera sezione dell'elemento schermante, con la superficie sia concava che convessa, garantisce il controllo e la riduzione della riflessione, al fine di eliminare l'effetto specchio. Per evitare la riflessione speculare si dà alle lamelle un tono

grigio scuro solo sulla superficie rivolta verso l'esterno. Le lamelle sono in alluminio curvato in modo tale da formare una o due tipologie di un sistema a "lama" con angoli predefiniti compresi tra 34° e 60° (misurati dal piano del vetro) ad una distanza tra loro variabile da 14mm a 17mm.

La disposizione delle lamelle può assumere in alcuni casi due profili: uno per la parte bassa ed uno per quella alta, criterio questo che tiene conto del possibile abbagliamento che un profilo errato potrebbe portare agli utenti siano essi in posizione seduta o in piedi. Bisogna tenere conto inoltre del fatto che le lamelle tolgono trasparenza al vetro riducendo la vista verso l'esterno per percentuali che variano tra il 20% e il 50%.

Scheda F2 – Vetri energetici con fotovoltaico integrato

L'integrazione architettonica dei sistemi solari attivi si basa sulla possibilità di utilizzare il modulo fotovoltaico nella più ampia libertà. E' importante saper realizzare moduli aventi forma, misura, colore, caratteristiche strutturali diverse a seconda della situazione in cui s'interviene.

Le aziende in grado di offrire simili prodotti sono molto poche e, tra esse, si distingue soprattutto chi possiede un significativo *know how* nel settore della lavorazione del vetro. Lo spessore del vetro non è un parametro di progettazione libero: dipende dalla forma del vetro adottata, dal peso della costruzione, dalle sollecitazioni previste e occorre sempre effettuare delle simulazioni con carichi statici. Per quanto riguarda il tipo di vetro, mentre per quello frontale non si hanno molte possibilità di scelta, in quanto sarà di tipo extra-bianco con uno spessore ridotto (4 mm per moduli di misura contenuta) per ottimizzare l'assorbimento della radiazione luminosa, per quello posteriore si hanno maggiori margini di libertà. Questo può infatti avere diversi colori, tipi di laminazioni e di isolamenti.



Figura 4.15

Figura 4.15: nuovi moduli Fotovoltaici semi-trasparenti in silicio multi cristallino: il prodotto standard ha un livello di trasparenza del 10%.



Figura 4.16

Figura 4.16: Una ricerca condotta dall'Australian National University ha prodotto una tecnologia innovativa di produzione di pannelli solari: il sistema funziona prendendo una cella solare standard di circa un millimetro di spessore e tagliarlo a fette molto piccole che sono appena 120 micrometri di larghezza. Secondo i dati pubblicati dall'ANU la tecnica permette di utilizzare quantità molto minori di silicio, costoso nell'estrazione e lavorazione.

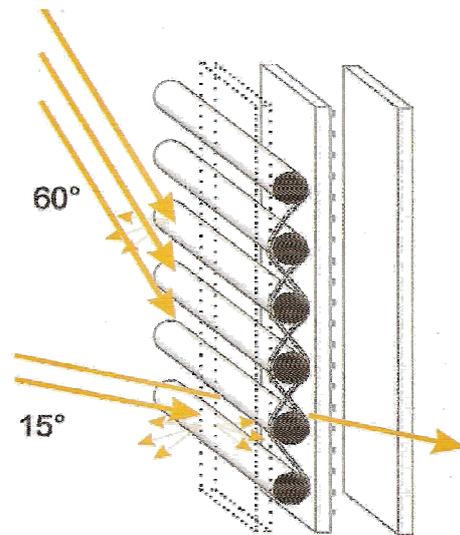
Tali vetri vengono applicati in facciate fotovoltaiche, ottenendo un importante controllo della luce solare; quest'applicazione è particolarmente richiesta dalle società che dispongono di palazzi di uffici con facciate rivolte a Sud, che già devono predisporre dei vetri oscurati per ridurre il passaggio della luce. Inoltre possono essere impiegati per la realizzazione di elementi frangisole che in questo modo presentano le medesime caratteristiche delle applicazioni precedenti, con la differenza che, disponendosi su pareti esistenti, l'installazione è più semplice e quindi più economica.

Si stanno sperimentando, con buoni risultati, matrici di celle con passo variabile in modo da avere pannelli più densi per i climi più caldi (dove è necessaria una maggiore protezione), e pannelli più diradati per i climi freddi, per sfruttare la radiazione solare anche ai fini dei guadagni termici passivi. Non sono presenti metalli pesanti come il cadmio, il che aumenta la riciclabilità del materiale che risulta essere composto per la maggior quantità da vetro. I difetti che queste tecnologie comportano sono il degrado iniziale e la stabilità negli anni, ed è proprio su questi problemi che si sta lavorando per migliorare i risultati ottenuti. Oggi il vetro energetico risulta essere molto simile ad un vetro temperato e laminato e il vero grande vantaggio implicito in questa considerazione risiede nella possibilità di adattare nuove tecnologie a sistemi di produzione e montaggio fortemente consolidati.

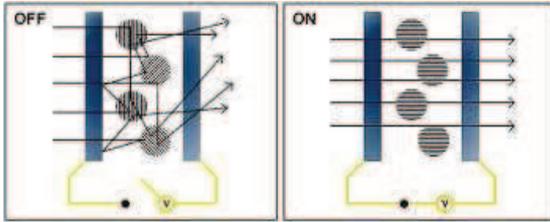
Scheda F3 – Vetri con microreticolo integrato

I pannelli a selettività angolare con microreticolo sono generalmente costituiti da una griglia microreticolare in materiale plastico rivestito da un sottile strato di alluminio allo stato quasi puro, ad altissima riflessione; il pacchetto risultante può essere considerato integrato a sistemi trasparenti sia fissi che mobili, in relazione tanto a finestre verticali, quanto a lucernari o ad intere coperture trasparenti.

Dal punto di vista energetico, va sottolineato che d'estate svolgono un decisivo ruolo nell'attenuazione dell'effetto serra grazie alla capacità di rifrazione degli elementi pieni, rivestiti dal già citato strato sottilissimo di alluminio ad alta riflessione, di cui si compone il suo microreticolo; l'abbassamento della temperatura dell'aria che ne deriva comporta una notevole riduzione, nel bilancio energetico generale, dell'energia elettrica che si sarebbe impiegata per produrre raffreddamento tramite condizionamento. D'inverno l'inclinazione dei raggi solari, che risulta mediamente parallela agli elementi pieni del microreticolo, è tale da riuscire a penetrare attraverso i vuoti microreticolari e ad innescare l'effetto serra col relativo sviluppo indotto di energia termica passiva.



Scheda F4 – Vetri a cristalli liquidi



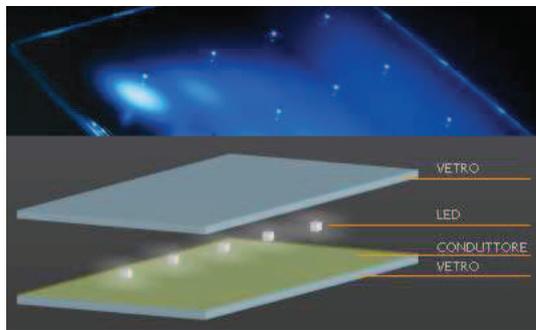
Il funzionamento di un dispositivo a cristalli liquidi si basa sull'utilizzo di materiali con struttura molecolare a barre che sotto l'influenza di un campo

elettrico fanno variare la trasmissione della luce; il tipo più comune di cristallo liquido è il cosiddetto nematico intrecciato, in cui i polimeri formano catene che ruotano tra piatti polarizzati. Il grado della rotazione è controllato durante la fabbricazione. Nello stato non attivato, le molecole di cristalli liquidi sono casualmente orientate, per cui la luce incidente risulta diffusa, a causa del mancato allineamento tra le particelle ed il mezzo circostante. Il materiale assume di conseguenza una colorazione lattea. Quando viene applicato un voltaggio sufficientemente alto, le molecole disperse vengono orientate in direzione del campo elettrico inserito, per cui la luce incidente in modo normale alla superficie non viene intercettata e rifratta e il materiale si conserva trasparente. Variando l'orientamento delle molecole di cristalli liquidi all'interno del dispositivo, è quindi possibile variarne le caratteristiche ottiche.

In architettura i vetri con dispositivo a cristalli liquidi sono prevalentemente utilizzati come elementi di divisione di spazi interni, oppure utilizzati come pregiato elemento d'arredo poiché hanno il vantaggio di inibire temporaneamente l'introspezione visiva di due ambienti mantenendo allo stesso tempo un'alta trasmissione della luce, il che si può registrare estremamente utile nell'ambito di tipologie quali ad esempio gli spazi per uffici o quelli ricettivi.

Scheda F5 – Vetri luminosi

I diodi a emissione luminosa (più noti come LED) - piccoli rettangoli di materiale semiconduttore con svariate capacità di conduzione dell'energia elettrica - stanno facendo oggi la loro comparsa anche sulle grandi superfici vetrate, dando la possibilità di mutare gli effetti cromatici dell'edificio durante le ore notturne, riconfigurando le relazioni tra edificio e contesto, anche nel mutare della giornata. In effetti grazie alla tecnologia LED (Diodi a Emissione Luminosa) stanno nascendo



nuove applicazioni nel campo del rapporto involucro-illuminamento artificiale, che vedono protagonisti i cosiddetti vetri luminosi (o vetri illuminanti), in cui fluttuano punti di luce, scritte luminose a durata illimitata e figure tridimensionali. Il

numero dei LED che possono essere integrati tra due lastre di vetro di circa 10 mm di spessore è praticamente illimitato. Le misure standard di queste innovativo display con LED sono comprese tra i 400 e i 1000 mm di larghezza. La connessione elettrica è fornita da una pellicola di rivestimento con potere di conducibilità stesa direttamente sul vetro ma non visibile.

Oltre a questa tecnologia esistono i cosiddetti sideLED, ovvero sistemi di lampade led che vengono disposte su nastri applicati poi lungo i margini delle facciate per ottenere un illuminamento uniforme, nascondendo il sistema stesso all'interno dell'involucro.

Riassumendo per i COMPONENTI TRASPARENTI PREASSEMBLATI:

		inverno	estate	zona giorno	zona notte
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva	■	■	■	■
	Trasmittanza periodica	■	■	■	■
	Massa e capacità termica	■	■	■	■
	Effetto serra	■	■	■	■
ACUSTICI	Isolamento acustico	■	■	■	■
	Assorbimento acustico	■	■	■	■
SISMICI	Sicurezza	■	■	■	■
	Resistenza	■	■	■	■
	Efficienza	■	■	■	■
	Durabilità	■	■	■	■

Tabella 4.7_Legenda:

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

Grazie alle loro caratteristiche prestazionali, tali componenti sono applicabili in tutte le porzioni di involucro trasparente, soprattutto in quelle relative alle zone giorno, che principalmente in inverno e grazie all'effetto serra sono in grado di aumentare l'accumulo termico. Taluni di tali componenti, come descritto nelle schede, possono offrire prestazioni interessanti anche in ambito acustico. Dal punto di vista sismico, tali componenti hanno esclusiva funzione di tamponamento per le specchiature: va comunque sottolineata la necessità di una elevata prestazione relativa alla resistenza all'urto ed alle azioni sismiche, al fine di mantenere comunque alti valori prestazionali in termini di sicurezza.

4.3.3 Componenti trasparenti bassoemissivi

La funzione principale del vetro è tradizionalmente quella di proteggere dall'esterno lasciando entrare la luce naturale all'interno dell'edificio. La tecnologia del vetro consente di proteggersi, al giorno d'oggi, dal caldo, dal freddo, dal rumore, dal fuoco. Le finestre, quindi, servono in primo luogo per illuminare gli ambienti con la luce naturale, in secondo luogo a captare gli apporti termici solari.

La radiazione solare incidente su una superficie vetrata è in parte riflessa, in parte assorbita ed in parte trasmessa; l'entità di queste tre componenti dipende dalle caratteristiche del vetro. Per controllare la radiazione solare si utilizzano sia vetri speciali sia pellicole adesive.

In inverno, le finestre fanno perdere molto calore rispetto alle pareti, perché la loro trasmittanza è maggiore di queste ultime. Le ricerche e lo sviluppo tecnologico in campo vetrario hanno permesso oggi di raggiungere alti livelli di isolamento abbassando i valori di trasmittanza termica.

Un'ottima soluzione nelle nuove costruzioni è quella di utilizzare vetri stratificati: per esempio un vetro doppio dove quello esterno è di tipo "atermico" cioè con un potere di assorbimento ridotto.

Scheda G1 - Vetrocamera bassoemissivi.

Nella produzione di serie è stato inserito il vetro per isolamento termico basso-emissivo, all'interno della classica vetrocamera isolante (composta da 2 lastre di vetro distanziate da una intercapedine (da 15 o 18 mm) ed unite lungo il perimetro da un giunto sigillante garante della tenuta meccanica e della perfetta impermeabilità all'acqua ed al vapore acqueo dell'intero manufatto. L'intercapedine viene realizzata con un profilo distanziatore, riempito con sali attivi (setacci molecolari) atta a mantenere sempre disidratata l'aria racchiusa all'interno dell'intercapedine. I vetri basso-emissivi, progettati per l'ottimizzazione dell'isolamento termico, limitano la dispersione del calore (dall'interno verso l'esterno) prodotto dagli impianti termici interni e dai corpi radianti senza impedire, al tempo stesso, l'apporto di luce ed energia solare proveniente dall'esterno.



Si definiscono basso-emissivi in quanto l'emissività del rivestimento rispetto ad un vetro normale o anche riflettente è molto inferiore. Questa caratteristica fa sì che tutto il calore emesso da corpi presenti negli ambienti interni venga respinto verso l'interno riducendone così la perdita.

Questi vetri sono rivestiti di ossidi metallici che, una volta depositati sul vetro, ne rafforzano le proprietà di isolamento termico e di controllo solare. Il rivestimento, o *coating*, può essere realizzato con due procedimenti differenti sviluppati già dagli anni ottanta. Il più usato è il CVD o "Chemical Vapor Deposition" che avviene

durante la produzione del vetro piano. Questo processo è semplice ed efficiente e il risultato è un vetro di grande durata, bassa manutenzione e alta resa, che vengono chiamati vetri *hard coating*. L'altro processo per ottenere vetri basso emissivi è il MSVD⁸, sebbene questo procedimento richieda un dispendio di energia fino a tre volte maggiore, producendo vetri che presentano migliori caratteristiche di isolamento e trasmissività, pur essendo più delicati e facilmente graffiabili.

I vetri bassoemissivi vengono impiegati soprattutto nei climi continentali, e assemblati in vetrata isolante forniscono ottimi valori di isolamento termico. In tal modo si ha una trasmittanza termica U di circa 1,4 W/m²K per il vetro singolo, che aumenta a circa 1,6-1,8 W/m²K per il complesso serramento assemblato (telaio + guarnizioni + anta + vetrocamera).

La possibilità di poter regolare, tramite la deposizione di materiali particolari, la trasmittanza e la riflettanza nelle varie zone spettrali offre ulteriori opportunità. Se il vetro, infatti, è progettato per massimizzare i guadagni solari si sceglierà un comportamento trasparente. Viceversa, se il componente dovrà essere usato come sistema di controllo per la radiazione solare in climi caldi, il rivestimento sarà realizzato in modo da ottenere il passaggio dallo strato trasparente a quello riflettente verso la fine del visibile. Una volta ridotta la parte di scambio radiativo si può anche cercare di limitare la componente convettiva utilizzando delle miscele di gas con una conduttività minore (argon, krypton, freon, etc.) applicando una piccola depressione.

Per il mercato rappresenta un prodotto con buone prestazioni e con costi relativamente bassi, che permette di conseguire, oltre ai risparmi economici puri, anche quelli relativi all'ambiente, sia per il risparmio energetico legato all'utilizzo, sia per quello relativo alla produzione. Rispetto ad un vetro isolante con valore U di 1,1 con un valore r del 58% il consumo di olio combustibile si riduce di 2500 litri circa. Questo significa per la natura una riduzione di circa 6900 kg delle emissioni di CO₂ responsabili dell'effetto serra. Vista la produzione annua in Europa di circa 40 milioni di mq di vetro con termorivestimento, l'impiego dei basso emissivi

⁸ Magnetron Sputtering Vacuum Deposition, noto anche come *sputtering*, è un processo sofisticato che permette la stesura sottovuoto di un sottile strato metallico o ceramico sul foglio di vetro.

farebbe risparmiare 1,25 miliardi di litri di olio e ciò significherebbe una riduzione della quantità di CO₂ emessa nell'atmosfera di 3,5 milioni di tonnellate.

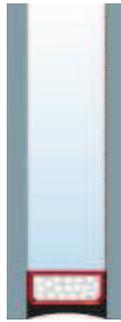
Vetro basso-emissivo



Il vetro basso-emissivo è costituito da due lastre di vetro isolante. La lastra interna è rivestita con una pellicola isolante basso-emissiva, mentre l'intercapedine tra i vetri è riempita con argon. Il vetro Plus Valor permette di raggiungere un valore U_g di $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, mantenendo un'elevata trasmissione luminosa (80 %) e un valore complessivo dell'energia penetrata all'interno (valore g) pari al 62 %.

Valore $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

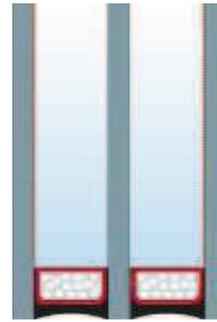
Distanziale vetro a prestazioni termiche migliorate



L'impiego di distanziali per il vetro a prestazioni termiche rafforzate migliora le proprietà isolanti lungo il bordo della vetrata e riduce il rischio di formazione di condensa laddove dovessero presentarsi condizioni di temperatura e umidità non ideali.

Valore $U_g = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vetro basso-emissivo



Il triplo vetro basso-emissivo è costituito da tre lastre di vetro isolante. Sia la lastra esterna che quella interna sono rivestite con una pellicola basso-emissiva. L'intercapedine tra i vetri è riempita con argon e vengono inseriti di serie distanziali vetro a prestazioni termiche migliorate. A seconda della struttura dei vetri e del riempimento di gas, il vetro può presentare un valore U_g variabile tra $0,9$ e $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, mantenendo un'elevata trasmissione luminosa (72 %) e un valore complessivo dell'energia penetrata all'interno (valore g) pari al 50 %.

Valore $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

Scheda G2 – Infissi ad alto isolamento

Per garantire elevate prestazioni del sistema finestra è necessario utilizzare telai con bassi valori di trasmittanza termica, quindi telai in legno, in materiali polimerici (pvc) con anima in metallo, profilati metallici con taglio termico o telai misti metallo legno e metallo polimero. I telai devono garantire una buona tenuta all'aria per l'eliminazione delle infiltrazioni d'aria (spifferi) tramite l'utilizzo di almeno due guarnizioni continue tra i serramenti e l'esecuzione ermetica della fuga di connessione tra il telaio e i muri esterni. Un altro intervento piuttosto importante e sempre conveniente è quello di isolare i cassonetti delle serrande scorrevoli, che costituiscono uno dei punti di maggiore dispersione del calore.

Oltre a garantire un buon isolamento termico, l'infisso deve risultare idoneo ad assicurare un'elevata trasmittanza dell'energia solare dall'esterno verso l'interno nonché consentire un'ottima trasmissione luminosa.

Il risparmio energetico è un tema di crescente importanza, così come gli infissi in PVC e in PVC-alluminio ad alto Isolamento termico rappresentano un notevole vantaggio economico ed anche in termini di comfort.

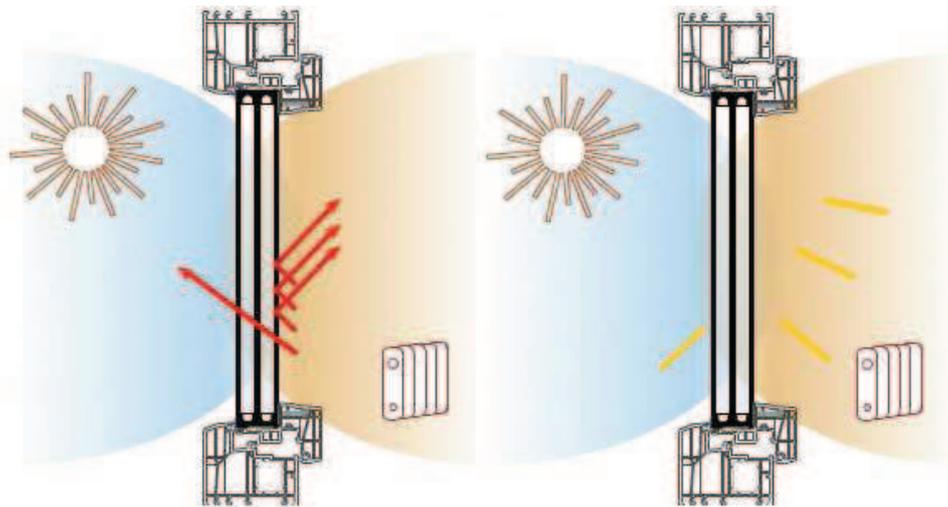


Figura 4.17 *L'elevato isolamento termico degli infissi abbatte le spese di riscaldamento in inverno e protegge dal calore in estate; interessante il comportamento raggiunto grazie agli speciali vetri basso-emissivi ed agli elevati valori termoisolanti del telaio.*

Per una casa unifamiliare di tipologia media con una superficie vetrata di 25m² le potenzialità di risparmio energetico grazie agli infissi ad alto isolamento ammontano a circa 500 litri di combustibile per ogni periodo di riscaldamento. Considerate le attuali tariffe per i combustibili, si raggiunge un risparmio annuo di qualche centinaio di euro. La riduzione dei consumi energetici, ottenuta grazie all'installazione di finestre e infissi ad alto isolamento termico, comporta un minore inquinamento ambientale causato dai processi di combustione.

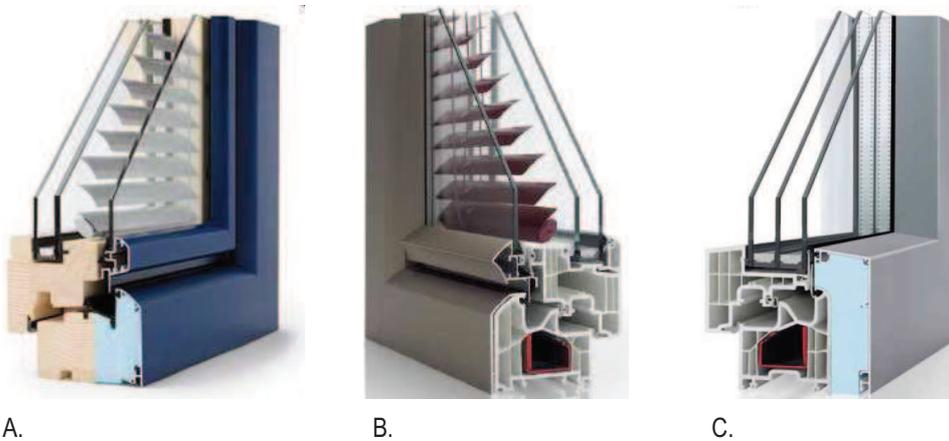


Figure 4.18 e 4.19 e 4.20 Esempi di infissi ad alto rendimento:

A) LEGNO/ALLUMINIO: esclusivamente con triplo vetro; isolamento termico con triplo vetro di serie ($U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) si può raggiungere U_w fino a $0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$; isolamento acustico fino a 43 dB; tre guarnizioni.

B) doppia finestra in PVC: isolamento termico con triplo vetro di serie ($U_g = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$) $U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$; isolamento acustico fino a 44 dB; tre guarnizioni; grazie alla speciale struttura doppia, è possibile inserire tra i vetri il sistema oscurante e di protezione dagli sguardi indiscreti; sistema a 5 camere.

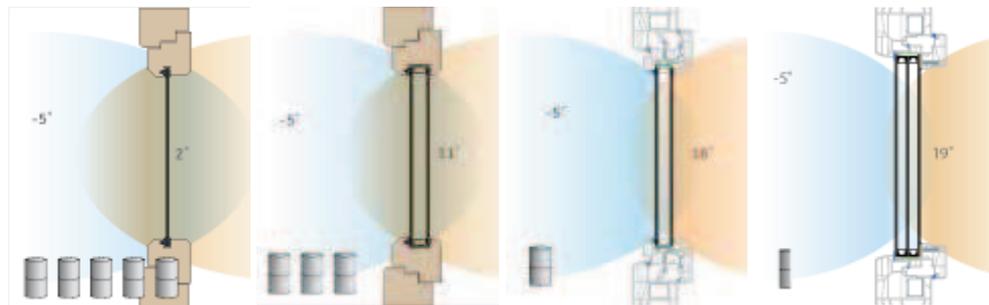
C) PVC/ALLUMINIO: design innovativo dal moderno "effetto tutto vetro", per un'architettura "senza telaio"; guscio esterno in alluminio; isolamento termico con triplo vetro di serie ($U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ e canalina in acciaio/edelstahl) $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$; isolamento acustico fino a 43 dB; tre guarnizioni; telaio a 5 camere e battente a 6 camere con aggiunta di termo schiuma altamente isolante.

Molti di questi infissi presentano un'accattivante estetica moderna grazie al profilo anta appena visibile dall'esterno, al vetro ampio e all'alta incidenza di luce ed energia. Il sistema a guarnizione mediana con le migliori classi per tenuta all'aria ed alla pioggia battente e con le componenti di ferramenta al riparo da polvere e umidità garantisce ottimi livelli prestazionali in ambito acustico oltre che energetico e di contenimento dei consumi.

I telai nella maggior parte dei casi sono profondi circa 1 cm, e presentano spesso più camere interne di isolamento, permettendo di raggiungere un valore d'isolamento termico del telaio pari a U_f 0,92 W/m²K.

Rivestire in alluminio la parte del telaio verso l'esterno garantisce una durabilità maggiore ed un'ampia scelta nella gamma dei colori. Inoltre, l'impiego di un triplo vetro basso-emissivo con un valore U_g fino a 0,6 W/m²K permette di ottenere valori di trasmittanza termica unitaria testata in laboratori e centri specializzati fino a U_w 0,79 W/m²K, migliorando quindi l'isolamento termico e il risparmio energetico.

Di seguito un piccolo schema che mette a confronto diverse applicazioni di infissi:



Finestra vecchia
con vetro semplice
 $U_w = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
(la superficie del
vetro è gelida)

Finestra vecchia
con doppio vetro
 $U_w = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
(la superficie del
vetro è fredda)

Finestre e infissi
con doppio vetro
bassoemissivo
 $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
(la superficie del
vetro ha una
temperatura
gradevole)

Finestre e infissi in
PVC con triplo
vetro
bassoemissivo
 $U_w = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$
(la superficie del
vetro è calda)

Riassumendo per i COMPONENTI TRASPARENTI BASSOEMISSIVI:

		inverno	estate	zona giorno	zona notte
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva	■	■	■	■
	Trasmittanza periodica	■	■	■	■
	Massa e capacità termica	■	■	■	■
	Effetto serra	■	■	■	■
ACUSTICI	Isolamento acustico	■	■	■	■
	Assorbimento acustico	■	■	■	■
SISMICI	Sicurezza	■	■	■	■
	Resistenza	■	■	■	■
	Efficienza	■	■	■	■
	Durabilità	■	■	■	■

Tabella 4.8_Legenda:

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

Questa tipologia di componenti è in grado di offrire buone prestazioni sia in regime estivo che invernale, sebbene probabilmente vada ad incidere maggiormente nel regime estivo e per le chiusure relative ad ambienti della zona giorno, essendo legato il comportamento al sole ed alla capacità di tali materiali di relazionarsi.

La tabella 4.8 mostra anche livelli elevati di prestazioni acustiche, soprattutto in materia di isolamento acustico.

Dal punto di vista sismico, i parametri sono tutti di rilevanza massima, al fine di evitare che, in risposta ad un evento sismico, si possano verificare distacchi materici e strutturali.

4.3 Materiali isolanti

Un elemento il cui comportamento incide molto sulla percezione del comfort abitativo sono i materiali isolanti, che hanno il compito di attivare la protezione degli ambienti dalle escursioni termiche e dall'aggressività dei rumori.

La diffusione degli isolanti termici ha, in un primo momento, eroso spazio e mercato ai materiali tradizionali. Le attuali tecniche costruttive tendono, sempre più, ad alleggerire i tamponamenti, facendo così perdere l'inerzia termica tipica dei muri di grande spessore; si rende in tal modo necessaria l'applicazione di materiali isolanti. In commercio esiste un numero notevole di prodotti per l'isolamento, di differente natura; in molti casi i materiali proposti, come coibenti termici, sono consigliati anche per l'isolamento acustico.

Le doti richieste ad un materiale per la coibentazione termoacustica sono: la traspirabilità, l'igroscopicità, la resistenza al fuoco, a muffe, funghi, insetti, roditori senza l'utilizzo di prodotti sintetici, l'assenza di odore, l'assenza di radioattività, la capacità di essere elettricamente neutro, la sostenibilità ambientale.

Si propone di seguito una suddivisione dei componenti coibenti in quattro grandi sottogruppi: vegetali, di origine animale, minerali, sintetici.

Scheda H1 – Materiali isolanti vegetali

_sughero: il sughero viene prodotto dalla corteccia di una pianta mediterranea, la quercia da sughero (*quercus suber*). Dalla polpa pulita della corteccia si ricava un granulato che, con diverse sezioni, può essere utilizzato senza ulteriori lavorazioni come ottimo materiale coibente in intercapedini di murature, pavimenti e coperture oppure, legato con calce o vetrificanti minerali specifici, nei massetti sottopavimento. Il granulato di sughero può altresì essere agglomerato in pannelli per l'effetto combinato del calore e della compressione. Per essere di buona qualità il sughero granulato deve essere privo di residui legnosi, di terra e di polvere, elementi questi che favorirebbero l'insorgere di muffe. Il sughero in pannelli non deve essere legato con colle sintetiche che oltre alla loro pericolosità (cessione di formaldeide) riducono fortemente le qualità principali del materiale ma dalle capacità autocollanti della suberina, la parte resinosa del materiale, che sottoposta a calore si scioglie legando naturalmente i granuli a raffreddamento avvenuto. I pannelli di sughero tostato o espanso hanno ottime capacità coibenti, non impiegano colle sintetiche ma l'alta temperatura a cui la materia prima viene sottoposta brucia la suberina e il tannino liberando benzopirene prodotto naturale ma tossico e dall'odore sgradevole. Anche nel caso del sughero sono quindi fondamentali le certificazioni e il controllo di qualità sul prodotto. In sintesi il sughero è un ottimo materiale coibente per la bioedilizia solo se proviene da pura polpa di corteccia di sughero priva di ogni elemento estraneo, ventilata ed eventualmente aggregata in pannelli per effetto combinato di solo calore e compressione, in questo caso le sue caratteristiche sono l'ottimo potere coibente termico e acustico, la grande traspirabilità, l'impermeabilità, l'inattaccabilità da insetti e roditori.



Valore λ : 0,040 – 0,060 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (rivestimento a cappotto, facciata ventilata), le coperture (isolamento sopra lo strato portante) ed i solai (isolamento anticalpestio).



_pannelli di legno mineralizzato: con le fibre di legno (in genere di pioppo, pianta a rapido accrescimento) vengono realizzati pannelli con ottime qualità bioedili. Il processo produttivo si basa sull'utilizzo di ossisolfato di magnesio (magnesite caustica e solfato di magnesio) sostanza che impregna, lega e mineralizza le fibre del legno. Un impasto di fibre di legno e ossisolfato di magnesio viene sottoposto ad alta temperatura e compressione e quindi formato in pannelli. In questo modo il legno perde le parti organiche deperibili e si mineralizza assumendo oltre alle sue già note proprietà di coibentazione termica e acustica, di traspirabilità, di igroscopicità e di inattaccabilità da insetti e roditori, un'ottima resistenza al fuoco.

La fibra di legno mineralizzata ha un'elevata capacità di accumulo termico e di smorzamento delle fluttuazioni di temperatura che garantisce un costante microclima interno. E' un materiale traspirante ed ha buone caratteristiche acustiche, sia come fonoisolante, che come fonoassorbente. Offre inoltre un buon grado di protezione contro il fuoco e non sviluppa gas nocivi in caso di combustione. Se accoppiato con materiali minerali o sintetici aumenta le proprie capacità termoisolanti, ma pone problematiche ambientali notevoli.

Valore λ : 0,035 – 0,050 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (pannelli avvitati, rivestimento a cappotto, facciata ventilata, isolamento dall'interno), le coperture (isolamento sopra lo strato portante) ed i solai (isolamento anticalpestio).

_pannelli in fibra di legno: dagli scarti delle segherie (riciclaggio di cortecce e rami di conifere non trattate chimicamente) proviene la fibra di legno, materia prima per la produzione di pannelli coibenti, le fibre di legno vengono aggregate senza compressione per effetto del potere collante della lignina resina naturale presente nella fibra stessa. Il prodotto ottenuto è



completamente biodegradabile e riciclabile e si presta ottimamente a diversi impieghi nella coibentazione termica e acustica di pavimenti, pareti e coperture.

Valore λ : 0,040 – 0,055 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (pannelli avvitati, rivestimento a cappotto, facciata ventilata, isolamento dall'interno), le coperture (isolamento sopra lo strato portante) ed i solai (isolamento anticalpestio).

_fibra di cellulosa riciclata: altro materiale con buone capacità di coibentazione termoacustica e con l'ottimo pregio della provenienza da riciclaggio è la fibra di cellulosa ottenuta mediante una speciale tecnica di trasformazione della carta dei quotidiani che, grazie all'utilizzo di componenti minerali naturali in genere sali di boro), la rende non infiammabile, inattaccabile dalle muffe, dai roditori e dagli insetti. Il materiale viene insufflato nelle intercapedini di pareti e coperture.



Valore λ : 0,040 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (in intercapedine), le coperture (isolamento tra i travetti) ed i solai (isolamento anticalpestio).



_fibra di cocco, di iuta, di cotone, di lino: ancora poco diffusi ma indubbiamente interessanti per le loro caratteristiche ecologiche (materie prime rinnovabili, riciclabilità ecc.) e per le loro doti di coibentazione sono i materiali derivati da altre fibre vegetali come il cocco, la iuta, il cotone, il lino. Naturalmente questi

materiali devono essere accompagnati da adeguate garanzie e certificazioni riguardo alla loro provenienza da coltivazioni in cui non si sia fatto uso di prodotti chimici.

Valore λ : 0,040 – 0,050 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (isolamento per pannelli), le coperture (isolamento fra i travetti) ed i solai (isolamento anticalpestio).

Scheda H2 – Materiali isolanti di origine animale



lana di pecora: grazie alla sua particolare microstruttura la lana di pecora si propone come ottima e naturale alternativa alle fibre minerali per l'isolamento termico ed acustico. Oltre alle doti di coibenza e traspirabilità la lana ha grandi doti di igroscopicità, è cioè in grado di assorbire acqua fino

ai 33% del suo peso senza apparire umida e di cedere lentamente l'acqua assorbita svolgendo quindi in modo ottimale il compito di equilibrare l'umidità relativa dell'aria. La lana è una materia prima rinnovabile e riciclabile con un bassissimo bilancio energetico (energia immessa in fase produttiva).

Valore λ : 0,035 – 0,040 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (isolamento tra pannelli), le coperture (isolamento fra i travetti) ed i solai (anticalpestio).

Scheda H3 – Materiali isolanti minerali

Alcune materie prime minerali hanno caratteristiche fisico tecniche interessanti per un loro uso in bioedilizia, ovviamente se non addittivate con prodotti sintetici di derivazione petrolchimica.

_calcio silicato: l'idrosilicato di calcio è un materiale poroso, prodotto in autoclave partendo da sabbie silicee, calce idraulica e una piccola percentuale di fibre di cellulosa con funzione di rinforzo; con esso si realizzano pannelli leggeri, molto resistenti a compressione, di grande precisione dimensionale e di facile lavorabilità, ininfiammabili e molto resistenti al fuoco, privi di radioattività e di emissione di polveri o altri agenti irritanti, traspiranti e riciclabili (per la produzione di cls).



Valore λ : 0,045 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (pannelli avvitati, rivestimento a cappotto, facciata ventilata).

_vermiculite, perlite: si ottengono attraverso la frantumazione e la successiva espansione per effetto di alte temperature di minerali micacei per la vermiculite e di una roccia vulcanica per la perlite. Si possono usare a secco come riempimenti in intercapedini ma soprattutto come inerte per intonaci leggeri coibenti con buone prestazioni di coibentazione termoacustica. Va garantita l'assenza di radioattività. Anche se di origine naturale sono invece poco consigliabili in bioedilizia, se non in casi molto particolari, i materiali coibenti minerali a conformazione fibrosa.



Valore λ : 0,050 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali e le coperture (esclusivamente in intercapedine).

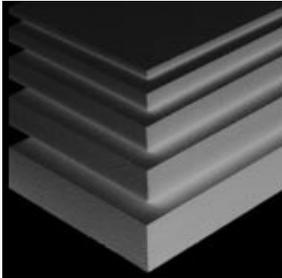


_fibre minerali, lana di roccia: la lana di roccia prodotta dopo il 2001 rispetta i parametri della nota Q della direttiva europea 97/69/CE e soddisfa i criteri di biosolubilità da essa stabiliti, pertanto non risulta classificata come sostanza cancerogena. Anche l'Agenzia Internazionale della Ricerca sul Cancro (IARC), il 16 Ottobre 2001, ha stabilito che le lane minerali, di cui fa parte la lana di roccia, non possono essere considerate cancerogene per l'uomo. La lana di roccia venne scoperta sulle isole Hawaii agli inizi del secolo; deve la sua origine al processo di risolidificazione, sotto forma di fibre, della lava fusa, lanciata nell'aria durante le attività eruttive. E' quindi un prodotto completamente naturale che combina la forza della roccia con le caratteristiche di isolamento termico tipiche della lana.

Valore λ : 0,040 – 0,055 W/mK

Principali applicazioni: possono essere utilizzati in qualsiasi caso, purchè protetti contro l'umidità; isolante per i muri perimetrali (rivestimento a cappotto, facciata ventilata), le coperture (isolamento sopra lo strato portante) ed i solai (isolamento anticalpestio).

Scheda H4 – Materiali isolanti sintetici
--

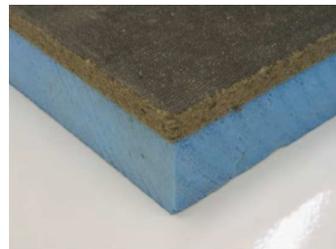


_polistirolo espanso (EPS): è ottenuto dalla polimerizzazione dello stirene, ottenuto da benzolo ed etilene ricavati a loro volta da petrolio e metano; si possono poi aggiungere alla miscela polvere di alluminio o di grafite per migliorare le proprietà termoisolanti (EPS grigio). Stabile dimensionalmente, duraturo, stabile alla muffa e resistente ai parassiti, può essere attaccato da roditori, sebbene sia molto resistente a compressione; è in grado di offrire buone proprietà termoisolanti in regime invernale, ma non possiede capacità di regolazione dell'umidità; buona la prestazione di isolamento acustico da calpestio, ma non da rumori aerei.

Valore λ : 0,032 – 0,045 W/mK

Principali applicazioni: isolante per i muri perimetrali (pannelli avvitati o incollati per rivestimento a cappotto o a facciata ventilata), le coperture (isolamento sopra lo strato portante) ed i solai (isolamento anticalpestio sotto massetto galleggiante).

_polistirolo estruso (XPS): è ottenuto dalla polimerizzazione dello stirene, ottenuto da benzolo ed etilene ricavati a loro volta da petrolio e metano; il propellente attualmente più utilizzato per l'espansione del polistirolo liquido e la CO₂. Stabile dimensionalmente, duraturo, stabile alla muffa e resistente ai parassiti, può essere attaccato da roditori, sebbene sia molto resistente a compressione; assorbe acqua in maniera molto ridotta, e questo lo rende adatto all'applicazione in ambienti umidi; è in grado di offrire buone proprietà termoisolanti in regime invernale, ma non possiede capacità di regolazione dell'umidità.



Valore λ : 0,032 – 0,040 W/mK

Principali applicazioni: come isolante per le parti costruttive sensibili all'umidità quali terrazze, tetti piani, muri a contatto con il terreno.

_ *poliuretano*: in pannelli o schiuma, gli espansi poliuretanicici rigidi hanno costituito, nei tempi relativamente recenti, la più grande novità nel campo dell'isolamento termico. Due sono le loro qualità essenziali: valore bassissimo della loro conducibilità termica (quindi grandi proprietà isolanti), dovuto al basso valore della conducibilità termica del gas che sostituisce l'aria nelle celle - questo notevole potere isolante è, tuttavia, soggetto a diminuire leggermente nel tempo per effetto della diffusione fra tale gas e l'aria esterna - e possibilità di produzione "in situ" per iniezione. Dopo un primo periodo di diffidenza per la tossicità dei gas utilizzati per spruzzarlo sulle superfici da isolare il poliuretano, attualmente, può essere considerato del tutto sicuro e, probabilmente, il migliore isolante termico sotto il profilo della efficacia.



La possibilità di iniettarlo dove necessario, e non solo usando le lastre più o meno dense da porre in opera in intercapedini orizzontali e verticali, lo rende particolarmente adatto a riempire camere d'aria lasciate vuote. Nelle ristrutturazioni sarà sufficiente praticare dei piccoli fori ed iniettare la schiuma all'interno senza provocare danni agli edifici, anche se abitati. E' utilissimo per ricoprire vecchie coperture non più idonee per quanto riguarda non solo la coibentazione termica, ma anche l'impermeabilizzazione contro infiltrazioni di acqua e umidità.

Valore λ : 0,030 W/mK

Principali applicazioni: come isolante anticalpestio o sopra i travetti di copertura.



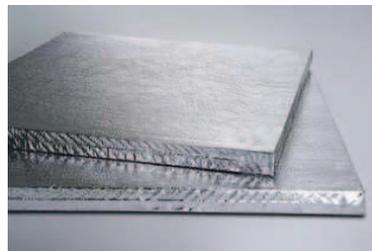
_ *vetro cellulare*: il prodotto di base è il vetro puro; sabbia di quarzo e vetro riciclato (attualmente più del 60% della massa del prodotto è derivato da tubi Neon e parabrezza di macchine e altri tipi di vetro). Altre sostanze tra cui il carbonio vengono aggiunte in percentuali molto ridotte al fine di provocare a 1300°C, tramite ossidazione, la formazione di piccolissime bolle di CO₂ all'interno del vetro fuso. Queste danno origine alla struttura cellulare del vetro e lo trasformano da materiale ad alta conducibilità termica in un materiale coibente. Viene fabbricato

sotto forma di lastre o pannelli (più lastre assemblate e ricoperte su due lati) utilizzabili indifferentemente per ogni coibentazione; le lastre normalmente sono messe in opera con l'ausilio di bitume fuso mentre i pannelli con tecnica a secco o mediante collanti a freddo; si taglia a mano con un semplice segaccio e non necessita di attrezzi particolari per la messa in opera né per la protezione dell'operatore. Le lastre e i pannelli sono semplici da utilizzare e consentono una riduzione dei tempi di installazione e una alta redditività.

Valore λ : 0,040 – 0,050 W/mK

Principali applicazioni: nelle coperture (con finitura esterna metallica o di altro tipo), come isolante per le parti costruttive sensibili all'umidità quali terrazze, tetti piani, muri a contatto con il terreno; nelle murature (isolamento a cappotto, doppi muri, per l'isolamento dal lato interno con possibilità di intonacare l'isolante, rivestirlo di lastre in cartongesso o piastrellarlo direttamente; muri perimetrali interrati isolati dal lato interno o dal lato esterno contro terra, garantendo sia protezione termica che isolamento al gas Radon).

_pannelli isolanti sottovuoto (VIP): il principio alla base di questi pannelli termoisolanti - ad alto potere isolante, seppure di spessore ridotto - è analogo a quello che sta alla base del funzionamento delle thermos: le capacità



termoisolanti di un materiale possono essere incrementate in modo sensibile sostituendo all'aria ferma racchiusa nei pori, il vuoto. Grazie al sottovuoto questi pannelli possono raggiungere valori di conduttività termica molto bassi; sono generalmente costituiti da un nucleo interno resistente a compressione, in materiale microporoso (ad esempio acido silicico pirogenato), ed un rivestimento esterno con pellicola plastica metallizzata a più strati; una volta evacuato il pannello viene adeguatamente sigillato mediante termosaldatura dei giunti.

Valore λ : 0,0045 – 0,0080 W/mK, circa 7-10 volte migliore rispetto ad un normale materiale termoisolante.

Principali applicazioni: applicazioni speciali (prezzi ancora troppo elevati per una maggior diffusione nel mercato; tuttavia, considerate le caratteristiche prestazionali,

i VIP vengono utilizzati dove occorrono spessori ridotti, quindi maggiormente per il risanamento energetico dell'esistente)

_isolanti termoriflettenti multistrato: sono dei sistemi complessi che agiscono contemporaneamente su tutte e tre le modalità di trasferimento del calore: conduzione, convezione e irraggiamento; sono composti da sottili strati riflettenti ed



isolanti alternati: i primi sono costituiti da sottilissime pellicole metallizzate che re-irradiano il calore verso la sorgente, i secondi da materiali a bassa densità di origine sia sintetica che naturale (feltri, ovatte, polietilene a bolle) che formano sottilissimi strati in grado di intrappolare aria ferma ed ostacolare così la trasmissione del calore per conduzione. Lo spessore complessivo di tali componenti è in genere compreso tra 1 e 3 cm; per un corretto funzionamento devono essere messi in opera fra due camere d'aria sigillate di spessore variabile fra i 15 ed i 40 mm, a seconda della situazione. Essendo generalmente costituiti da materiali non permeabili alla diffusione del vapore, il corretto inserimento dei materiali termoriflettenti nel pacchetto costruttivo è un requisito essenziale per evitare possibili fenomeni di condensa; particolare cura va posta nella sigillatura dei giunti di sovrapposizione e nei raccordi con gli altri elementi costruttivi per evitare il passaggio di vapore per convezione. Le camere d'aria laterali devono essere perfettamente sigillate per evitare moti d'aria e conseguente perdita di capacità termoisolante, ma anche per impedire che le superfici riflettenti si sporchino e perdano efficacia nel tempo. Efficacia termica equivalente a 210 mm di lana minerale (λ 0.04) basata su dei test comparativi in condizioni reali di utilizzazione e certificata da BM TRADA Certification Ltd.

Principali applicazioni: largo impiego sia nei risanamenti che nelle nuove costruzioni, soprattutto in presenza di strutture leggere a secco; grazie alle loro proprietà riflettenti, se inseriti nei pacchetti di copertura, possono limitare i carichi termici estivi e quindi contribuire alla riduzione del pericolo di surriscaldamento negli ambienti interni.

Riassumendo per i **NUOVI MATERIALI ISOLANTI**:

		<i>inverno</i>	<i>estate</i>	<i>zona giorno</i>	<i>zona notte</i>
ENERGETICI	Trasmittanza effettiva				
	Trasmittanza periodica				
	Massa e capacità termica				
	Effetto serra				
ACUSTICI	Isolamento acustico				
	Assorbimento acustico				
SISMICI	Sicurezza				
	Resistenza				
	Efficienza				
	Durabilità				

Tabella 4.9_Legenda:

- prestazione molto rilevante in relazione ai parametri
- prestazione che può essere rilevante in relazione ai parametri
- prestazione non connessa ai parametri

Tali componenti sono necessari per garantire, in collaborazione con componenti in grado di fornire buone proprietà relative alla capacità termica, una elevata percezione del comfort abitativo, avendo il compito proteggere termicamente ed acusticamente gli ambienti interni.

Parte terza

Le criticità d'interfaccia

Come già indicato nell'introduzione, un primo obiettivo della ricerca è quello di individuare e definire quelle che si sono definite "questioni nodali", cercando di affrontarli anche attraverso la posizione di problematiche aperte in ambito normativo, tecnico e gestionale. L'obiettivo a questo connesso è duplice: da una parte la messa a punto di un metodo di analisi e quindi di approccio alle problematicità, da poter trasferire ed applicare a tutti i punti critici di interfaccia rilevati, per poi poter giungere ad una serie di proposte di soluzione tecnologica, ponendo in luce cosa manca ai sistemi costruttivi tradizionali per poter superare l'attuale vuoto applicativo e passare dunque da sommatoria di componenti a sistema altamente performante nel suo complesso e in grado di fornire adeguate risposte alle richieste della normativa, alle pratiche costruttive, alle esigenze, sempre maggiori, di un'utenza molto più informata.

Le prime due parti della presente tesi hanno voluto dare una risposta agli obiettivi primari della ricerca, delineando inoltre uno stato dell'arte in materia.

In questa terza parte, il capitolo 5 focalizza l'attenzione su alcune delle questioni nodali individuate, sottolineandone l'attualità e la ricorrenza nella prassi del costruire: fino ad ora la progettazione di tali soluzioni era affidata, il più delle volte, a valutazioni tecnico-operative, solo raramente ad analisi e studi approfonditi.

Il capitolo 6 va invece a studiare nello specifico una questione nodale, volendo verificare il frutto della ricerca attraverso tutte le considerazioni che si possono muovere su una serie di interfaccia che investono l'involucro realizzato attraverso il sistema costruttivo tradizionale.

A tal proposito, si riporta una recente indagine di Legambiente che, con la campagna nazionale "Tutti in classe A", vuole promuovere una nuova cultura del costruire sostenibile.¹

"Una squadra di tecnici ha analizzato 100 edifici tra appartamenti e uffici in 15 città italiane, e solo 11 sono quelli "promossi". Per mostrare difetti e pregi degli edifici sono state utilizzate immagini termografiche realizzate con un apposito macchinario capace di evidenziare le caratteristiche termiche ed energetiche dei materiali nelle pareti esterne dell'edificio.

¹ fonte: www.repubblica.it 16 febbraio 2011, articolo di Monica Rubino

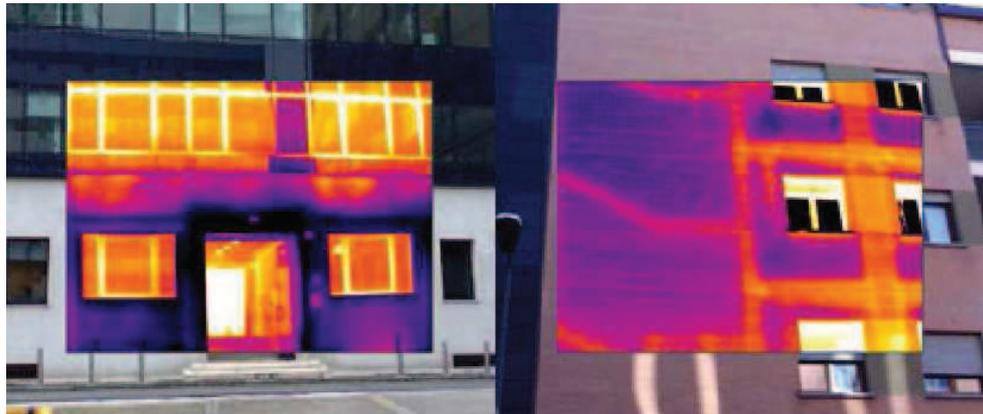


Figura A.1_Milano, sede regionale ARPA a sinistra, edificio residenziale a destra.

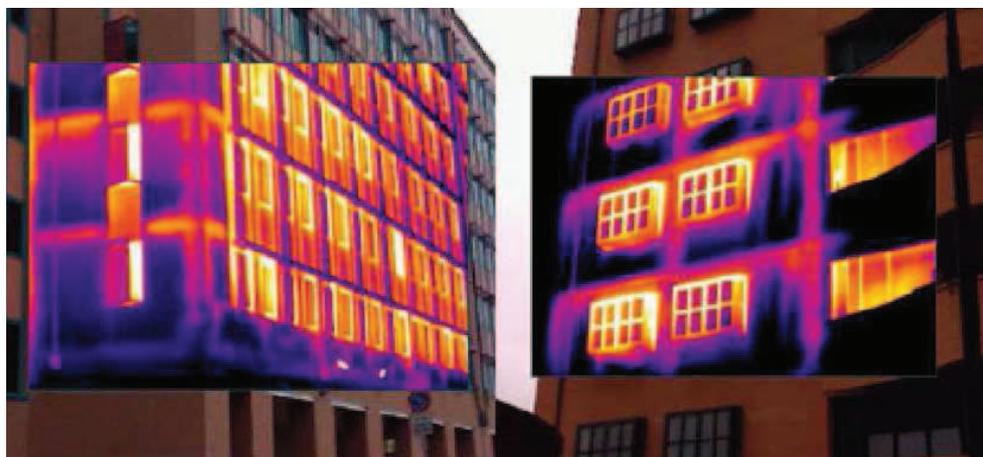


Figura A.2_Bologna, edificio della Regione a sinistra, residenziale a destra.

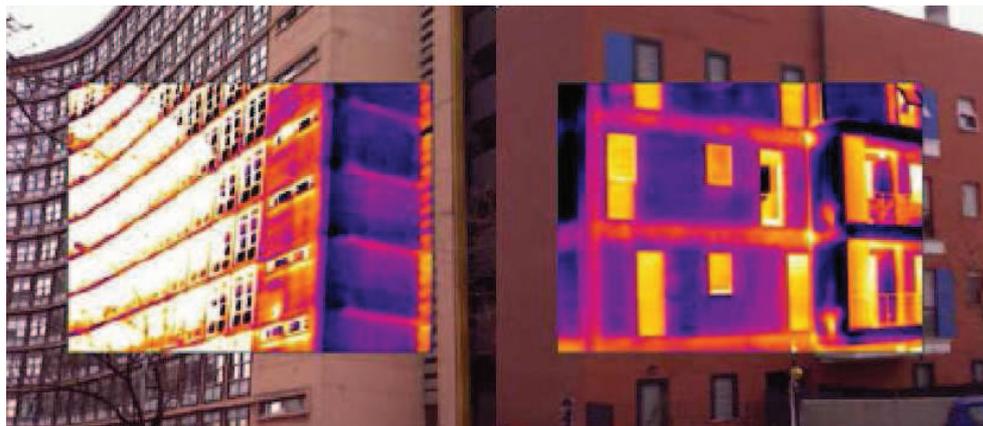


Figura A.3_Roma, sede regionale a sinistra, edilizia residenziale a destra.



Figura A.4_Napoli, sede dell'VIII Municipio a sinistra, edilizia popolare a destra.

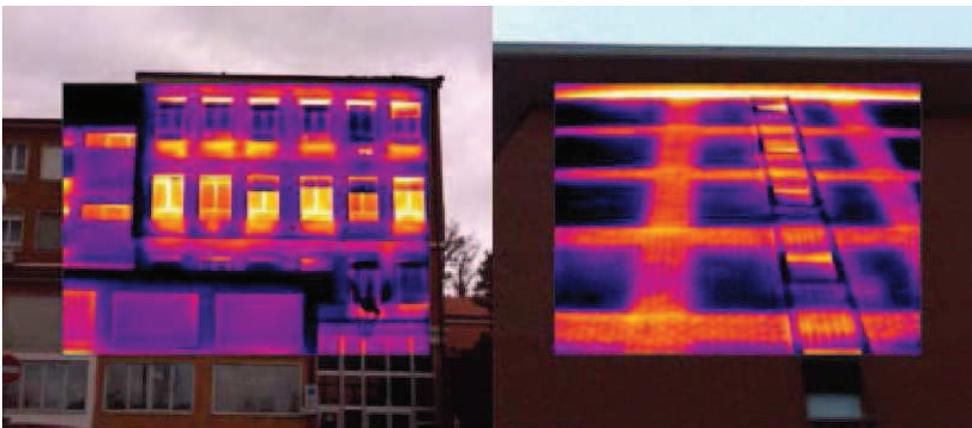


Figura A.5_Potenza, sede del Comune a sinistra, edilizia residenziale a destra.

Con le termofoto - spiega Edoardo Zanchini, responsabile energia di Legambiente - vogliamo rendere evidente quanto sia importante avere case ben progettate e costruite. Le speciali immagini mostrano proprio la differenza tra una casa con uno standard di qualità energetica che certifica un bassissimo fabbisogno di energia per il riscaldamento, e quelle costruite invece senza alcuna attenzione a questi temi. Le prime garantiscono una migliore qualità della vita agli abitanti grazie al buon isolamento delle pareti e, a parità di comfort, possono ridurre sensibilmente la spesa per il riscaldamento invernale e fare a meno dei condizionatori d'estate, riducendo fino a un terzo la spesa per il riscaldamento e il raffrescamento, ossia permettendo un risparmio tra i 200 e i 500 euro l'anno a famiglia.

Per quanto riguarda gli edifici residenziali sono state prese in considerazione costruzioni realizzate negli ultimi dieci anni, ossia nel momento del boom dei prezzi, venduti spesso a cifre superiori a 3/4.000 euro a metro quadro. Se si considera che la differenza di spesa per una casa ad alta efficienza è del 5-10%, e il prezzo di costruzione è di circa 1.000 euro a mq, si capisce come non sia un problema di costi a impedire di investire nella qualità.

Sono stati analizzati anche edifici pubblici, perché Regioni e Comuni - spiega Legambiente - dovrebbero dare il buon esempio evitando sprechi nelle loro strutture, e i risultati sono ugualmente sconfortanti: bocciati 18 edifici su 19 con dispersioni a volte clamorose che obbligano ad un superlavoro i termosifoni d'inverno e i condizionatori d'estate. Nel dossier di Legambiente c'è anche una dettagliata valutazione sull'operato delle diverse Regioni in materia di prestazioni energetiche in edilizia. Il quadro emerso da questo monitoraggio denota quanto poco siano cambiate, negli ultimi trent'anni, le attenzioni da parte di progettisti e costruttori nei confronti di materiali, tecnologie e modalità costruttive impiegate per il contenimento degli sprechi energetici. Secondo le stime del ministero dello Sviluppo economico, complessivamente, il peso degli usi energetici civili rappresenta circa il 50% dei consumi elettrici e il 33% di quelli energetici totali. Diventa dunque importantissimo - conclude Legambiente - intervenire nel settore edilizio per ridurre gli sprechi e le emissioni di CO₂. L'Unione Europea ha preso molto sul serio questa sfida con precise direttive che hanno reso obbligatoria, anche in Italia, la certificazione energetica degli edifici 2 nuovi e nelle compravendite di quelli già esistenti. La recente direttiva Ue 31/2010 stabilisce addirittura che dal 2021 tutti i nuovi edifici dovranno avere caratteristiche tali da non aver bisogno di apporti per il riscaldamento e il raffrescamento, oppure dovranno essere in grado di soddisfarli attraverso l'uso di fonti rinnovabili."

Segnalare questa recente indagine è utile anche ai fini della presente ricerca, per confermare l'attualità e l'interesse sempre crescente verso il problema, ed anche per utilizzare la lettura effettuata ad ampio spettro sul territorio nazionale per leggere ed utilizzare i risultati emersi all'interno di questa parte della ricerca.

5 - Le questioni nodali: dalla normativa alle problematiche irrisolte

All'interno della prima parte di questa trattazione è stata rivolta particolare attenzione al tema dell'involucro edilizio, analizzando il quadro normativo entro cui la materia si sviluppa. Come evidenziato nel primo capitolo, la normativa si focalizza sul tema del risparmio energetico, partendo dalle Direttive dell'Unione Europea; non va però trascurato quello che è stato il recente aggiornamento in materia di acustica e di sismica, che concentra la sua attenzione sull'involucro come elemento critico di interfaccia tra l'ambiente esterno e quello interno, come luogo in cui si concentrano tutte le problematiche relative alla garanzia di un elevato comfort interno.

Lo stato dell'arte ha poi nello specifico mostrato l'evoluzione dei componenti ma anche la mancata soluzione di tanti problemi e criticità che vanno a costituire quelle che in questa sede vengono definite come "questioni nodali", termine dalla duplice valenza: nodali in quanto sia di fondamentale importanza, si può dire imprescindibile l'affrontarli per poter essere progettisti e costruttori in grado di garantire, oltre ai limiti di legge ed agli standard, tutto il comfort che l'utente oggi cerca in relazione al bene "casa"; ma, oltre a ciò, sono argomenti "nodali" perché, anche leggendo ed interpretando la normativa, esse si concentrano nei punti nevralgici, dove la struttura incontra il tamponamento, dove le chiusure verticali incontrano ed accolgono le orizzontali, dove gli infissi si innestano sulle pareti: questi che in letteratura vengono individuati come nodi tecnologici saranno oggetto di studio all'interno di questa terza parte della trattazione, con l'obiettivo di effettuare un focus tematico sui nodi dell'involucro, sulle loro criticità geometriche e costruttive.

Di seguito la trattazione affronta tali criticità tecnologiche dividendole in due sottogruppi:

_da una parte, quelli che sono stati definiti come nodi critici "tradizionali", ovvero connessi a quell'immenso patrimonio di conoscenze consolidato afferente all'uso delle tecnologie a umido; qui si descriveranno quelli che comunemente - ed anche all'interno della normativa - vengono definiti come "ponti termici", ma non per questo problematici solo da un punto di vista strettamente energetico. A ben guardare, infatti, nei punti ove la trasmissione di calore tra ambiente interno ed esterno - e viceversa - viene rilevata, si segnala una discontinuità materica o strutturale, che spesso comporta un problema anche acustico e strutturale.

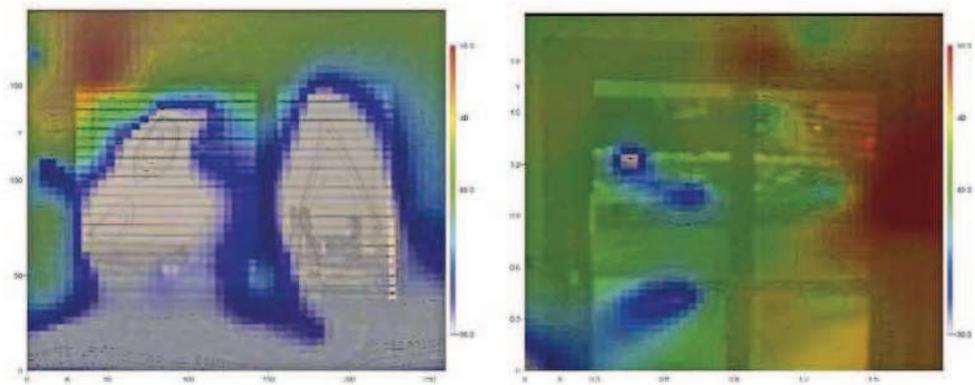


Figure 5.1 e 5.2 Mappatura e determinazione dei parametri di qualità acustica²: l'immagine sulla sinistra individua il punto debole del serramento, con valori tali da penalizzare la prestazione acustica complessiva dello stesso. Nell'immagine a destra il problema maggiore emerge in corrispondenza dell'anta destra dell'infisso, in particolare sul montante; anche la chiusura della parte superiore non è perfetta.

_dall'altra, quelle che si intendono definire come questioni nodali frutto dei motori dell'innovazione; queste divengono oggi luoghi di ricerca e di innovazione ancor più

² "La mappatura è un tipo di indagine che permette di evidenziare zone anche piccole di maggiore trasmissione del suono, indice di carenza di isolamento acustico. Trova applicazione frequente nella determinazione delle caratteristiche di isolamento acustico dei serramenti in opera e risulta utile per il monitoraggio dell'isolamento acustico in corso d'opera. Si esegue con una sonda intensimetrica e l'ausilio di un tracciatore ottico, che permette una ricostruzione visiva della mappa acustica. Oltre al tempo di riverberazione, ci sono altri indici della qualità acustica di un ambiente, come l'intelligibilità della parola, la chiarezza e la definizione. Gli strumenti a disposizione consentono ai tecnici di rilevare questi parametri in opera attraverso misure fonometriche dettagliabili.", Raimondi M., op. cit.

che nel passato, proprio perché luoghi in cui l'involucro si scontra con la prassi costruttiva, i dettami normativi, le esigenze prestazionali richieste dal mercato e dall'utenza.

Se consideriamo l'involucro per il suo aspetto negativo, di principale luogo dello scambio termico e quindi energetico, ne deriva che le soluzioni architettonico-tipologiche più virtuose sono quelle in cui, a parità di volume interno, o anche di superficie utile, si riduce al minimo l'estensione dell'involucro. Come il quadrato è la figura geometrica che ha il minor perimetro rispetto a rettangoli con la stessa area, così il cubo presenta una superficie esterna minore rispetto a tutti i parallelepipedi aventi lo stesso volume. Ciò non vuol dire che allora gli edifici devono per forza essere dei cubi, al di là di ogni ragionevole esigenza di distribuzione funzionale interna. Vuol dire piuttosto che, laddove ne esista la possibilità, si può intervenire fin dalla concezione dell'edificio nella scelta della forma base, per predisporre un comportamento energetico ottimale.

Un altro fattore che aumenta l'estensione dell'involucro è la sua articolazione: una superficie esterna continua sarà inevitabilmente più adatta al contenimento energetico piuttosto che una superficie articolata e interrotta da sporgenze e rientri, da logge, da balconi e solette sporgenti e da altre cause potenziali di ponti termici e fattori di aumento della superficie esterna. Ancora una volta è necessario sottolineare che queste osservazioni non significano che gli edifici devono essere privi, nel loro manifestarsi architettonico, di tutte le infinite possibilità di articolazione delle superfici che la geometria oggi concede, anche grazie alle potenzialità tecnologiche un tempo impossibili.

Fino a qualche anno fa si riteneva che l'esposizione migliore per gli edifici residenziali fosse quella che ne vedeva l'orientamento secondo l'asse elioterminico, con un asse cioè inclinato di circa 20 gradi tra nord-est e sud-ovest: se questa esposizione garantiva un soleggiamento il più possibile uniforme tra i fronti dell'edificio, in realtà si dimostrava in seguito come non ottimale, specie da quando si è constatato il grande consumo di energia che si verifica in fase estiva per il raffrescamento. L'esposizione derivante dalla posizione dell'asse dell'edificio in direzione est-ovest appare oggi più indicata, almeno nei climi temperati e mediterranei in particolare, perché consente una più semplice schermatura solare

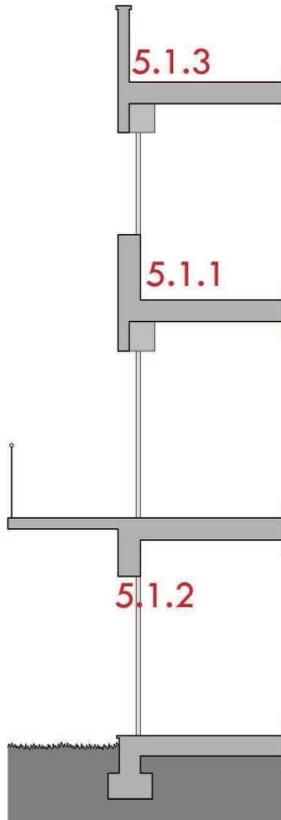
per il fronte sud che per quelli est e ovest e consente altresì l'esposizione a nord di locali abitabili che vengono a godere di una vista verso l'esterno sicuramente migliore. Questi sono discorsi teorici che valgono solo quando, in casi sempre più rari, la giacitura, e quindi l'esposizione degli edifici, è libera; in realtà, nei nostri territori del tutto antropizzati e urbanizzati queste scelte sono vincolate in partenza. Queste osservazioni devono però essere ben conosciute dai progettisti, i quali si devono assumere la responsabilità dei comportamenti finali e non possono quindi ignorare le componenti base del progetto.

Di fronte al continuo e straordinario progresso tecnologico che caratterizza il nostro momento produttivo, è possibile conciliare oggi nella progettazione dell'involucro due tendenze che appaiono in prima battuta divergenti, quali sono l'esigenza di controllo spinto dei comportamenti energetici e l'esigenza di flessibilità dello spazio abitabile e quindi anche degli involucri di esso. Proprio la ricerca più attuale, e le conseguenti nuove produzioni di sistemi e materiali pensati per ottimizzare i comportamenti energetici, hanno in sé una predisposizione promettente per consentire variazioni di forma, di aspetto, di dimensioni, secondo richieste tendenti alla differenziazione da parte dell'utenza, in funzione di variabili diverse, quali quelle climatologiche, ma anche quelle derivanti da tradizioni costruttive ed estetiche, da attese di aspetto e di personalizzazione crescenti.

Uno degli obiettivi di questa ricerca è proprio quello di individuare un metodo di analisi delle questioni nodali che si sviluppano intorno e dentro l'involucro, fino a giungere all'ipotesi di soluzioni tecniche conformi; va in questa sede specificato che quello appena espresso può essere uno scenario di ricerca che questa tesi apre, essendo ben consci che per la definizione di soluzioni tecniche conformi sono necessari un'ampia sperimentazione con i relativi dati tecnici.

La tesi vuole però approfondire una metodologia, sperimentandola poi nello specifico per una delle criticità individuate.

5.1 Nodi critici tradizionali



Come si è avuto modo di affrontare anche nei capitoli precedenti, quando si utilizza ad esempio la soluzione di un involucro massivo per una parete esposta a sud, di conseguenza la prestazione principale che si richiede all'involucro sarà connessa ad un alto valore di capacità termica; ma gli spessori della parete andranno anche a rapportarsi con le richieste di isolamento acustico e di grande stabilità strutturale, ai fini di garantire comfort complessivo *indoor* e sicurezza statica. Per una parete invece - anche dello stesso edificio - orientata a nord, la richiesta si potrà concentrare su un elevato spessore di materiale coibente posto all'esterno, magari realizzando una chiusura a piccoli elementi leggeri, scongiurando il rischio che l'involucro sottragga calore all'ambiente interno. Anche nel caso in cui si affronti la questione degli oscuramenti, si potrebbe

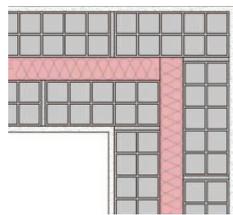
subito obiettare la superfluità almeno per quanto riguarda gli affacci della zona giorno: in realtà in questi ambienti, a seconda dei casi da affrontare, è forse più pregnante studiare ed applicare sistemi schermanti per la stagione estiva, e sfruttare nelle ore diurne tutto il potere di captazione solare nella stagione invernale, utilizzando sistemi oscuranti esterni coibentati per le ore notturne³.

Questo vuole solo essere un esempio, sebbene per giungere al totale abbattimento dei ponti termici, acustici e "sismici" probabilmente la metodologia da utilizzare sarà legata all'intersezione delle tante discipline che sull'involucro convergono. La riflessione che si cercherà di condurre vuole provare ad andare oltre l'analisi

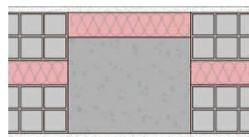
³ ΔR , fattore aggiuntivo alla resistenza termica dell'infisso in relazione al tipo di oscuramento; UNI TS 11300:1, prospetto C.4

proposta dalla normativa e dalla prassi costruttiva su questi nodi tecnologici davvero ponendoli sotto una lente d'ingrandimento a molteplici parametri d'analisi. Quelli che verranno trattati nei paragrafi successivi presentano una serie di criticità che solitamente li fanno annoverare tra i maggiori ponti termici. Un ponte termico è tra i principali responsabili delle perdite di calore in un edificio; questo perché esso provoca scambi di temperatura: d'inverno conduce calore dall'interno di una casa verso l'esterno, d'estate lo veicola dall'esterno all'interno: tecnicamente un ponte termico è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza agli innesti di elementi strutturali, per esempio tra solai e pareti verticali o tra pareti verticali fra loro; tipici esempi di ponti termici sono anche i balconi e tutte le parti costruttive sporgenti che risultano isolate in modo inappropriato. Un ponte termico causa una dispersione termica che può essere calcolata secondo la norma EN ISO 14683, oppure, in mancanza di dati di progetto attendibili, in modo forfettario applicando al valore della trasmittanza una maggiorazione che varia in funzione della tipologia edilizia.

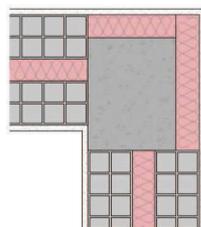
Esistono tre tipologie di ponti termici:



_morfologico, dovuto alla discontinuità nella forma della parete (ad esempio angoli, spigoli e telai degli infissi);



_strutturale, causato dall'inserimento di materiali ad alta conduttività termica (ad esempio elementi metallici);



_diffuso, se vi sono eterogeneità nella struttura (ad esempio agli angoli delle pareti perimetrali, nei pilastri ad angolo, nei punti di innesto tra la chiusura verticale e quella superiore, nei cordoli, nelle nicchie dei radiatori).

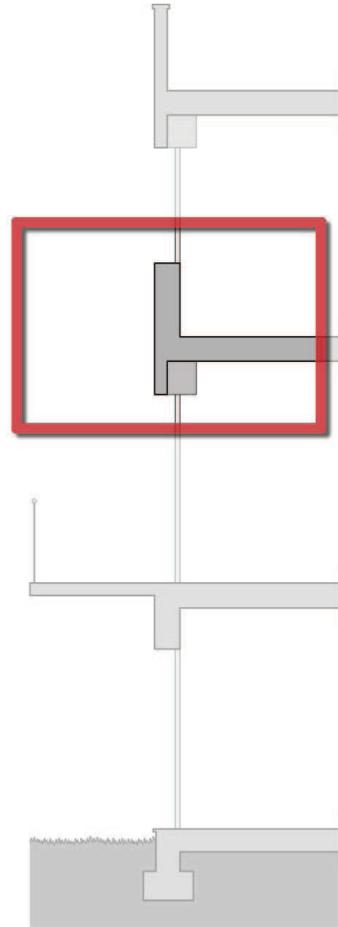
5.1.1 Chiusura verticale | Solaio

Questo nodo rappresenta l'insieme delle opere strutturali, di isolamento, di protezione, di chiusura e di predisposizione di piani di calpestio che permettono di fruire degli spazi intermedi, in condizioni di sicurezza e di comfort e assicurando la durata nel tempo delle opere, analizzato nel luogo di connessione con l'involucro esterno verticale.

Oltre a penalizzare l'efficienza energetica complessiva dell'edificio, i ponti termici nella realtà quotidiana sono la causa di problemi seri che possono inficiare la salubrità degli ambienti interni, come per esempio la formazione di condense e muffe. Quando questi problemi si presentano, gli interventi correttivi possono essere efficaci, ma anche costosi: quello che invece conviene certamente è una progettazione attenta a risolvere alla radice i ponti termici e prevenire inconvenienti.

Come si è già avuto modo di scrivere, ai ponti termici sono spesso connessi problemi legati al passaggio dei rumori ed alla stabilità strutturale degli edifici; in tal modo si spiega l'attenzione che si sceglie di dare alla problematica principalmente connessa ai ponti termici, in quanto luoghi di interesse principale all'interno di questa trattazione.

Nel caso dell'interfaccia solaio orizzontale e chiusura verticale esterna, bisogna evitare il ponte termico che viene inevitabilmente a generarsi in corrispondenza della testa del solaio, causa di successivi cambi di colore o formazione di condensa.



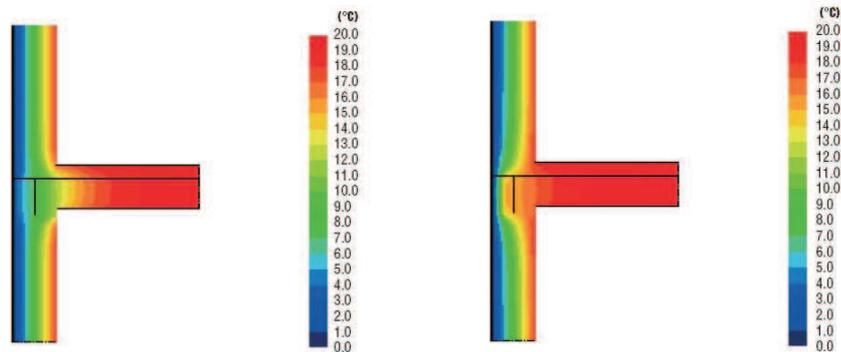


Figura 5.3 La figura a sinistra mostra il ponte termico che si sviluppa nel nodo parete-solaio in condizioni al contorno che simulano una giornata invernale. Il ponte termico tra solaio e parete è evidente poiché la temperatura nello spigolo dell'ambiente interno è compresa tra 7 e 11 °C e provoca un elevato rischio di condensa superficiale. Per correggere il ponte termico ed evitare il rischio di condensa si può inserire, in corrispondenza del ponte termico, uno strato di pannelli coibenti dall'esterno; l'intera struttura, come mostrano i dati riportati nell'immagine a destra, in seguito all'intervento ha una temperatura che poco si discosta da quella dell'aria: temperatura nello spigolo = 18 °C

Si può eliminare questo ponte termico interrompendo il solaio interpiano, nella parte terminale verso l'esterno, con materiale isolante, che, anche in questo caso, deve poter continuare sopra e sotto nella stratificazione muraria. Tecnicamente, si possono inserire delle strisce di isolante nel cassero prima del getto del calcestruzzo. Si può scegliere di realizzare la struttura orizzontale e lo strato portante completamente staccati dal rivestimento esterno in elementi di laterizio, agganciando quest'ultimo mediante ancoraggi metallici posizionati puntualmente nella muratura: l'incidenza di tali ancoraggi sulle proprietà termiche complessive dell'involucro è comunque trascurabile. Per quanto attiene la loro influenza sull'isolamento acustico, si può manifestare un modesto calo di prestazioni alle frequenze medio-basse: tale riduzione, normalmente contenuta all'interno dell'incertezza di misura, può essere ritenuta anch'essa trascurabile.

Riassumendo per il nodo Chiusura verticale | Solaio

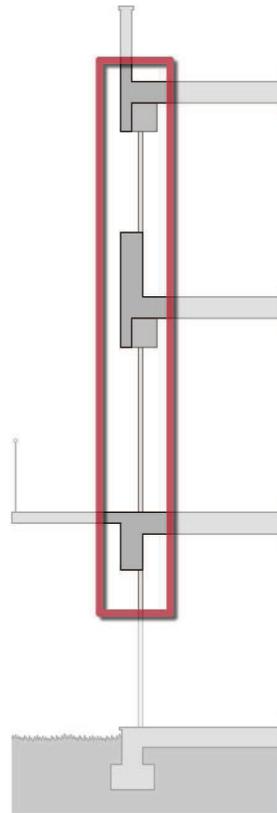
Parametri energetici	<p>In questo nodo critico convergono una serie di problematiche energetiche, come descritto, che rischiano di inficiare il comportamento nodale in relazione ai parametri analizzati; il problema maggiore può essere che l'isolamento termico, con la sua relativa trasmittanza, subiscano un brusco calo di valore nel punto di contatto tra i due.</p> <p>In regime invernale è essenziale che la chiusura mantenga elevate prestazioni di isolamento termico anche, e soprattutto, nei punti in cui si innesta la partizione interna orizzontale, cercando di eliminare il ponte termico proponendo soluzioni ove l'isolamento sia comunque continuo.</p> <p>Per il regime estivo, soprattutto delle zone giorno, è importante che la massa superficiale sia tale da garantire anche nel nodo una giusta proporzione dello sfasamento dell'onda termica; nei punti in cui si innestano solai di spazi con chiusure trasparenti, è interessante valutarne le prestazioni, che in inverno possono essere sfruttati per incamerare il calore del sole oltre alla luce, ed in estate essere invece in grado di filtrare la luce senza lasciar passare un eccesso di energia termica.</p>
Parametri acustici	<p>La contingenza della situazione di interfaccia mette in luce un punto che può, per motivi morfologici e strutturali, accompagnare un declino delle proprietà acustiche dei componenti posati in opera. Un'attenzione va posta nei punti di contatto per permettere che le prestazioni di isolamento acustico rimangano inalterate, in grado di rispondere in ogni punto della chiusura almeno ai requisiti minimi imposti dalla normativa.</p>

Parametri sismici

In questo caso è necessario distinguere se la chiusura abbia in sé anche la funzione portante o meno; nel primo caso, la connessione con l'elemento di partizione orizzontale è necessario per garantire che ci sia una corretta connessione strutturale in grado di dare risposte adeguate in materia di sicurezza e stabilità. Nel caso in cui la chiusura sia tamponamento di una struttura intelaiata, gli accorgimenti sono tutti da rivolgere alla coesione del tamponamento con l'intelaiatura, onde evitare che in risposta ad una sollecitazione sismica si assista ad un parziale - o nei casi più gravi totale - distacco della muratura dalla struttura stessa.

5.1.2 Chiusura verticale | Struttura di elevazione

La devastazione lasciata dalla seconda guerra mondiale e l'impovertimento del paese sconfitto ponevano fra le impellenze il lavoro, in termini di grave urgenza, costringendo le classi deboli a spostarsi per trovarne, spesso senza poter contare su riferimenti abitativi di qualche stabilità. Negli anni cinquanta, perciò, parallelamente al fenomeno dell'urbanizzazione, che convogliava masse operaie sulle metropoli, le zone periferiche di queste ultime furono attinte da numerosissime rapide azioni di costruzione. Si trattava, principalmente, di nuove tecnologie e nuovi processi basati sul diffuso impiego del getto di calcestruzzo in opera e di elementi prefabbricati. In questo periodo sono stati costruiti circa i 2/3 dell'edilizia oggi esistente: nel nostro paese la tecnologia costruttiva più diffusa è quella a telaio in



calcestruzzo armato gettato in opera. Lo scheletro è realizzato indipendentemente da tutto il resto, successivamente vengono aggiunti i tamponamenti esterni, le partizioni interne, generalmente in muratura di laterizio forato.

L'involucro di facciata è, nella maggior parte dei casi, la semplice risposta alla configurazione modulare dell'edificio: dall'impiego del laterizio, con caratteristiche migliorate, all'utilizzo, ormai non più molto diffuso, di pannelli prefabbricati in calcestruzzo di colore naturale, ovvero grigio scuro. Si tratta prevalentemente di edilizia sorta in un periodo di forte domanda di abitazioni che ha portato alla costruzione, rapida e spesso in assenza di regolamentazione tecnica, di edifici multipiano basati sull'uso di tecnologie legate soprattutto alla velocità di esecuzione piuttosto che alla qualità architettonica.

Oggi ci si trova a dover affrontare il tema della sostenibilità dei costi energetici ed acustici, e le criticità sollevate in campo antisismico. Il degrado cui vanno incontro le facciate, l'assenza di isolamento termico ed acustico, la presenza di ponti termici in corrispondenza dei nodi tra chiusura verticale e partizione orizzontale, sono le

principali cause di inefficienza delle costruzioni che potrebbero vanificare i risultati ottenibile con le nuove costruzioni a seguito dell'applicazione di nuovi processi e tecnologie applicate alle costruzioni.

Il rapporto dunque tra la struttura in elevazione verticale (travi e pilastri principalmente realizzati in calcestruzzo armato) va a creare una triplice criticità: *_energetica*, infatti la presenza di ponti termici legati alla discontinuità materica crea uno dei luoghi a maggior dispersione di calore.



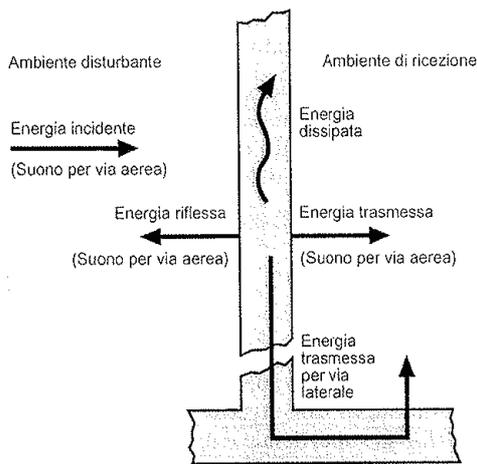
Figure 5.4 e 5.5 *Dispersioni energetiche su di un edificio dovute alla presenza di ponti termici: pilastri e travi (cemento armato) non opportunamente isolati, nelle stagioni fredde, cedono calore verso l'esterno, in maggior quantità rispetto al laterizio (il contenuto d'aria peggiora la capacità di trasmettere calore). L'immagine termografica permette di individuare la presenza di dispersioni termiche in corrispondenza dell'ossatura portante di un edificio anche di recente costruzione. I ponti termici provocati dalla presenza delle travi e dei pilastri in cemento armato, possono causare la formazione di muffe sulle pareti interne dell'edificio.*

La criticità qui espressa riguarda sia il caso del pilastro inserito nella parete che del pilastro d'angolo.

Nel caso specifico di murature "stratificate", in cui ogni singolo componente viene messo in opera con una precisa specializzazione funzionale, una corretta progettazione e messa in opera risultano indispensabili per l'eliminazione, o quanto meno riduzione, dei ponti termici. Le murature stratificate, anche nel caso di utilizzazione di elementi "faccia a vista", prevedono, generalmente, uno strato di isolante intermedio. Nel caso di un edificio con struttura a telaio, è possibile eliminare il ponte termico tra i pilastri e la chiusura verticale esterna facendo, ad esempio, passare lo strato di materiale isolante all'interno dei pilastri stessi, seguendone la geometria; procedura più efficace è far continuare l'isolante sul lato

esterno dei pilastri, lasciando al suo interno la struttura e lo strato resistente della stratificazione muraria.

_acustica, poiché la presenza di ponti termici legati alla discontinuità materica spesso è proprio indice di presenza di punti attraverso i quali si sviluppano anche i passaggi dell'onda sonora.



Quando un'onda sonora (p_i) colpisce una struttura piana omogenea, questa viene:

_in parte riflessa nell'ambiente disturbante (p_r);

_in parte assorbita e dissipata sotto forma di calore (p_d);

_in parte trasmessa nell'ambiente disturbato (p_t);

_in parte trasmessa alle strutture collegate (p_f).

Normalmente, per realizzare un idoneo isolamento acustico si punta sul potere fonoisolante dei componenti, cioè la loro attitudine a ridurre la trasmissione del suono incidente su di essi. Il potere fonoisolante aumenta di 6 dB al raddoppio della massa superficiale e di 6dB per ogni ottava: quindi materiali ad elevata consistenza avranno un ottimo potere fonoisolante e la loro efficienza sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la frequenza del suono incidente. Bisognerà far sì che gli elementi che compongono la struttura in elevazione verticale abbiano un buono potere fonoisolante, e che ci sia continuità di materia proprio nei punti critici di contatto tra la struttura intelaiata ed i tamponamenti.

_strutturale, poiché la connessione tra la struttura ed i tamponamenti deve essere resistente ed efficiente per garantire durabilità e sicurezza (si veda il paragrafo 3.3). Ciò può avvenire se c'è un sufficiente coordinamento tra l'azione progettuale delle strutture e quella compositiva e tecnologico-escutiva: in questo modo le diverse competenze possono confrontarsi sulle rispettive esigenze prestazionali, dall'inizio del processo, in modo da concentrarsi unicamente sulla massimizzazione di tutte le prestazioni.

Riassumendo per il nodo Chiusura verticale | Struttura di elevazione

Parametri energetici	<p>La criticità qui espressa non è in questo caso concentrata su un punto specifico, bensì distribuita lungo tutto il contatto tra la struttura in elevazione e la chiusura verticale. Qui convergono una serie di problematiche energetiche che rischiano di inficiare il comportamento nodale in relazione ai parametri analizzati; il problema maggiore può essere che l'isolamento termico, con la sua relativa trasmittanza, subiscano un brusco calo di valore nel punto di contatto tra i due.</p> <p>In regime invernale è essenziale che la chiusura mantenga elevate prestazioni di isolamento termico anche, e soprattutto, nei punti in cui la chiusura riveste la struttura, che per questioni energetiche sarà difficilmente a vista; si raccomanda sempre di verificare che vengano proposte soluzioni ove l'isolamento sia continuo.</p> <p>Per il regime estivo, soprattutto negli ambienti delle zone giorno, è importante che la massa superficiale sia tale da garantire valori soddisfacenti dello sfasamento dell'onda termica.</p>
Parametri acustici	<p>La contingenza della situazione di interfaccia mette in luce una serie di luoghi che, per motivi morfologici e strutturali, possono accompagnare un declino delle proprietà acustiche dei componenti posati in opera. Un'attenzione va posta nei punti di contatto per permettere che le prestazioni di isolamento acustico rimangano inalterate, in grado di rispondere in ogni punto della chiusura almeno ai requisiti minimi imposti dalla normativa.</p>
Parametri sismici	<p>In questo caso, riferendosi al caso in cui la chiusura sia il tamponamento di una struttura intelaiata, gli accorgimenti sono tutti da rivolgere alla coesione del tamponamento con l'intelaiatura, onde evitare che in risposta ad una sollecitazione sismica si assista ad un parziale - o nei casi più gravi totale - distacco della muratura dalla struttura stessa.</p>

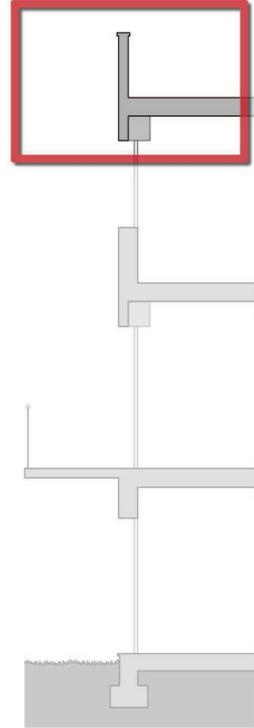
5.1.3 Chiusura verticale | Copertura

Il nodo tecnologico tra la chiusura verticale e la copertura è molto critico: deve essere resistente e stabile in presenza di carichi statici (peso proprio, pioggia, neve), di eventuali carichi d'uso (persone e/o apparecchiature), di carichi dinamici (vento), di urti. Inoltre assolve al compito di tenere all'acqua, isolare termicamente e acusticamente, non generare fenomeni di condensa interstiziale e superficiale. Esso va sempre opportunamente coibentato soprattutto perché solitamente è l'elemento strutturale che maggiormente incide sul fabbisogno termico.

Se ci si trova nella soluzione di una copertura a falde inclinate, prima di tutto va definito l'utilizzo della soffitta: se non sussiste l'intenzione di abitarla e riscaldarla, la coibentazione del soffitto dell'ultimo piano rappresenta la soluzione più semplice e meno onerosa. Lo strato coibente dovrebbe essere calpestabile: a tale scopo possono essere posati pannelli isolanti calpestabili o altri materiali isolanti su cui posare dei pannelli. È comunque indispensabile coibentare fino a un'altezza di ca. 50 cm le pareti culminanti, il camino e altri elementi che attraversano il soffitto.

Se invece la soffitta viene utilizzata come spazio abitativo è importante allora isolare termicamente tutto il tetto, dall'esterno. In linea di massima questa coibentazione ha il vantaggio di essere continua.

Per evitare i ponti termici è fondamentale che ci sia continuità fra la coibentazione del tetto e quella della facciata, cosa che diventa onerosa nei casi della realizzazione di uno strato continuo a tenuta stagna, che può rivelarsi più difficile e quindi va progettato ed eseguito con la dovuta cura.



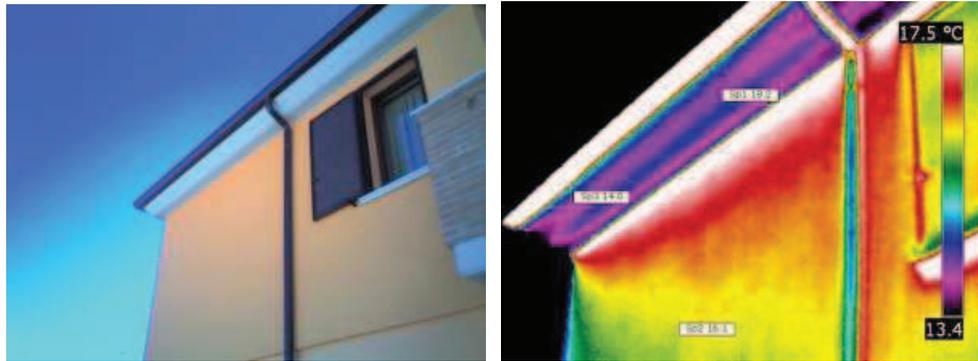


Figure 5.6 e 5.7 _Ponte termico dovuto a cornicione in cemento armato con parete sottostante isolata con cappotto esterno: la parte colorata in rosso è quella a maggior dispersione, a dimostrazione che la sommatoria di componenti anche altamente performanti non garantisce la prestazione del sistema.

Ragionando invece su coperture piane, esse vengono dotate di coibentazione continua superiore; di per sé il pacchetto può anche essere molto ben fatto e con alti valori prestazionali, ma il rischio è sempre nella connessione con la struttura in elevazione. Si pone quindi come un punto che va ri-analizzato e ri-progettato nell'ottica dell'abbattimento delle dispersioni di calore e tenendo conto dell'isolamento acustico che deve garantire nei confronti dell'ambiente esterno.

Una soluzione con alte prestazioni per coperture piane, soprattutto in regime estivo ed in regimi ad estati calde e umide, è legata alle coperture a verde.

Non si possono poi tralasciare, come già accennato, tutti gli aspetti connessi alla resistenza ed efficienza del sistema strutturale.

Riassumendo per il nodo Chiusura verticale | Copertura

Parametri energetici	<p>In questo nodo critico convergono una serie di problematiche energetiche che possono condurre ad un calo prestazionale localizzato molto evidente, come anche le immagini riportate mettono in luce.</p> <p>Il comportamento nodale in relazione ai parametri analizzati può veder calare i valori di trasmittanza termica effettiva anche notevolmente, pur utilizzando un pacchetto sia di chiusura verticale che di copertura molto ben progettato.</p> <p>In regime invernale è essenziale che la chiusura verticale e la copertura mantengano elevate prestazioni di isolamento termico anche, e soprattutto, nei punti in cui la copertura si innesta nella chiusura, cercando di eliminare il ponte termico attraverso soluzioni ove l'isolamento sia comunque posto in opera in maniera continua.</p> <p>Per il regime estivo, è importante che la massa superficiale sia tale da garantire anche nel nodo un valore congruo in riferimento alla normativa dello sfasamento dell'onda termica.</p>
Parametri acustici	<p>La contingenza della situazione di interfaccia mette in luce una serie di luoghi che, per motivi morfologici e strutturali, possono accompagnare un declino delle proprietà acustiche dei componenti posati in opera. Un'attenzione va posta nei punti di contatto per permettere che le prestazioni di isolamento acustico rimangano inalterate, in grado di rispondere in ogni punto della chiusura almeno ai requisiti minimi imposti dalla normativa.</p>

Parametri sismici

In questo caso è necessario distinguere se la chiusura verticale abbia in sé anche la funzione portante o meno; nel primo caso, la connessione con l'elemento di chiusura superiore (piana, a falde inclinate o di qualunque morfologia diversa) è necessaria per garantire che ci sia una corretta connessione strutturale in grado di dare risposte adeguate in materia di sicurezza e stabilità. Nel caso in cui la chiusura verticale sia tamponamento di una struttura intelaiata, gli accorgimenti sono tutti da rivolgere alla coesione del tamponamento con l'intelaiatura strutturale, onde evitare che in risposta ad una sollecitazione sismica si assista ad un parziale - o, nei casi più gravi, totale - distacco degli elementi dell'involucro dalla struttura in elevazione stessa.

5.2 Dal componente al sistema: nuove questioni nodali

Come si è avuto modi di evidenziare all'interno della prima parte della trattazione di questa tesi di ricerca, l'innovazione in questi ultimi anni ha subito forti spinte da alcuni motori che si sono individuati nella normativa, nelle aziende produttrici che hanno fatto ricerca, nell'utenza che tende ad essere sempre maggiormente informata rispetto ai temi della gestione dei manufatti edilizi.

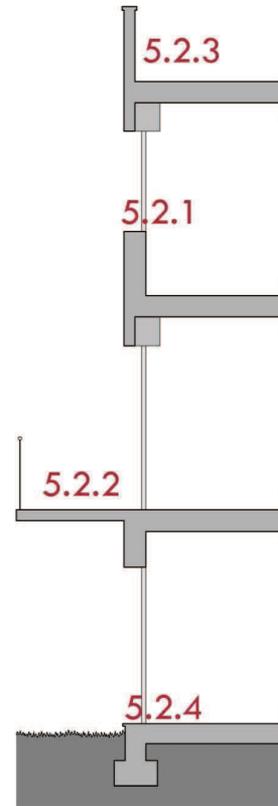
Rientrano in questa categoria quelle criticità sulle quali è necessario concentrare sforzi di ricerca e progettuali per verificarne l'integrazione con il sistema involucro.

Un esempio può essere quello relativo ai pacchetti e alle stratificazioni proposte per le soluzioni delle coperture: questi presentano oggi delle soluzioni innovative e ad alti livelli prestazionali; la criticità però emerge, ancora una volta, nel momento in cui questi pacchetti e queste stratificazioni si incontrano con la struttura, si innestano sulle chiusure verticali.

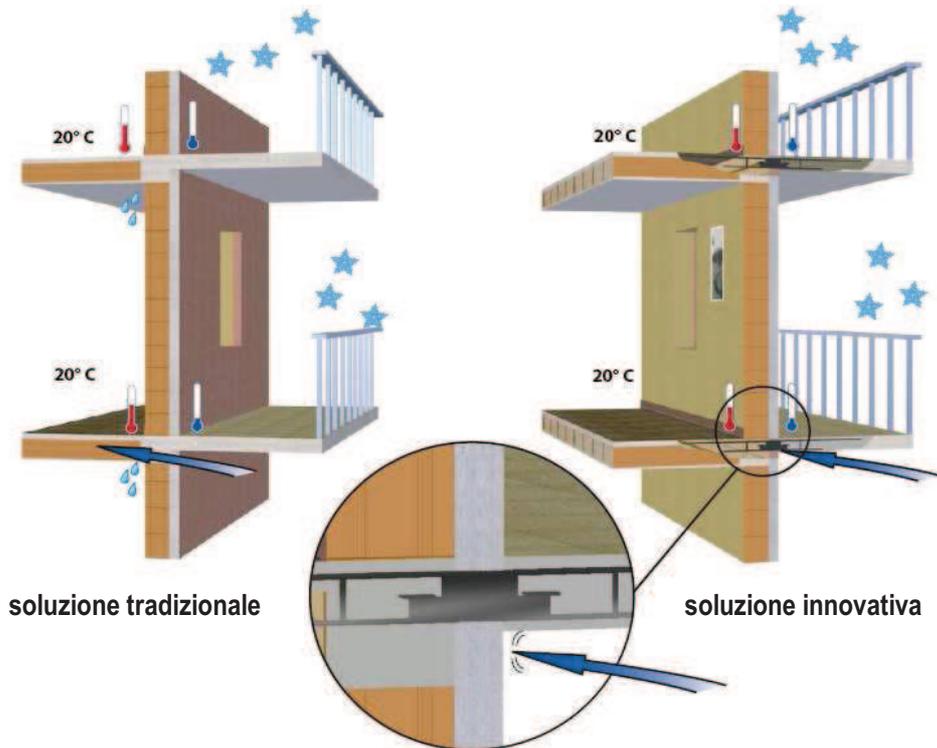
Stessa cosa si può dire per quanto riguarda gli infissi e gli oscuranti: essi possono essere molto performanti; eppure, posati in opera in maniera scorretta, rischiano di vanificare lo sforzo sia progettuale che produttivo dell'infisso in sé.

Non va in questo caso sottovalutata una certa "voglia di prefabbricazione" che sta conducendo le aziende, specie quelle medio-piccole che si rivolgono ad un mercato di nicchia, ad investire nella ricerca di soluzioni nodali innovative.

Un esempio possono essere le soluzioni di talune aziende al problema dei componenti aggettanti a sbalzo, che nell'edilizia abitativa sono sempre un elemento importante per la valutazione della qualità abitativa; capita spesso però che la soletta del balcone venga montata senza separazione termica dal solaio interno dell'edificio riscaldato, e nella zona di passaggio tra le due strutture si crea il



classico ponte termico: quanto più efficace sarà l'isolamento termico effettuato dal componente, minore sarà il rischio di formazione di condensa, muffa e conseguenti danni strutturali. Importante sarà anche la riduzione dei flussi termici e con essi la perdita di energia.



Non va però tralasciato l'accorgimento strutturale e la risposta alla normativa antisismica, poichè l'elemento costituisce una soluzione sicura in grado di fornire chiari vantaggi nel montaggio, essendo facilmente inseribile tra le armature strutturali ed in grado di assolvere anche una funzione portante. Tali elementi costruttivi⁴ sono in acciaio zincato che consente, in fase costruttiva, di non interrompere la coibentazione nel nodo costruttivo, costituito da solaio-cordolo-terrazzo, isolandolo dalle azioni termiche esterne; in questo modo si eviterà la dissipazione di calore e la conseguente formazione di muffe causate dalla condensa del vapore acqueo.

⁴ Mensolino®, fonte: <http://www.pontarolo.com>

Schöck Isokorb® per balconi a sbalzo, fonte: <http://www.schoeck.it>

Una ulteriore spinta innovativa si va concentrando sempre più sui molteplici nodi relativi alle porzioni trasparenti dell'involucro edilizio.

Col montaggio convenzionale della finestra vengono a crearsi, causa l'intervento di differenti artigiani per i vari componenti, ponti termici ed acustici nella zona del cassonetto dell'avvolgibile e della spalletta; i sistemi di alcune aziende⁵ sono composti da un controtelaio cui vengono fissati già in fabbrica tutti gli elementi isolanti, oltre a un cassonetto per avvolgibile di nuova concezione. In questo modo il blocco è predisposto per i più svariati tipi di davanzale interno ed esterno nonché per sistemi di oscuramento con relativa guida.



Il sistema può essere integrato in costruzioni tradizionali: interessante anche la variante in cui il telaio e l'anta vengono coperti completamente, oppure in cui un'invetriata fissa viene montata direttamente nel sistema senza un telaio visibile.

⁵ ISO-bloc® – L'idea rivoluzionaria per il montaggio di finestre.

Fonte: <http://www.suedtirol-fenster.com>; cassonetto e davanzale sono isolati; all'interno dell'elemento di architrave sono posti anche degli strati di isolamento acustico.

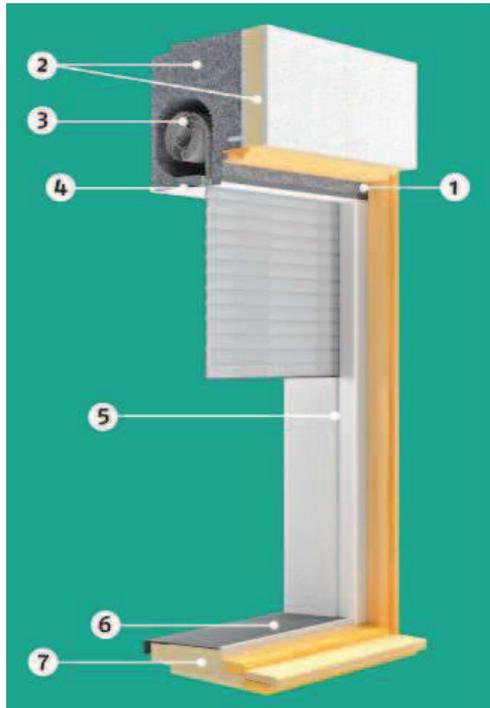


Figura 5.8

1. Telaio della finestra completamente isolato
2. Cassonetto avvolgibile con isolamento acustico all'interno
3. Consegnabile anche completo di avvolgibili o frangisole
4. Ispezione dall'esterno
5. Guida per oscuramenti integrata nell'isolamento
6. Predisposizione per l'applicazione dei bancali
7. Isolamento sotto la finestra o porta balcone

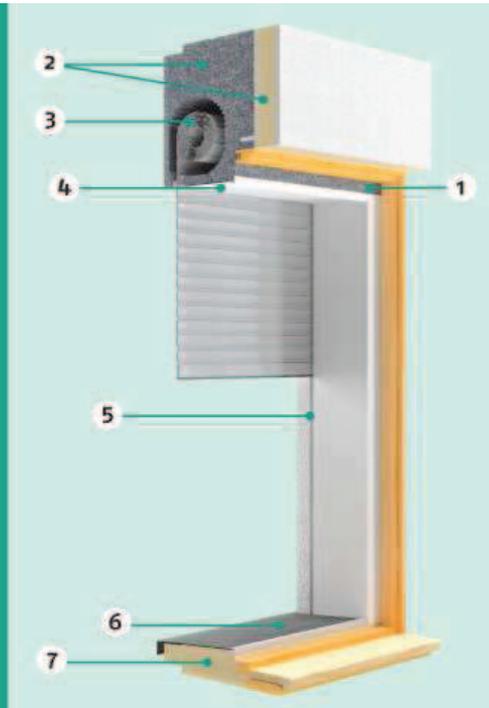


Figura 5.9

1. Telaio della finestra completamente isolato
2. Cassonetto avvolgibile con isolamento acustico di nuova concezione
3. Consegnabile anche completo di avvolgibili o frangisole
4. Ispezione tra serramento e telo avvolgibile
5. Guida per oscuramenti integrata nell'isolamento
6. Predisposizione per l'applicazione dei bancali
7. Isolamento sotto la finestra o porta balcone

Al termine dei lavori di intonacatura e pittura, si può inserire qualunque sistema di finestra (finestre in legno - finestre in alluminio/legno) o di oscuramento, senza che vengano a crearsi ponti termici. Il telaio della finestra vero e proprio viene montato in un secondo momento con l'impiego di nastri isolanti, quindi coperto e coibentato, in parte o completamente, dal blocco in oggetto: in questo modo è possibile ottenere un corretto montaggio ermetico delle finestre.

Un altro settore di investimento di alcune aziende di nicchia è relativo proprio all'interfaccia tra l'infisso e la chiusura verticale, dove la scelta di un buon serramento per risolvere i problemi di ponte termico, condensa e muffa può risultare solo parzialmente efficace: l'elemento "controtelaio" o "cassamatta" spesso non viene, infatti, preso in considerazione in maniera adeguata. In realtà, anch'esso svolge un ruolo importante nell'applicazione della finestra, anche se purtroppo spesso viene scelto puntando su soluzioni semplici ed economiche, che, però, non sono in grado di garantire una bassa trasmittanza.

Alcune aziende⁶ hanno in questi anni iniziato a prototipare un vero e proprio sistema di controtelaio per tutti i serramenti in pvc e in alluminio: polivalente, nel senso che può essere impiegato in tutte le varianti - sia che si tratti di serramento con cassonetto, con cassonetto esterno, con persiana, oppure con frangisole, esso risulta sempre in linea con i criteri di costruzione per edifici a basso consumo energetico e con un'ottima performance acustica -, ed ecologico, ovvero realizzato con materiale riciclato ricavato da scarti di produzione del pvc.

Dal punto di vista tecnico-applicativo il controtelaio è corredato, come mostrano le immagini seguenti, da uno spigolo di supporto intonaco, doppio isolamento tramite guarnizioni coestruse, nasello d'attacco per bancali esterni, scanalature per eventuali bancali interni, oltre alla possibilità di un inserimento aggiuntivo nella parte inferiore per migliorare l'isolamento e per applicazione guaine isolanti.

Nell'immagine a fianco si nota il doppio isolamento legato alle guarnizioni, oltre al taglio del ponte termico del davanzale tramite il controtelaio che separa i due materiali dei bancali esterno ed interno; può, in maniera affine, essere applicato anche nel caso di porta-balcone.



⁶ Fonte: www.finstral.it

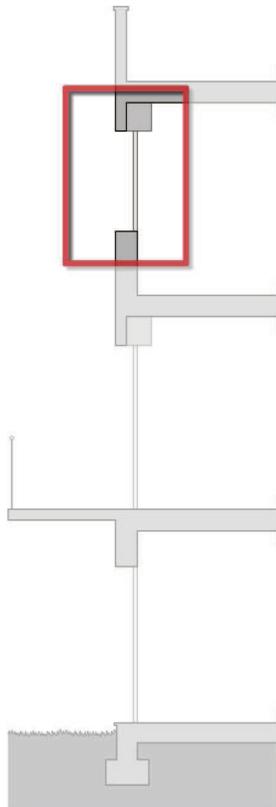
Tutto questo però non tende alla risoluzione del problema, quantomeno non in maniera diffusa.

Se, infatti, ad ogni singola criticità si oppongono risposte localizzate, il nodo può anche risultare correttamente risolto, ma non certo messo a sistema con tutti i componenti che alle diverse scale intervengono nei punti nodali dell'involucro.

Questa prefabbricazione può essere utile ai fini dell'utilizzo di componenti innovativi e, soprattutto, per spingere anche le aziende più grandi a porsi in linea con quanto la normativa, e la ricerca, chiedono effettivamente al mercato; va però sottolineato che utilizzare componenti innovativi in maniera poco critica non aiuta. Bisogna per questo indagare maggiormente le criticità di interfaccia, portando le aziende ed i posatori di componenti per involucro ad acquisire una maggiore competenza nella gestione del processo, verso una più consapevole posa in opera: le criticità non svaniscono senza una corretta soluzione per ognuna delle questioni nodali, lette singolarmente ma messe a sistema e risolte nella loro complessità.

Di seguito si cercherà di focalizzare l'attenzione su quattro tematiche specifiche (*si veda la sezione di riferimento sopra riportata*), così da poter concentrare l'attenzione di analisi della presente ricerca su tematiche ancor più precise e stringenti.

5.2.1 Parete perimetrale verticale | Infisso



La questione nodale del rapporto tra la chiusura verticale e l'infisso è uno dei luoghi dove l'attenzione dei progettisti, delle aziende e dei costruttori è da molto tempo concentrata. Va però sottolineato che alla luce del quadro normativo odierno tale criticità è divenuta ancora più evidente.

Innanzitutto il ponte termico del davanzale, dove la criticità maggiore sta nel punto di appoggio dell'infisso sul bancale; il passaggio di calore tra interno ed esterno, e viceversa, è immediato. Lo stesso dicasi in merito alla normativa sulla tutela acustica degli ambienti interni, poiché il passaggio delle onde sonore avviene nel momento in cui non se ne interrompe il flusso. Si possono inoltre verificare ulteriori problemi superficiali, che possono far aumentare i costi di manutenzione.

La soluzione può ritrovarsi nel taglio del davanzale, ovvero nella realizzazione di una soluzione di continuità nell'elemento bancale: questo garantisce una buona risposta al problema, raccogliendo tutte le istanze normative ed economiche/di prassi esecutiva.

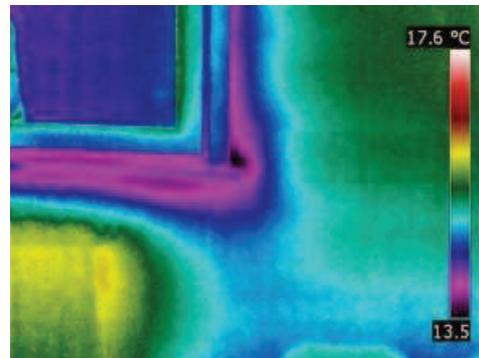


Figure 5.8 e 5.9 Finestra non montata a regola d'arte: la cattiva tenuta all'aria della finestra crea muffa lungo il telaio e notevoli dispersioni di calore verso l'esterno.

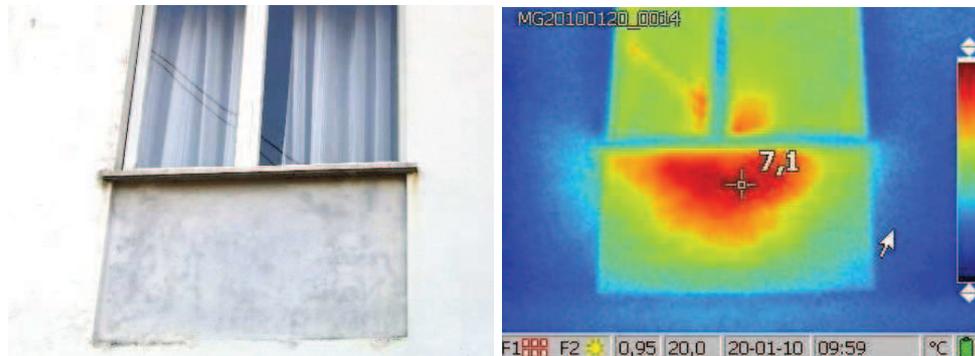


Figure 5.10 e 5.11 _Il davanzale ed il sottofinestra ripresi dall'esterno, a sinistra l'immagine fotografica, a destra quella termografica: l'immagine termografica è significativa della presenza di un ponte termico provocato dalla muratura del sottofinestra (colorazione rossa-arancione) e del conseguente spreco di energia termica per riscaldamento. Individuato il problema è possibile decidere se impiegare dall'interno un pannello coibentato con barriera al vapore, in modo da ridurre la dispersione di calore, oppure intervenire dall'esterno con un isolamento a cappotto.

Una criticità ulteriore risiede nel rapporto con la struttura intorno alla bucatura dell'infisso: l'elemento tecnico dell'architrave rischia di portare con sé sia problemi energetici (ponte termico lineare come accade per il davanzale) che acustici (passaggio onda sonora) e sismici (legati alla resistenza ed alla sicurezza).

Va oltremodo individuata una problematica relativa ai costi ed alla fattibilità, sebbene un intervento sull'architrave non sia particolarmente oneroso in fase di nuova costruzione: interessante la soluzione del doppio architrave con interposto il materiale coibente, o le soluzioni in cui l'architrave collabora con il cassonetto per l'avvolgibile.

Come appena accennato, un problema che rende nodale questo luogo dell'involucro è relativo ai sistemi oscuranti, siano essi il cassonetto dell'avvolgibile o gli scuri esterni. Nel primo caso la criticità di questo nodo tecnologico è legata alla discontinuità nella muratura atta ad accogliere l'elemento avvolgibile, oltre al rischio di formazione di condensa e perdita di calore nel punto di passaggio della cinghia di sollevamento; nel secondo caso, il problema è legato principalmente al fissaggio degli scuri rispetto alla chiusura verticale.

Un altro problema risiede nel rapporto con il controtelaio, in gran parte sottovalutato; spesso gli infissi hanno anche alti livelli prestazionali, ma se

trascurato, il dettaglio della progettazione e posa del controtelaio diviene luogo sia di dispersione termica che di problematiche acustiche.

Riassumendo per Parete perimetrale verticale | Infisso

Parametri energetici	<p>Quella esposta è forse una delle questioni nodali su cui converge maggiormente una serie di problematiche energetiche che possono condurre ad un calo prestazionale localizzato molto evidente, come anche le immagini riportate hanno tentato di mettere in luce: un'interfaccia con posa in opera errata può veder calare i valori di trasmittanza termica effettiva anche notevolmente, pur utilizzando componenti altamente performanti, sia per la porzione opaca che per quella trasparente dell'involucro verticale.</p> <p>È essenziale che l'interfaccia tra la chiusura verticale e gli infissi mantenga elevate prestazioni di isolamento termico anche, e soprattutto, nei punti in cui l'infisso si innesta nella chiusura, cercando di eliminare il ponte termico attraverso soluzioni ove l'isolamento sia comunque posto in opera in maniera continua.</p>
Parametri acustici	<p>La contingenza della situazione di interfaccia mette in luce una serie di luoghi che, per motivi morfologici e strutturali, possono accompagnare un declino delle proprietà acustiche dei componenti posati in opera. Un'attenzione va posta nei punti di contatto per permettere che le prestazioni di isolamento acustico rimangano inalterate, in grado di rispondere in ogni punto della chiusura almeno ai requisiti minimi imposti dalla normativa. Attenzione al controtelaio: se non perfettamente isolato esso porta ad un abbattimento della prestazione acustica. Nel caso di una parete con strato isolante interposto, o con rivestimento a cappotto, bisogna avere cura di far rigirare l'isolamento fino a coprire le giunzioni tra chiusura ed infisso, magari utilizzando dei materiali non rigidi.</p>

Parametri sismici

In questo caso non è necessario distinguere se la chiusura verticale abbia in sé anche la funzione portante o meno; in entrambi i casi, la connessione con l'infisso è necessaria per garantire che ci sia una corretta connessione strutturale in grado di dare risposte adeguate in materia di sicurezza e stabilità: bisogna in ogni modo evitare che in risposta ad una sollecitazione sismica si assista ad un parziale - o, nei casi più gravi, totale - distacco dei componenti trasparenti dell'involucro dalla struttura della cortina opaca.

5.2.2 Parete perimetrale verticale | Balcone o loggia

Le sporgenze in corrispondenza dei balconi rappresentano una questione nodale che assume in sé tutte le problematiche connesse all'energetica, all'acustica ed alla sismica.

È innanzitutto un ponte termico: esistono diversi metodi per ovviare al problema a cominciare dalla coibentazione continua fino alla realizzazione degli sbalzi con strutture prive di raccordo diretto al fabbricato, vale a dire “termicamente separate”.

Se si decide di coibentare il balcone, lo spessore dello strato coibente può creare problemi di spazio sulla parte superiore; in questo caso si provvederà ad isolare termicamente quantomeno la parte inferiore del balcone. Un'altra soluzione è quella di coibentare la parte superiore con pannelli isolanti evacuati che vantano un potere isolante superiore di 8 – 10 volte rispetto ai materiali coibenti convenzionali e quindi richiedono uno spessore notevolmente minore.

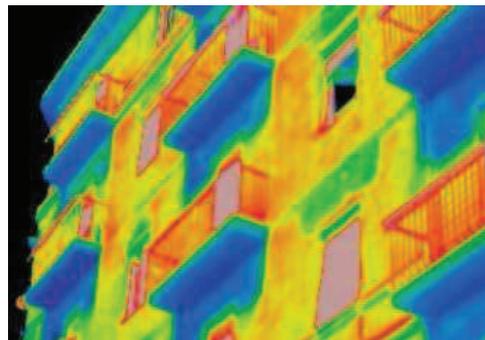
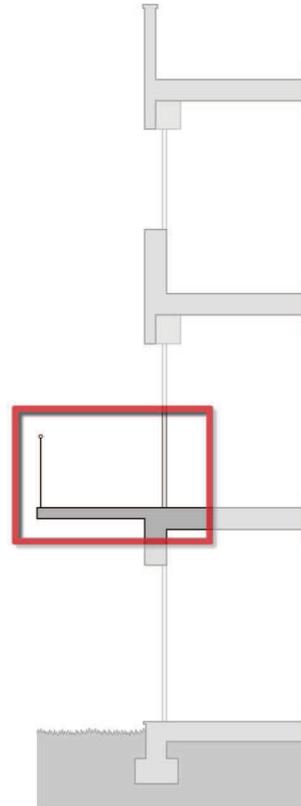


Figure 5.12 e 5.13 _L'immagine termografica è relativa alla verifica della presenza di ponti termici e dispersioni di calore (indicati con la colorazione rossa-gialla) da un edificio realizzato una cinquantina di anni or sono. Le dispersioni termiche, provocate da un isolamento inadeguato, hanno causato la presenza di macchie di umidità all'interno dei locali.

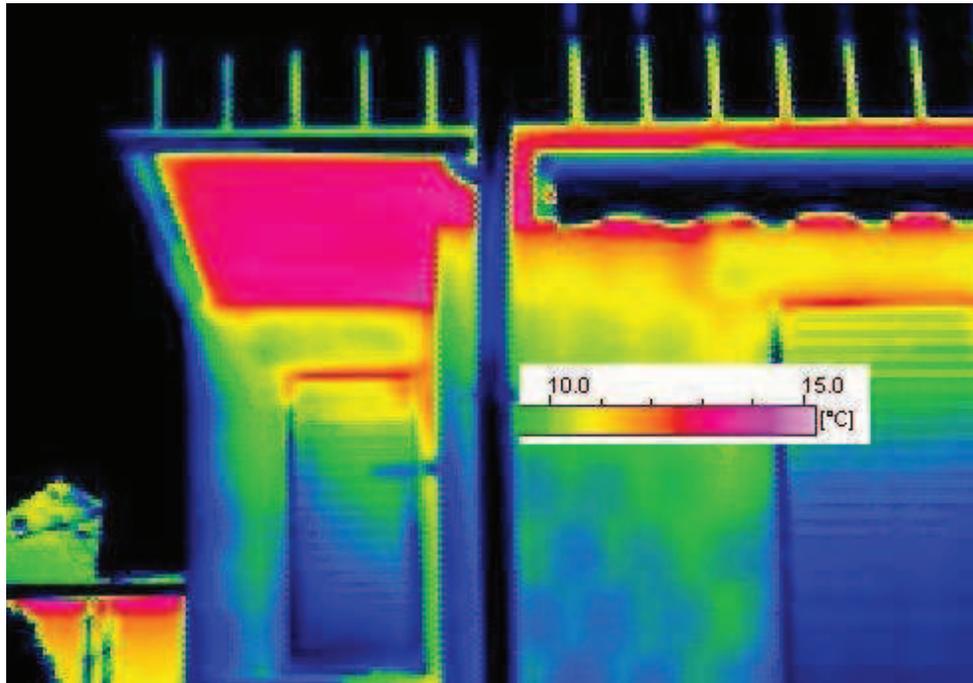


Figura 5.14 *Dispersione termica dalla soletta di un balcone non adeguatamente isolato (colorazione rosso - fucsia). Nell'immagine si può anche notare la trama della muratura, segnale inequivocabile della presenza di materiali di scarsa qualità. I ponti termici provocano la formazione di umidità e muffe all'interno delle abitazioni e costi elevati relativi al riscaldamento ed al condizionamento dei locali.*

Altra soluzione potrebbe essere l'interruzione del contatto tra la soletta e la struttura retrostante, ma questo genera grossi dubbi statici. Alcune aziende, investendo in ricerca, hanno brevettato dei componenti strutturali atti a tagliare in grado di consentire l'interruzione del ponte termico.

Tali componenti a taglio termico sono elementi costruttivi in acciaio zincato che consentono, in fase costruttiva, di non interrompere la coibentazione nel nodo costruttivo, costituito da solaio - cordolo - terrazzo, isolandolo dalle azioni termiche esterne: utilizzando tali elementi si eviteranno la dissipazione di calore e la conseguente formazione di muffe causate dalla condensa del vapore acqueo, oltre ad apportare un notevole contributo anche in materia di acustica.

L'utilizzo di questi componenti strutturali comporta l'incremento delle prestazioni termiche ed acustiche in un luogo dell'involucro che solitamente si mostra molto critico sotto molteplici aspetti; inoltre viene resa la posa in opera semplice ed intuitiva, esente da problemi, mostrando una notevole flessibilità alle varie

necessità progettuali, in quanto la maggiore o minore capacità di sopportare i carichi viene regolata inserendo più o meno elementi per metro lineare.

In questo modo si ha una completa mancanza di punti di contatto con il calcestruzzo ove si manifestano tensioni alte e localizzate, si eliminano le infiltrazioni e non si presentano, col passare del tempo, le crepe prodotte dalla differenza di dilatazione termica di materiali posti in continuità.

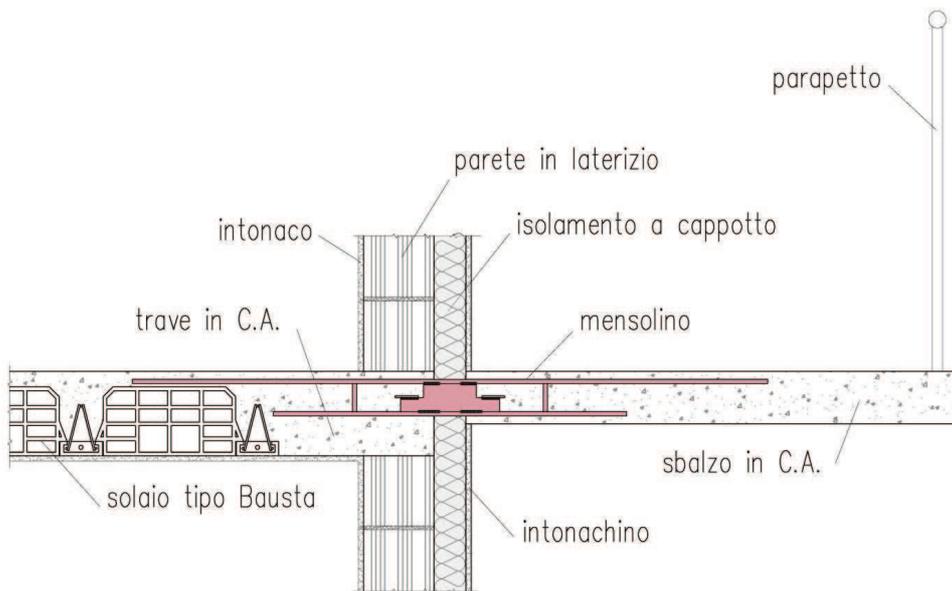
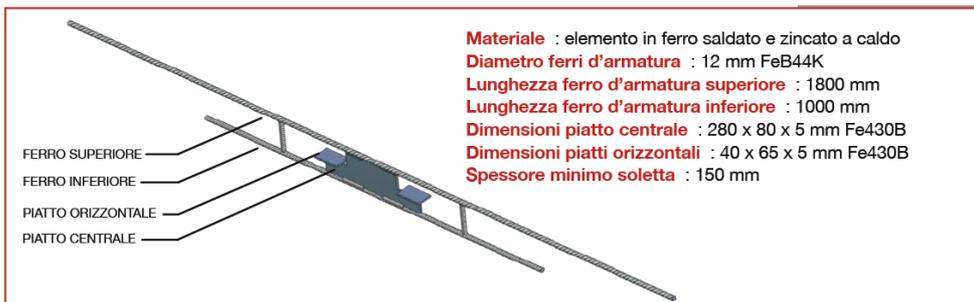


Figure 5.15 e 5.16_Mensolino®, prodotto dall'azienda Pontarolo Engineering, è un elemento costruttivo per costruzioni realizzate con sistemi costruttivi tradizionali: consente, in fase costruttiva, di non interrompere la coibentazione nel nodo costruttivo, isolandolo dalle azioni termiche esterne, e risolvendo in questo modo anche la criticità acustica e sismica - strutturale.

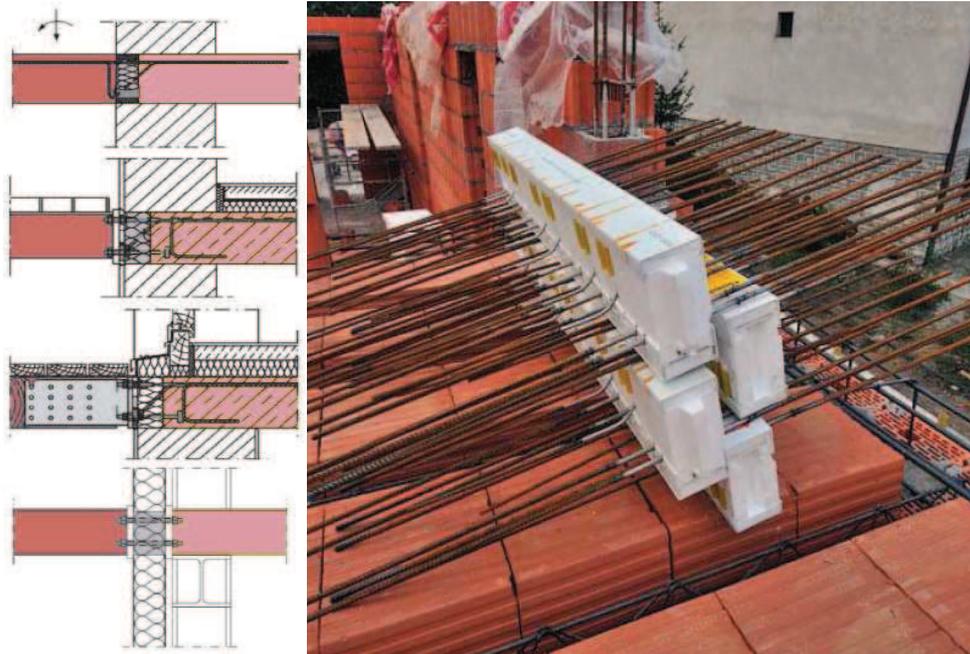


Figura 5.17 Schöck Isokorb® è l'elemento isolante portante che separa termicamente gli elementi costruttivi esterni dell'edificio, sia calcestruzzo-calcestruzzo che calcestruzzo-legno, calcestruzzo-acciaio e acciaio-acciaio. Isokorb® riduce i ponti termici, impedendo la formazione di condensa e muffa.

Anche le logge esterne rientrano in questa tipologia di criticità: in questi casi va presa in considerazione la possibilità di creare una zona tampone termica dotata di vetrate (giardino d'inverno) o di integrarla nello spazio abitativo. Altro accorgimento può essere quello di realizzare sbalzi e logge con strutture autoportanti, magari con elementi leggeri e fondazioni autonome: in tal modo sarebbero come elementi n con funzioni accessorie, giustapposti all'involucro principale, cui possono essere fissati tramite pochi contatti puntuali, per abbattere ponti termici ed acustici: dal punto di vista strutturale, l'intervento così pensato garantisce buoni comportamenti rispetto alle sollecitazioni dei sismi.

Riassumendo per Parete perimetrale verticale | Balcone o loggia

Parametri energetici	<p>Quella questione nodale ha in sé un notevole potenziale di criticità, perché come appena espresso, ha il potere di divenire un ponte termico di portata fin troppo rilevante per l'involucro.</p> <p>Su di essa converge una serie di problematiche energetiche che possono condurre ad un calo prestazionale localizzato: un'interfaccia con posa in opera errata può veder calare notevolmente i valori di trasmittanza termica effettiva.</p> <p>È essenziale che l'interfaccia tra la chiusura verticale e gli elementi a sbalzo mantenga elevate prestazioni di isolamento termico anche, e soprattutto, nei punti in cui si verifica l'innesto strutturale nella chiusura, cercando di eliminare il ponte termico attraverso soluzioni ove l'isolamento sia comunque posto in opera in maniera continua.</p>
Parametri acustici	<p>In questo punto nodale, per motivi morfologici e strutturali, può verificarsi un declino delle proprietà acustiche dei componenti posati in opera e dell'intero sistema. Un'attenzione va posta nei punti di contatto o di innesto, per permettere che le prestazioni di isolamento acustico rimangano inalterate, in grado di rispondere in ogni punto della chiusura almeno ai requisiti minimi imposti dalla normativa.</p>
Parametri sismici	<p>In questo caso non è necessario distinguere se la chiusura verticale abbia in sé anche la funzione portante o meno: in entrambi i casi, la connessione con l'elemento aggettante è imprescindibile, ma per far sì che non vengano alterate anche le altre prestazioni appena citate, tale connessione deve essere risolta o con un rivestimento completo a cappotto, o tramite l'inserimento di elementi che stacchino la struttura per permettere sia la connessione strutturale che l'isolamento termico ed acustico. Bisogna sempre evitare che in risposta ad una sollecitazione sismica si verifichi un parziale - o, nei casi più gravi, totale - distacco o collasso dei componenti coinvolti.</p>

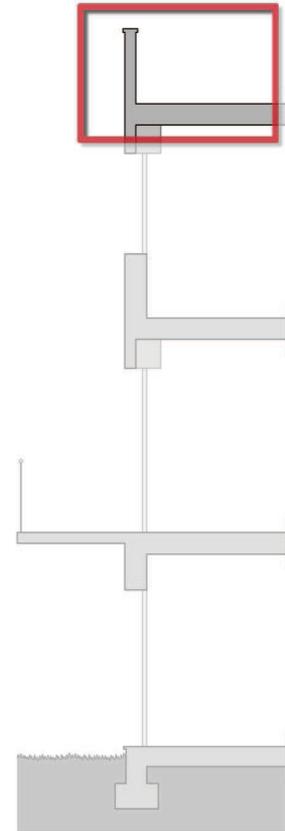
5.2.3 Chiusura orizzontale superiore su spazi aperti

La chiusura superiore separa in senso orizzontale l'interno dell'edificio dall'esterno, attraverso la regolazione di flussi di materia ed energia. I flussi luminosi, termici, sonori e gassosi attraversano gli strati funzionali e gli infissi della chiusura in modo da controllarne lo scambio.

Le coperture impediscono il passaggio di cose, animali e oggetti, controllando anche il passaggio di sostanze liquide e gassose, nonché il passaggio di energia termica e sonora. Dal punto di vista morfologico le coperture si differenziano, in base alla loro continuità rispetto allo strato di tenuta all'acqua, in due sottoclassi: coperture continue e coperture discontinue. In generale le coperture discontinue presentano una pendenza tale da consentire il deflusso dell'acqua senza infiltrazioni nelle discontinuità. La pendenza minima ammissibile è funzione del materiale impiegato e delle condizioni ambientali. Le coperture continue permettono di adottare pendenze sensibilmente inferiori a causa del carattere stagno dello strato di tenuta. La copertura deve essere realizzata in modo da ridurre i rumori aerei (trasmessi attraverso l'aria messa in vibrazione, come i rumori del traffico e del vento) ed i rumori d'impatto (trasmessi da un corpo solido, come il rumore della pioggia o della grandine). Il livello di isolamento richiesto varia in relazione al tipo di esposizione (traffico aereo, ferroviario o stradale, zona industriale) e di attività svolta nei locali interni.

La classificazione in base agli strati funzionali prevede:

- _coperture non isolate e non ventilate: non controllano la trasmissione del calore e il comportamento termoigrometrico attraverso strati funzionali specifici;
- _coperture isolate e non ventilate: controllano la trasmissione del calore attraverso uno strato funzionale specifico ma non il comportamento termoigrometrico;



_coperture ventilate e non isolate: controllano il comportamento termo igrometrico attraverso uno strato funzionale specifico ma non la trasmissione del calore;

_coperture isolate e ventilate: controllano la trasmissione del calore e il comportamento termoigrometrico attraverso strati funzionali specifici.

La copertura tecnicamente funzionale è quella che svolge efficacemente e in modo duraturo nel tempo la sua funzione di proteggere la casa dagli agenti esterni, assicurando il comfort abitativo. Va sottolineato che l'isolamento della copertura piana è un intervento estremamente delicato perché necessita di un'accurata impermeabilizzazione e, se il tetto è praticabile, di pavimentazione.

Nel caso del sottotetto non praticabile conviene, invece, posare e distribuire l'isolante sul pavimento del sottotetto, è l'intervento meno costoso e di più semplice realizzazione. Si può procedere, ad esempio, posando dei materassini isolanti dello spessore di 8-10 cm o anche versando 10 cm di isolante sciolto. Isolare la parte inclinata del tetto porterebbe solo a riscaldare inutilmente il volume del sottotetto con il calore che sale dagli ambienti sottostanti.

L'isolante del sottotetto praticabile - nel caso di una copertura a falde inclinate - è bene venga posato parallelamente alla eventuale pendenza del tetto. Si può realizzare, ad esempio, fissando materassini, pannelli o lastre d'isolante alle assi o fra le travi del tetto, prestando attenzione alla presenza o alla posa della barriera al vapore o all'eventuale creazione di un'intercapedine che consenta l'aerazione.

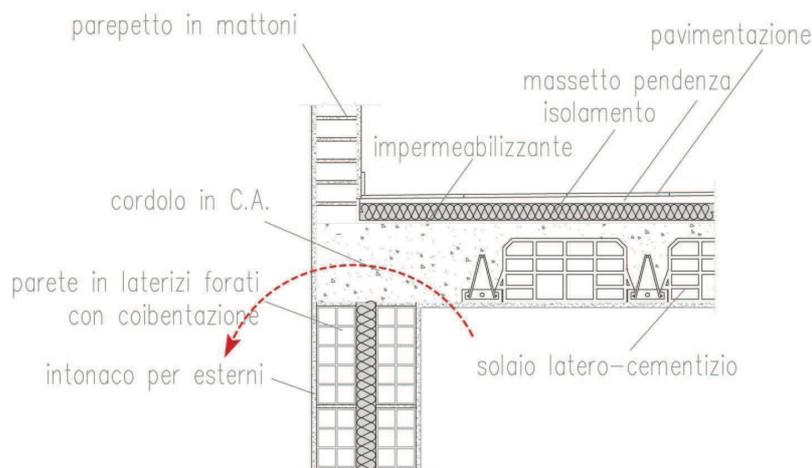


Figura 5.18 Ponte termico ed acustico non corretto: chiusura verticale ed orizzontale coibentate, ma la criticità si mostra immediatamente nell'innesto tra le due.

Il modello funzionale, generalizzato in seguito alle leggi sul contenimento energetico, prevede l'inserimento di uno strato di isolamento termico (pannelli a conducibilità termica ridotta) tra l'elemento di tenuta e gli strati sottostanti. Il particolare posizionamento dello strato isolante, che blocca la maggior parte del flusso di calore che attraversa la copertura, provoca forti innalzamenti della temperatura del manto impermeabile, che in estate può raggiungere gli 80°C. L'adozione della soluzione è subordinata alla verifica della resistenza alla deformazione e all'invecchiamento dello strato di tenuta. Il modello di copertura continua isolata rovescia inserisce nella successione degli strati funzionali il materiale isolante al di sopra del manto impermeabile. Ciò permette l'infiltrazione della acque fino al manto impermeabile.

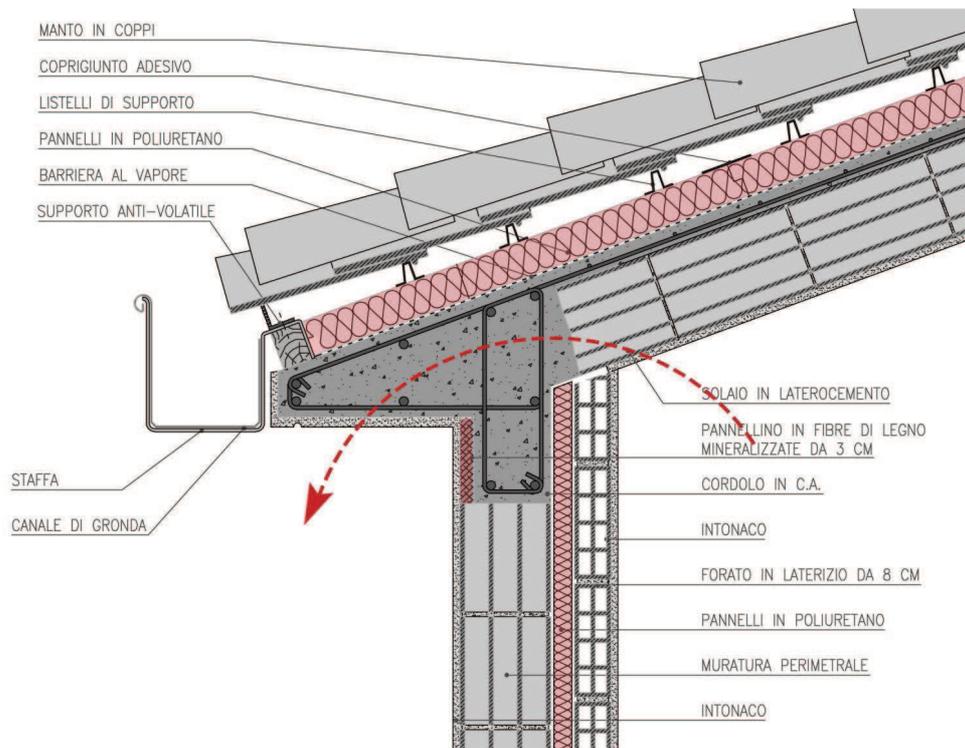


Figura 5.19 *Nodo parete-copertura inclinata a falde con struttura in laterocemento e copertura micro ventilata: nonostante i numerosi accorgimenti, si vede chiaramente un punto critico di passaggio di energia sia termica che sonora.*

Il tetto ventilato si può chiamare tale quando il manto di copertura si distacca dallo strato isolante, creando un'intercapedine che permetta ad un flusso omogeneo d'aria, di circolare dalla gronda fino al colmo.

Durante le stagioni estive, la costante e consistente circolazione d'aria, sottrae il calore trasmesso dal manto di copertura, preservando dal surriscaldamento gli strati sottostanti. Nel periodo invernale, invece, la circolazione dell'aria è meno intensa, ma è comunque sufficiente a mantenere asciutto il pannello isolante e ad eliminare eventuali fenomeni di condensa.

Nonostante si assista, come si è mostrato, ad una evoluzione dei componenti dei pacchetti per stratificazioni dei solai di copertura in grado di offrire elevati standard prestazionali, nel momento in cui questi pacchetti - verticali o orizzontali - si incrociano, la criticità si mostra tutta.

In entrambi i casi morfologici, copertura piana o a falde inclinate, va sottolineata l'importanza di ricercare una perfetta continuità del material coibente, soprattutto per rilevare elevate prestazioni in regime invernale.

Per il regime estivo, restano validi i ragionamenti già espressi all'interno di questa ricerca, focalizzando maggiormente l'attenzione sulla possibilità di sposare all'isolamento la massa delle due chiusure, così da garantire un buon livello di comfort interno anche nel periodo estivo.

Riassumendo per Chiusura orizzontale superiore su spazi aperti

Parametri energetici	<p>Questa è da ritenersi, come dimostrato, una questione nodale superficialmente diffusa, in quanto su tutta la superficie, oltre che nell'interfaccia con la chiusura, convergono una serie di problematiche energetiche che possono condurre ad un calo prestazionale, globale e localizzato, molto evidente.</p> <p>Il comportamento in relazione ai parametri analizzati può veder calare i valori di trasmittanza termica effettiva anche notevolmente, pur utilizzando stratificazioni anche molto ben definite.</p> <p>In regime invernale è essenziale che la chiusura orizzontale su spazi aperti mantenga elevate prestazioni di isolamento termico anche, e soprattutto, nei punti in cui la copertura si innesta nella chiusura, cercando di eliminare il ponte termico attraverso soluzioni ove l'isolamento sia comunque posto in opera in maniera continua.</p> <p>Per il regime estivo, è importante che la massa superficiale del pacchetto di copertura sia tale da garantire, per tutta la superficie e quindi anche nel nodo, un valore congruo in riferimento alla normativa per lo sfasamento dell'onda termica.</p>
Parametri acustici	<p>Si può assistere a un declino delle proprietà acustiche dei componenti nel momento in cui non vi sia una corretta e consapevole posa in opera. Un'attenzione va posta nei punti di contatto per permettere che le prestazioni di isolamento acustico rimangano inalterate, in grado di rispondere in ogni punto della chiusura almeno ai requisiti minimi imposti dalla normativa.</p>

Parametri sismici

In questo caso è necessario distinguere se la chiusura verticale abbia in sé anche la funzione portante o meno; nel primo caso, la connessione con l'elemento di chiusura superiore (piana, a falde inclinate o di qualunque morfologia diversa) è necessaria per garantire che ci sia una corretta connessione strutturale in grado di dare risposte adeguate in materia di sicurezza e stabilità. Nel caso in cui la chiusura verticale sia tamponamento di una struttura intelaiata, gli accorgimenti sono tutti da rivolgere alla coesione del tamponamento con l'intelaiatura strutturale, onde evitare che in risposta ad una sollecitazione sismica si assista ad un parziale - o, nei casi più gravi, totale - distacco degli elementi dell'involucro dalla struttura in elevazione stessa.

5.2.4 Chiusura orizzontale inferiore

Il rapporto tra l'edificio ed il terreno rappresenta l'insieme delle opere strutturali, di tenuta all'acqua, di isolamento, di protezione, di chiusura e di predisposizione dei piani di calpestio, che permettono di fruire degli spazi in prossimità del terreno in condizioni di sicurezza e di comfort, assicurando al tempo stesse la durata nel tempo delle opere.

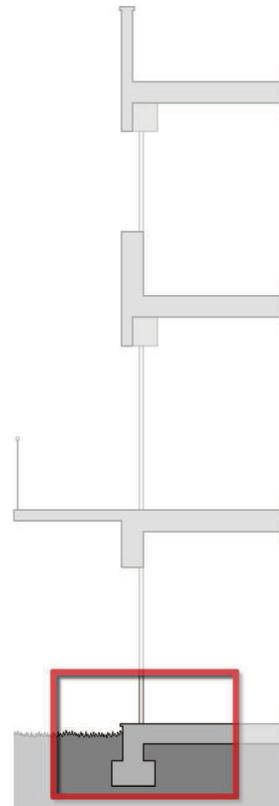
Un elevato tasso di umidità dovuto ad esempio alla presenza di falde freatiche, contatto con il terreno, risalita d'acqua per capillarità, possono determinare problemi di tipo strutturale e di salubrità nelle strutture verticali e orizzontali.

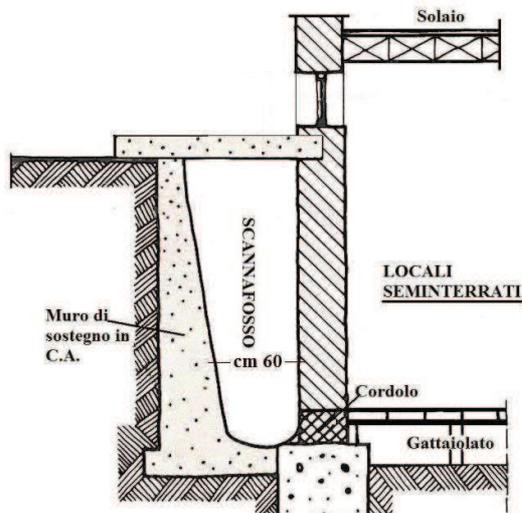
Occorre quindi un opportuno isolamento ed impermeabilizzazione delle strutture a contatto con il terreno.

È uno dei luoghi che raduna in sé numerosi aspetti problematici:

_scaricare il peso dell'edificio e rispondere alle spinte del terreno: le fondazioni sono quegli elementi strutturali che hanno la funzione di ricevere i carichi provenienti dalla struttura in elevazione verticale e trasmetterli al suolo; per tale fine è necessario che queste siano realizzate in modo tale da costituire elementi rigidi.

Lo studio delle fondazioni strutturali implica una approfondita conoscenza della geotecnica, della scienza delle costruzioni e della tecnica delle costruzioni; il tipo di fondazione di volta in volta impiegata dipende dalla sollecitazione che agisce su di essa e dal tipo di terreno a cui è connessa; la fondazione deve dunque essere posata su un terreno di portanza adeguata ai carichi della struttura.





_favorire l'areazione per evitare fenomeni di condensa: una possibile soluzione per quanto riguarda le strutture verticali, consiste nel creare una intercapedine areata, a muri ed elementi strutturali, questo sistema viene comunemente chiamato scannafosso: esso può proteggere la struttura da fenomeni di umidità e le zone interrate e quelle in prossimità del piano di calpestio dall'acqua presente

nel terreno e dall'acqua piovana. Tale intercapedine è bene sia abbastanza larga da permettere il passaggio di una persona per eventuali interventi di manutenzione (minimo 60 cm di larghezza). Tutti i vani parzialmente o totalmente interrati devono essere protetti tramite applicazione di uno strato termo-isolante (4-5 cm) e di uno strato impermeabilizzante (1 cm circa). Questa impermeabilizzazione può essere applicata in guaine o cartoni catramati.

_coibentare e impermeabilizzare: può essere prevista la presenza di un vespaio in pietrame, o di un solaio su muretti. I vespai sono le strutture più economiche per la protezione nell'attacco a terra dei solai; hanno la funzione di separare gli spazi esterni dal terreno, proteggere la struttura da fenomeni di umidità e favorire l'areazione per evitare fenomeni di condensa. I conci che costituiscono il vespaio devono essere selezionati in base alla loro forma e dimensione e vengono successivamente posti in opera con la punta rivolta verso il basso, ogni due - tre metri devono essere interposti dei canali di aerazione con sfogo diretto all'esterno del fabbricato. Sopra il pietrame viene disposto uno strato di pietrisco fine in modo da creare una superficie piana e regolare su cui gettare il massetto di calcestruzzo. Spesso all'interno di questo massetto viene inserita una rete elettrosaldata, per aumentare la ripartizione dei carichi ed avrà uno spessore che può variare dai 4 ai 10 cm. Sul massetto verrà poi collocato l'isolante termico (4-5 cm), una guaina impermeabilizzante (1 cm), un sottofondo in sabbia e cemento (3 cm) ed il pavimento (dallo spessore variabile a secondo del tipo di materiale di rivestimento

scelto). L'alternativa molto utilizzata nell'architettura tradizionale prevedeva la realizzazione di muretti alti circa 1 metro (gattaiolati) su cui veniva poggiato il solaio. Questi muretti creavano un'intercapedine areata che fungeva da isolante termico ed impermeabilizzante.



Oggi si tende però a risolvere il problema della protezione delle strutture orizzontali, tramite la collocazione un solaio strutturale (prefabbricato su travi), in modo da lasciare un'intercapedine d'aria tra il solaio e il terreno.

Il ponte termico che si crea in questo punto dell'edificio presenta valori di temperature superficiale ridotti che comportano rischi di condensa. E' necessario effettuare la correzione del ponte termico inserendo del materiale isolante tra il terreno e la struttura portante come ad esempio tramite un cassero a perdere. Per correggere il ponte termico accuratamente è necessario posizionare dell'isolante sotto la parete per dare continuità allo strato isolante.



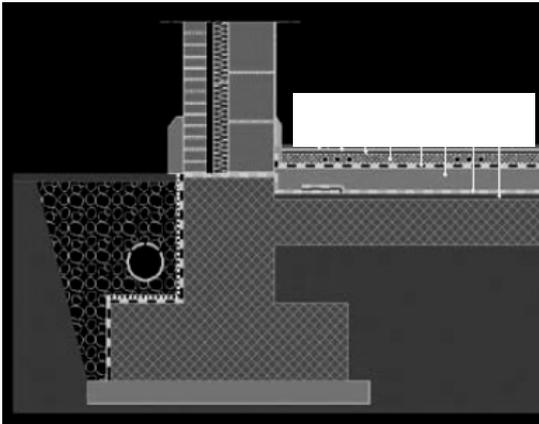


Fig.5.20 Fondazioni dirette a trave rovescia dove è prevista la realizzazione del solaio a terra a contatto con il terreno e il piano di calpestio interno della pavimentazione circa alla quota del terreno. Il passaggio del radon attraverso le discontinuità del solaio è bloccato dalla membrana antiradon. Particolare attenzione dovrà essere posta nel sigillare la lama d'aria presente nelle murature multistrato per evitare che possa diventare veicolo del gas verso i livelli superiori.

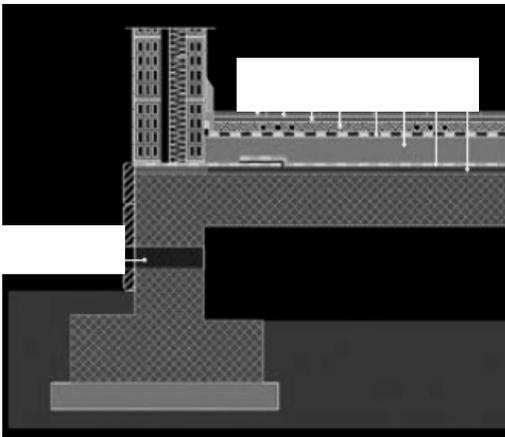


Fig.5.21 Fondazioni dirette a trave rovescia: è presente un'intercapedine) vuota per il libero passaggio dell'aria. Il piano di calpestio interno della pavimentazione si trova elevato rispetto alla quota del terreno. Eventuali compartimentazioni del vespaio dovrebbero essere messe in comunicazione mediante canalizzazioni per assicurare la circolazione naturale dell'aria. Lo strato di livellamento sotto la membrana antiradon in corrispondenza della parete perimetrale è essere in calcestruzzo.

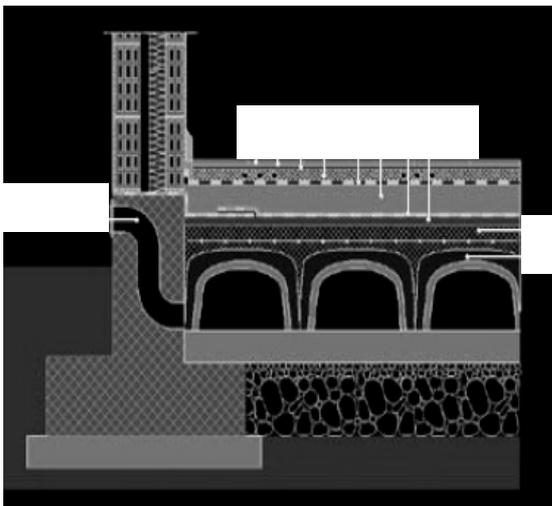


Fig.5.22 Fondazioni dirette a platea: viene realizzato un piano di posa tra i cordoli di fondazione perimetrali per la posa di moduli tipo igloo, funzionali alla realizzazione di un vuoto sanitario (vespaio ventilato). Il piano di calpestio interno della pavimentazione si trova leggermente rialzato rispetto alla quota del terreno. La tipologia adottata per la realizzazione del vespaio consente una continuità del volume senza compartimentazioni e una discreta circolazione d'aria naturale, grazie all'inserimento di canalizzazioni perimetrali di ventilazione, che potrebbe consentire una sufficiente diluizione ed espulsione del radon. Il passaggio del radon attraverso le discontinuità del solaio è bloccato dalla membrana antiradon. In caso di alta concentrazione è possibile passare da una ventilazione passiva a un sistema meccanico con l'utilizzo di un aspiratore.

Riassumendo per Chiusura orizzontale inferiori

Parametri energetici	<p>Questa è da ritenersi, una questione nodale superficialmente diffusa, in quanto su tutta la superficie, oltre che nell'interfaccia con la chiusura verticale, convergono una serie di problematiche energetiche che possono condurre ad un calo prestazionale, globale e localizzato, molto evidente. Il comportamento in relazione ai parametri analizzati può veder calare i valori di trasmittanza termica effettiva anche notevolmente, pur utilizzando stratificazioni anche molto ben definite. La ricerca negli anni ha prodotto diversificati sistemi tecnologici atti a permettere alla chiusura inferiore di avere un corretto comportamento energetico anche nei punti nodali di interfaccia con la chiusura verticale.</p> <p>Per un corretto comportamento in regime invernale è essenziale che la chiusura orizzontale inferiore sia sufficientemente coibentata per eliminare il ponte termico attraverso soluzioni ove l'isolamento sia comunque posto in opera in maniera continua.</p> <p>Per il regime estivo, è importante che la massa superficiale del pacchetto di chiusura inferiore sia tale da garantire, per tutta la superficie e quindi anche nel nodo di interfaccia con la chiusura verticale, un valore congruo in riferimento alla normativa per lo sfasamento dell'onda termica.</p>
Parametri acustici	<p>Si può assistere a un declino delle proprietà acustiche dei componenti nel momento in cui non vi sia una corretta e consapevole posa in opera. Un'attenzione va posta nei punti di contatto per permettere che le prestazioni di isolamento acustico rimangano inalterate, in grado di rispondere in ogni punto della chiusura almeno ai requisiti minimi imposti dalla normativa.</p>

Parametri sismici

In questo caso è necessario distinguere se la chiusura verticale abbia in sé anche la funzione portante o meno; nel primo caso, la connessione con l'elemento di chiusura inferiore reca con sé ulteriori problemi strutturali che rischiano di entrare in conflitto con le prestazioni termiche ed acustiche appena evidenziate. È necessario che sia realizzata una corretta connessione strutturale in grado di dare risposte adeguate in materia di sicurezza e stabilità. Nel caso in cui la chiusura verticale sia tamponamento di una struttura intelaiata, gli accorgimenti sono tutti da rivolgere alla coesione del tamponamento con l'intelaiatura strutturale, onde evitare che in risposta ad una sollecitazione sismica si assista ad un parziale - o, nei casi più gravi, totale - distacco degli elementi dell'involucro dalla struttura sia di fondazione che in elevazione.

6 – *Approfondimento tematico, il nodo parete - infisso - terrazza*

Come più volte evidenziato all'interno della trattazione, i luoghi che sono comunemente letti come ponti termici sono spesso anche ponti acustici, in corrispondenza con luoghi strutturali di grande interesse per le specifiche richieste della normativa antisismica sulla sicurezza di stabilità e resistenza delle strutture, caratteristiche essenziali per una corretta funzionalità dell'involucro degli edifici.

All'interno del capitolo precedente si è proprio cercato di mettere in luce le criticità, morfologiche e tecnologiche, dell'involucro edilizio tradizionale, sottolineando come spesso tali nodi siano oggetto di studio sia dal punto di vista termico, che acustico e sismico.

Di seguito si vuole mostrare un metodo di approccio e di analisi di tali questioni nodali; questa proposta discende da quanto finora descritto e mostrato:

- _dalle richieste normative e dai limiti da esse imposti;
- _dall'individuazione degli attuali motori dell'innovazione;
- _dall'analisi dello stato dell'arte;
- _dalla valutazione dei materiali e componenti per l'involucro tradizionale;
- _dall'individuazione delle questioni nodali e dalla conseguente valutazione di tutte le criticità ad esse connesse.

Queste le fasi metodologiche:

Fase 1_Definizione dei punti critici

Innanzitutto si procederà con la definizione, nello specifico, di quelli che sono i punti critici che svolgono un ruolo fondamentale all'interno del problema in analisi, non tralasciando nessuno degli aspetti finora approfonditi: si valuteranno i problemi energetici, quelli acustici, quelli strutturali.

Fase 2_Abaco ragionato di soluzioni tecniche

Il passaggio successivo sarà quello di segnalare alcune possibili soluzioni tecniche che possono essere utilizzate da progettisti e aziende produttrici come spunto di ulteriore analisi, ricerca ed approfondimento ai fini di poter poi essere catalogate come soluzioni conformi.

Fase 3_I componenti da utilizzare

Un ulteriore focus tematico sarà dedicato ai componenti innovativi che già sono presenti sul mercato e che possono venire in aiuto nell'affrontare la tematica. Il capitolo 4 ha già voluto raccontare, definendo lo stato dell'arte, la situazione attuale relativa alla componentistica per l'involucro tradizionale: in questa fase si cerca di esprimere la necessità di combinare questi componenti tra loro, in modo da poter raccogliere tutti gli strumenti necessari alla risoluzione delle questioni nodali.

Fase 4_Gli attuali "vuoti" nel processo edilizio e le prestazioni ottenibili

Si faranno infine alcune valutazioni utili anche nell'espressione di un giudizio di valore in merito ai possibili componenti qui coinvolti, sulle loro prestazioni e sulla possibilità reale di condurre tante buone prestazioni singole ad una buona prestazione dell'intero sistema.

La metodologia descritta verrà trattata in relazione ad una delle questioni nodali frutto dei motori dell'innovazione, nello specifico il nodo parete - infisso - terrazza: esso racchiude in sé alcune delle criticità mostrate, e lo si è scelto per la varietà di analisi e ragionamenti che esso richiede, alla luce di quanto la trattazione ha sinora cercato di mostrare.

6.1 Definizione dei punti critici

All'interno della questione nodale parete - infisso - terrazza i punti critici di interfaccia sono essenzialmente tre:

- _il rapporto tra la chiusura verticale e l'infisso;
- _il rapporto tra la chiusura e lo sbalzo;
- _il rapporto tra l'infisso e lo sbalzo.



Figura 6.1 e 6.2 *Nodo chiusura - infisso - sbalzo: in questo caso si è provveduto alla realizzazione di una chiusura verticale stratificata, con interposizione di pannelli in sughero biondo naturale compresso; lo stesso materiale viene fatto svoltare anche su tutta la superficie dello sbalzo.*

Si procederà di seguito ad analizzare nello specifico questi tre luoghi di interfaccia. Non vanno certo tralasciati la chiusura in sé (materiali e componenti scelti per costituirli), l'infisso e le sue prestazioni, le possibili tecnologie per la realizzazione degli elementi a sbalzo (si partirà dall'analisi svolta nel capitolo 4, passando per la descrizione delle criticità di interfaccia espresse nel capitolo 5).

Chiusura verticale | Infisso

Il problema innanzitutto è relativo alla posizione dell'infisso rispetto alla parete perimetrale verticale.



A.

B.

C.

La posizione dell'infisso nel vano murale determina anche modi di apertura e gestione dello spazio diversi ed è responsabile delle prestazioni finali del componente. Se posato sul filo interno di murature dotate di battuta strutturale (A) sarà possibile aprire le ante a 180°, se posato a centro muratura (B), in mezzeria di un pacchetto murario dotato di battuta strutturale, solo a 90°, mentre se è disposto all'esterno (C), con il serramento privo di battuta strutturale e allineato rispetto alla facciata ed alla coibentazione, si potrà utilizzare lo spazio avanzale per disporre degli oggetti, prestando attenzione però al fatto che in questo ultimo caso l'irraggiamento diretto sarà inevitabile, producendo calore nel periodo estivo e esponendo il componente al gelo invernale diretto. In genere nei paesi nordici le finestre sono spesso disposte in facciata per catturare meglio la luce e salvare spazio interno, mentre a sud le finestre sono sempre arretrate per evitare l'esposizione solare e per consentire il montaggio di schermi solari.



Figura 6.3 *Due criticità: il rapporto con la cortina muraria ed il posizionamento dei sistemi oscuranti.*

In base alla posizione è possibile determinare le prestazioni termiche del sistema. L'attacco del serramento, infatti, porta a una distorsione delle linee isoterme, ovvero delle linee che collegano i punti caratterizzati da una temperatura costante. L'isoterma più importante per valutare la posizione di colle interne del telaio, l'isoterma deve correre all'interno della costruzione e avere una curva poco accentuata. In questo modo, infatti, vi è una piena continuità termica tra la finestra e il cappotto. Spostando il serramento verso l'interno della muratura, al contrario, aumenta l'inclinazione di curvatura delle isoterme e quindi il dislivello termico tra i due elementi.

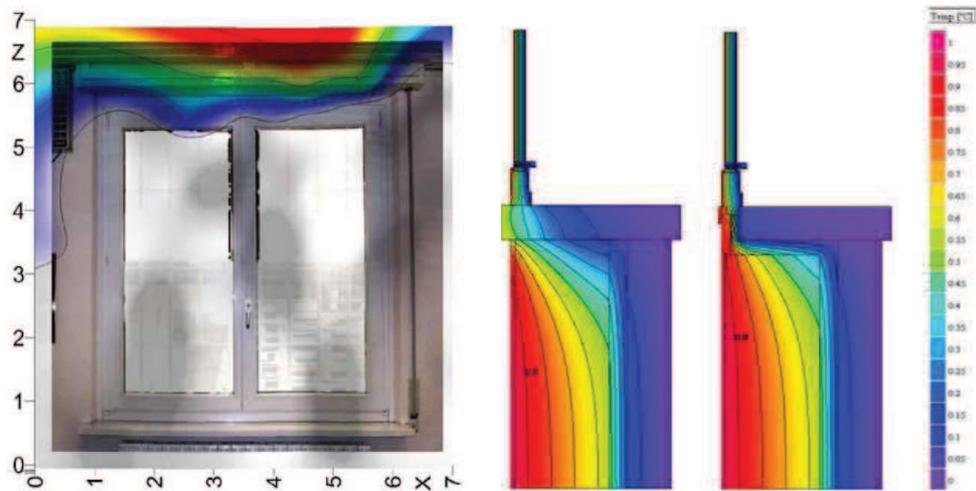


Figura 6.4 e 6.5 Le immagini soprastanti visualizzano le zone attraverso le quali il rumore passa nel locale in caso di carenze di isolamento acustico (a sinistra) e la disposizione delle linee isoterme nel punto critico del davanzale (a destra), dove si può vedere la differente disposizione nel caso di posa in opera in continuità con l'isolante posto a interrompere il davanzale.

Per migliorare le prestazioni energetiche della costruzione, è opportuno posare il serramento in continuità con l'isolamento termico o con l'intercapedine della parete opaca. Nelle pareti monolitiche, invece, la posizione ottimale è nella zona di intradosso mediano, dove la trasmissione del calore è minima poiché vi è continuità con l'isolamento termico. In tutti i casi, la zona di connessione deve essere riempita con un materiale isolante e chiusa ermeticamente su tutto il perimetro.

Grazie alle elevate prestazioni dei sistemi più evoluti e dei tamponamenti vetrati le superfici trasparenti sono diventate sempre più ampie garantendo elevati standard di isolamento termico, acustico, tenuta all'aria e all'acqua, stabilità meccanica

anche in presenza di grandi aperture e prestazioni ulteriori quali, ad esempio, la resistenza all'effrazione e ai proiettili.

La validità e l'efficacia di un progetto può essere inficiata da un'installazione non corretta che rischia di vanificare le scelte progettuali e il raggiungimento di elevate prestazioni. La posa del serramento all'interno di un vano murario, infatti, è particolarmente importante per soddisfare le prescrizioni previste dalla normativa in materia di contenimento dei consumi energetici.

I problemi fondamentali dipendono dalla compatibilità tra il serramento e il vano murario. In particolare, si distinguono tre tipi di interfaccia:

_geometrico, per il quale è necessario definire le tolleranze dimensionali per l'esecuzione del vano murario e per la produzione del serramento;

_meccanico, relativo alle deformazioni che subiscono il vano murario e il serramento quando sono sottoposti a sollecitazioni meccaniche o ambientali;

_chimico-fisico, relativo alle interazioni tra i diversi componenti che costituiscono il "sistema finestra".

Il collegamento tra il vano murario e la finestra è affidato al giunto che deve garantire l'assorbimento dei movimenti differenziali di natura termica, igrometrica e strutturale dei diversi componenti e, al contempo, impedire il passaggio dell'aria, dell'acqua, del calore e del suono. Inoltre, deve assicurare anche la durabilità, la manutenibilità e la sostituibilità nel tempo. La presenza di un falso telaio, detto anche controtelaio, consente di assorbire e compensare le irregolarità del vano murario poiché costituisce il riferimento per la posa del serramento, delle soglie e del cassonetto.

Per questa ragione, è molto importante controllare che sia complanare, ortogonale e posato a piombo rispetto al piano della parete, senza inclinazioni, rastremazioni o variazioni tensionali e che la zona di inserimento delle soglie sia riempita accuratamente con malta. Il controtelaio è presente nella maggior parte degli edifici ma, in sua assenza possono essere utilizzati altri sistemi di ancoraggio.

I punti critici riguardano l'attacco laterale tra serramento e muratura, l'attacco superiore al voltino o all'architrave e l'attacco inferiore al davanzale o alla soglia. In questi punti è necessario garantire:

- _resistenza meccanica: il serramento deve scaricare le sollecitazioni nei punti previsti del vano murario, senza creare cedimenti dell'infisso o della muratura;
- _stabilità alle sollecitazioni ambientali: il serramento non deve subire deformazioni plastiche o elastiche;
- _tenuta all'acqua del giunto di interfaccia tra serramento e vano murario;
- _tenuta all'aria del giunto tra l'infisso e la parete e, soprattutto, tra il serramento e la soglia inferiore o davanzale;
- _assenza di ponti termici e acustici tra il serramento e il paramento murario;
- _assenza di condensa sul telaio;
- _compatibilità materica tra il muro e il telaio e tra il sistema di schermatura e la parete.

Le variazioni dimensionali e meccaniche e l'incompatibilità chimico-fisica sono legate a infiltrazioni di acqua e di aria, a variazioni termoigrometriche e a errori di progettazione, fabbricazione e montaggio.

Non bisogna dimenticare che uno dei problemi che si riscontrano è proprio relativo alla creazione del foro atto ad accogliere, all'interno della cortina opaca, la specchiatura trasparente degli infissi. La realizzazione, come si mostra nell'immagine¹, di un architrave rischia di vanificare molti degli interventi posti in opera per contrastare sia le dispersioni termiche, che i ponti acustici. Per la realizzazione di questo elemento tecnico intervengono anche problemi di costi e fattibilità, sebbene un intervento sull'architrave non sia particolarmente oneroso, specie in fase di nuova costruzione; interessante la soluzione del doppio architrave con interposto il materiale coibente.



Non va affatto sottovalutato il ponte termico (ed acustico) della cassamatta:

ci si trova sempre più spesso di fronte ad infissi altamente performanti, con una normativa che ne determina nel dettaglio le prestazioni, con valori sempre più

¹ Fonte: www.wienberger.it

restrittivi. Eppure il dettaglio della cassamatta rischia a volte di non essere affrontato con la giusta attenzione, e se trascurato, diventa un ponte termico ed acustico su tutto il perimetro della bucatura.

Va oltremodo ricordata l'importanza della scelta dei sistemi oscuranti.

Se si scelgono degli scuri esterni, la criticità di questo nodo tecnologico è legata alla discontinuità nella muratura (o nel rivestimento) che si crea per accogliere tali elementi; la maggiore criticità si riscontra nell'aggancio di elementi complanari con il sistema di chiusura verticale. Esistono dei sistemi vantaggiosi anche per spessori di rivestimento a cappotto significativi, in grado di fornire vantaggi nell'esecuzione delle opere murarie e penalizzando relativamente poco la prestazione termica ed acustica. Oltre alla soluzione a monoblocco, con lo scuro applicato ad un telaio strutturale in legno, che può essere realizzato a filo muro esterno o con ferramenta a sporgere, si sta diffondendo anche l'utilizzo di piastre da annegare nel cappotto, che permettono l'applicazione degli scuri direttamente sul cappotto come una soluzione a muro tradizionale.

I cardini per finestre in questo modo non creano ponti termici o acustici, e non marciscono. Le superfici dure consentono di accoppiare fermo e chiavistello che evitano lo sfalsamento degli elementi; il montaggio e l'adeguamento delle piastre isolanti ne risulta facilitato, e si può optare anche per un riempimento in materiale isolante.



Il problema è notevolmente più complicato se la scelta cade sui sistemi oscuranti avvolgibili, con cassonetto integrato nella muratura. Come si è già avuto modo di scrivere, questo nodo tecnologico presenta una forte discontinuità nell'isolamento intorno (sopra o dietro)

l'architrave avvolgibile. Bisogna dire che alcune aziende hanno svolto delle ricerche in merito, giungendo anche a brevetti interessanti.

In chiusura di questo paragrafo si vuole riportare l'attenzione sugli extraspessori nelle chiusure esterne verticali dovute ai materiali isolanti; a seguito, infatti, dell'entrata in vigore del D.Lgs. 192/05 e s.m.i. (D.Lgs. 311/06), sono state introdotte all'interno di alcuni provvedimenti comunali e regionali misure urgenti volte al miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici, con incentivi alla riduzione dei consumi, tra cui è previsto proprio lo scomputo degli extraspessori di chiusure verticali e orizzontali dovuto a coibentazione. L'aumento dello spessore delle pareti comporta inoltre un ulteriore e non marginale beneficio: la riduzione del disturbo acustico verso l'interno dei fabbricati, giungendo in talune circostanze ad un sostanziale dimezzamento del livello di rumorosità nell'ambiente abitato.



Figure 6.6, 6.7, 6.8 e 6.9 *Posa in opera degli infissi: come si vede dalle immagini, in questo caso si è proceduto con il taglio del ponte termico ed acustico del davanzale e del controtelaio, riempiendo poi i vuoti intorno al telaio fisso con un listello in legno e della schiuma poliuretanic per sigillare.*

_Chiusura verticale | Sbalzo

Il deflusso termico è particolarmente elevato quando entrambi gli elementi costruttivi (balcone e solaio) sono realizzati con un unico materiale ad alta conducibilità termica o i collegamenti tra gli elementi interni ed esterni presentano, per esigenze statiche, un'estesa sezione trasversale di acciaio.

Al giunto di incastro del balcone si manifesta una elevata differenza di temperatura tra la soletta del balcone esposta all'aria esterna e la parte all'interno dei locali riscaldati. In mancanza di un'adeguata coibentazione si verifica un'elevata perdita di calore. E' in questi punti che, se raggiunta la temperatura del punto di rugiada critico si manifesta formazione di condensa: la muffa si può comunque formare già a temperature più elevate. La soletta a sbalzo rischia di configurarsi come un intero luogo di trasmissione di calore e suono, spesso elemento vanificatore di tanti interventi mirati al risparmio energetico ed alla protezione da inquinamento sonoro; ma in questo caso non va tralasciato un aspetto che è decisamente quello più significativo: il rapporto tra la struttura in elevazione e l'anima strutturale dello sbalzo. Essendo un luogo di passaggio sia di calore che di onde sonore, bisogna individuare delle tecnologie "termicamente separate" in grado di abbattere il ponte termo - acustico garantendo un comportamento ottimale dal punto di vista strutturale. L'obiettivo principale da porsi porta dunque in sé tutte e tre queste esigenze imprescindibili: per limitare il ponte termico del balcone bisogna garantire la continuità dell'isolante tra la muratura e la partizione orizzontale che la attraversa. Si riportano a seguire alcune delle più frequenti scelte compositive e tecnologiche nell'affrontare tale problema.

In un primo caso la soletta del balcone può non essere una continuazione della soletta interna: il balcone può avere una struttura portante esterna realizzata in acciaio. Le due strutture sono collegate solo in alcuni punti (ponte termico ed acustico solo puntuale; nessun problema strutturale). Un'altra soluzione è rappresentata dall'utilizzo di mensole che consentono di trasformare il ponte termico ed acustico del balcone da lineare a puntuale; anche in questo caso il problema strutturale è risolto limitando il contrasto con gli altri problemi concentrati.

Un'ipotesi ulteriore consiste nell'isolare il balcone sia all'intradosso che all'estradosso in modo da "costringere" il flusso ad attraversare lo strato di calcestruzzo per una distanza tale da attenuare il più possibile la dispersione termica (per almeno 1,5 m). Si può inoltre procedere con l'isolamento completo dell'aggetto in modo tale da garantire la totale continuità dell'isolante con quello della parete perimetrale. Tale scelta però comporta una differenza di spessori tra l'interno e l'esterno, che va tenuta presente e risolta di volta in volta.

Una soluzione più complessa ed innovativa riguarda la soluzione con disaccoppiamento termico: viene interposto al momento del getto della soletta un modulo in materiale isolante ma dotato di ferri d'armatura che di fatto interrompe la continuità del getto di calcestruzzo pur consentendo la realizzazione di una soletta a sbalzo. Questa soluzione può sembrare che elimini completamente il ponte termico garantendo la continuità dell'isolante di facciata: in realtà la presenza di numerosi ferri d'armatura dotati di un λ molto elevato fanno sì che si verifichi solo una riduzione del valore del ponte termico lineare. Bisogna però aggiungere che alcune di queste soluzioni del taglio del ponte termico ed acustico strutturale utilizzano barre in acciaio inox, con un coefficiente di conducibilità termica notevolmente ridotto.



Figura 6.10 e 6.11 _Elementi a taglio termico strutturale: cantierizzazione.

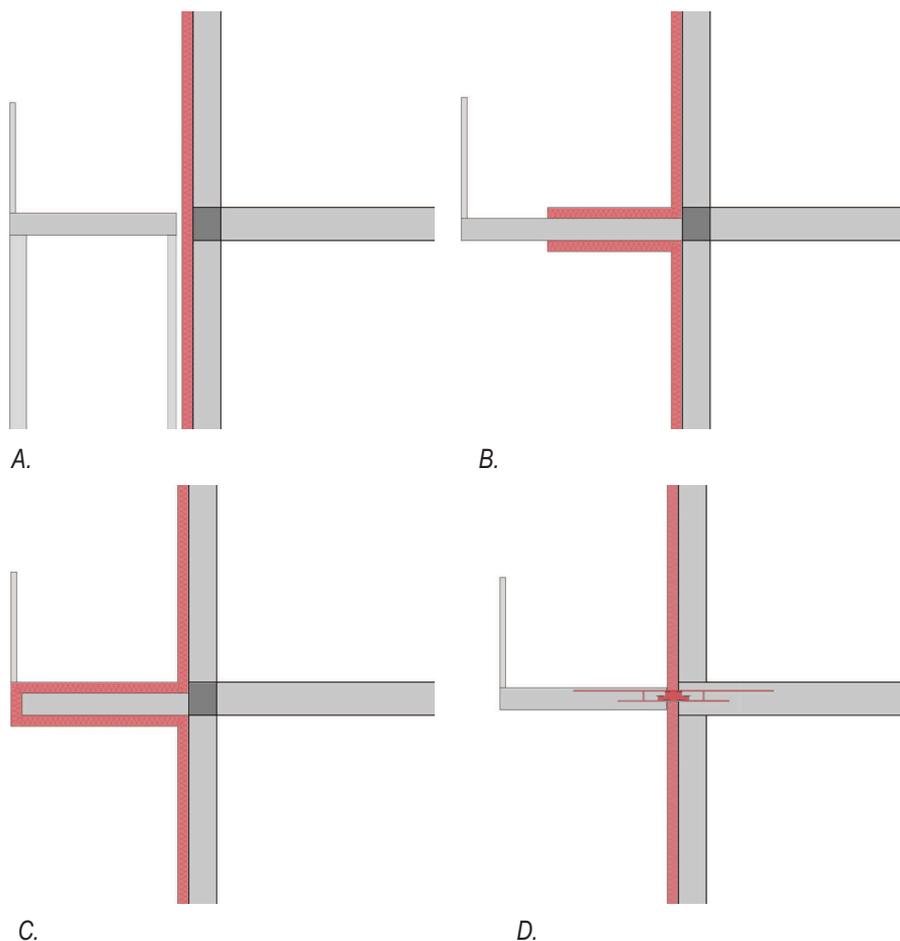
Illustrate queste possibilità di intervento, si possono esprimere alcune considerazioni. Le prime due ipotesi comportano uno studio ingegneristico tridimensionale del nodo, in quanto la prima non è sempre di facile applicazione perché necessita di una struttura a parte ulteriore rispetto a quella dell'edificio, mentre la seconda dipende dalla frequenza dei ponti termo-acustici puntuali dati dalle mensole e dalla loro dimensione.

Il terzo e quarto caso rappresentano delle soluzioni diffusamente praticate per limitare il flusso energetico, e si possono considerare come un'unica tipologia di intervento poiché entrambe dipendono dalla profondità dello sbalzo che determina se sia o meno necessario un isolamento totale o parziale dell'oggetto stesso.

L'ultimo caso mostrato, come si è già avuto modo di porre in evidenza, sembra una soluzione interessante ed in grado di offrire risposte per diverse sfaccettature delle problematiche connesse all'interfaccia. Inoltre, le case produttrici di queste tipologie di componenti forniscono valori di lambda per ogni tipo di modulo usato, ed anche a seconda della muratura cui si rapportano: questo consente di analizzarli come un qualsiasi componente da costruzione.

Le possibilità che si possono prendere in considerazione sono dunque tre:

- _struttura autonoma affiancata all'involucro (A);
- _isolamento parziale (B) o completo (C) dell'elemento aggettante;
- _disaccoppiamento termico (D).



_Infisso | Sbalzo

Oltre a ricordare che gli infissi devono avere delle caratteristiche ben precise per eliminare i ponti termici ed acustici (si vedano i riferimenti normativi espressi nel paragrafo 1.2.2 e la descrizione della componentistica trasparente nel capitolo 4.3 della presente ricerca), in questa fase si vuole porre l'attenzione su questioni forse consolidate in linea teorica ma poi poco applicate nella prassi costruttiva.

È buona norma ripetere anche nel caso del rapporto con lo sbalzo il taglio del ponte termico della soglia, onde evitare sprechi energetici e passaggio di onde sonore attraverso la continuità materica; tale interruzione può essere messa in atto con l'inserimento di un listello di pvc o legno tra la soglia stessa ed il massetto di livellamento e la pavimentazione interna.



Un'altra attenzione da metter in pratica è l'impermeabilizzazione del contatto tra i due elementi descritti: se trascurata, questo può causare infiltrazioni di acque meteoriche che andrebbero ad inficiare la stabilità della struttura oltre che dei componenti coinvolti. Un accorgimento utile può essere legato allo sfalsamento dei piani di calpestio interno e della soletta a sbalzo: se questa si trova qualche centimetro al di sotto del piano di calpestio interno, le infiltrazioni nel punto di interfaccia tra l'infisso e la soletta stessa sono notevolmente ridotte, garantendo una maggiore durabilità ed agevolando le attività di gestione e manutenzione.

In questo caso una guaina impermeabile corre al di sotto del telaio fisso continuativamente fin sotto il rivestimento della soletta.

6.2 Abaco ragionato di soluzioni tecniche

L'obiettivo principale di questo capitolo è l'individuazione di quelle che possono essere le soluzioni più corrette da adottare per risolvere le criticità di interfaccia tra la parete, l'infisso e lo sbalzo al variare delle diverse scelte tecnologiche all'interno della tipologia costruttiva tradizionale.

Si è deciso di sviluppare un'analisi ragionata partendo dall'individuazione di tipologie di cortina muraria, per poi definire il sistema oscurante e la morfologia dell'aggetto.

Le cortine murarie prese qui in considerazione sono di due tipi; nel primo caso la scelta è relativa a involucro con isolamento esterno a cappotto, ottimo per le prestazioni termiche, ed anche acustiche; la seconda tipologia individuata è invece relativa alla scelta di collocare l'isolamento in posizione intermedia nella cortina muraria.

La scelta successiva è relativa al sistema di oscuramento: il ragionamento si concentra sui sistemi esterni, nello specifico scuri e persiane avvolgibili.

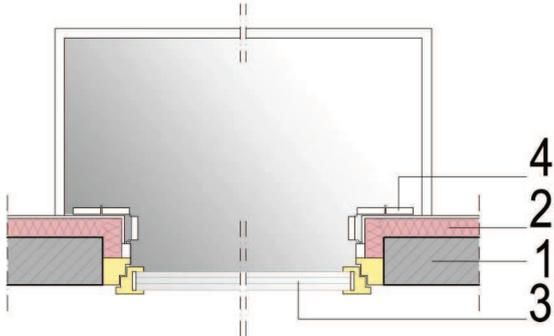
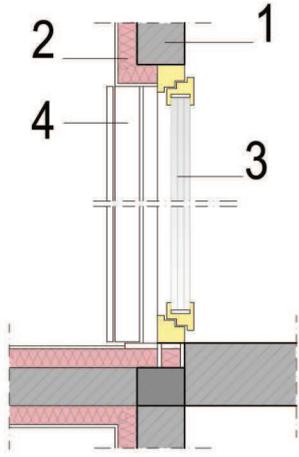
Un ulteriore focus sul rapporto con la struttura: l'analisi prende in considerazione gli elementi di architrave ed il legame strutturale della soletta a sbalzo con la struttura in elevazione dell'edificio, riportando delle considerazioni in merito all'interfaccia con l'involucro edilizio.

Combinando le principali tipologie di muratura individuate con le possibili soluzioni del ponte termico, acustico e strutturale prima elencate, si ottengono una serie di 24 ipotesi sui quali si è svolta un'analisi ulteriore.

Di seguito una tabella schematica che raccoglie i nodi studiati, cui seguiranno le analisi in dettaglio di ogni ipotesi individuata.

Tipologia di isolamento	Sistema di oscuramento	Interfaccia strutturale	Sezione orizzontale	Sezione verticale
A cappotto	Scuri esterni	Connessione tradizionale	A.1.1	A.1.2
		Disaccoppiamento termico	A.2.1	A.2.2
		Struttura autonoma	A.3.1	A.3.2
	Persiana avvolgibile	Connessione tradizionale	A.4.1	A.4.2
		Disaccoppiamento termico	A.5.1	A.5.2
		Struttura autonoma	A.6.1	A.6.2
Interposto	Scuri esterni	Connessione tradizionale	B.1.1	B.1.2
		Disaccoppiamento termico	B.2.1	B.2.2
		Struttura autonoma	B.3.1	B.3.2
	Persiana avvolgibile	Connessione tradizionale	B.4.1	B.4.2
		Disaccoppiamento termico	B.5.1	B.5.2
		Struttura autonoma	B.6.1	B.6.2

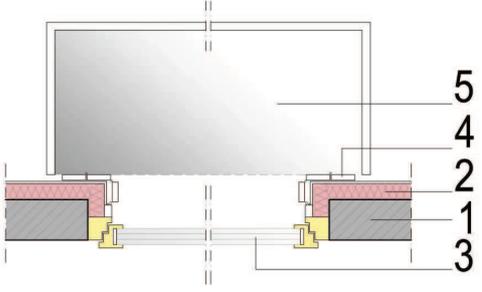
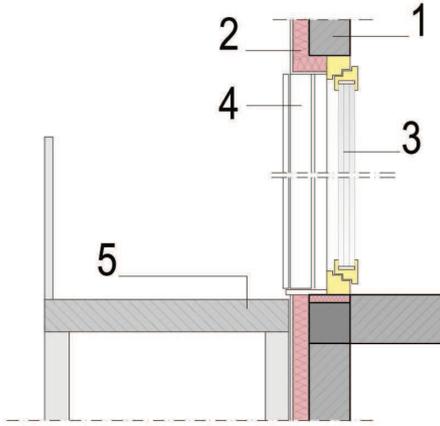
_A.1.1 | A.1.2

	
<p>_Interfaccia chiusura verticale infisso</p> <p>L'isolamento a cappotto rigira sulla cortina verso l'infisso, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante esterno è fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso.</p> <p>_Interfaccia chiusura verticale sbalzo</p> <p>La soletta è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna, rivestita poi completamente da materiale isolante.</p> <p>_Interfaccia infisso sbalzo</p> <p>L'infisso è posato su materiale coibente, tagliando dunque ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria</p> <p>2_Isolamento a cappotto</p> <p>3_Infisso</p> <p>4_Oscurante esterno</p>

_A.2.1 | A.2.2

<p><u>Interfaccia chiusura verticale infisso</u> L'isolamento a cappotto va a coprire l'infisso, posto in continuità con il filo esterno della muratura, tagliando correttamente sia il ponte termico che quello acustico; il sistema oscurante esterno è fissato alla coibentazione tramite appositi agganci.</p> <p><u>Interfaccia chiusura verticale sbalzo</u> La soletta presenta un disaccoppiamento termico, tramite l'utilizzo di un componente speciale, che garantisce stabilità e sicurezza, oltre a tagliare il ponte termico ed acustico.</p> <p><u>Interfaccia infisso sbalzo</u> L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, tagliando così ponte termico e acustico; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento a cappotto 3_Infisso 4_Oscurante esterno</p>

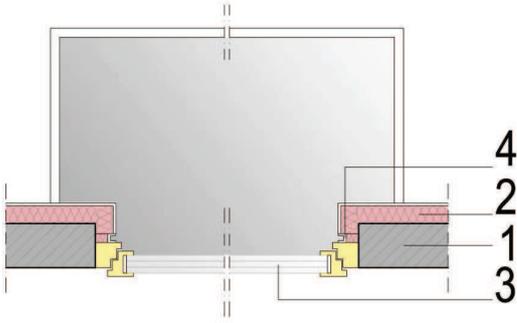
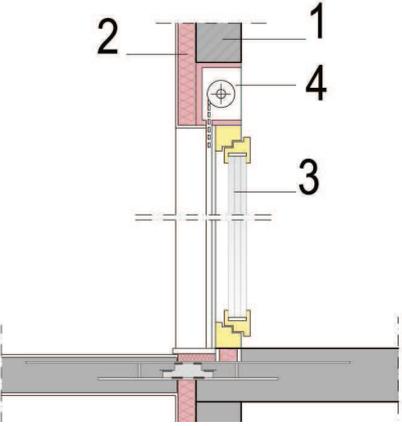
_A.3.1 | A.3.2

	
<p><u>_Interfaccia chiusura verticale infisso</u> L'isolamento a cappotto rigira sulla cortina verso l'infisso, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante esterno è fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso.</p> <p><u>_Interfaccia chiusura verticale sbalzo</u> La struttura dell'aggetto è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi appostiti annegati nell'isolante.</p> <p><u>_Interfaccia infisso sbalzo</u> L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, tagliando così ponte termico e acustico; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni; la separazione strutturale impedisce il contatto igrometrico.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento a cappotto 3_Infisso 4_Oscurante esterno 5_Struttura autonoma</p>

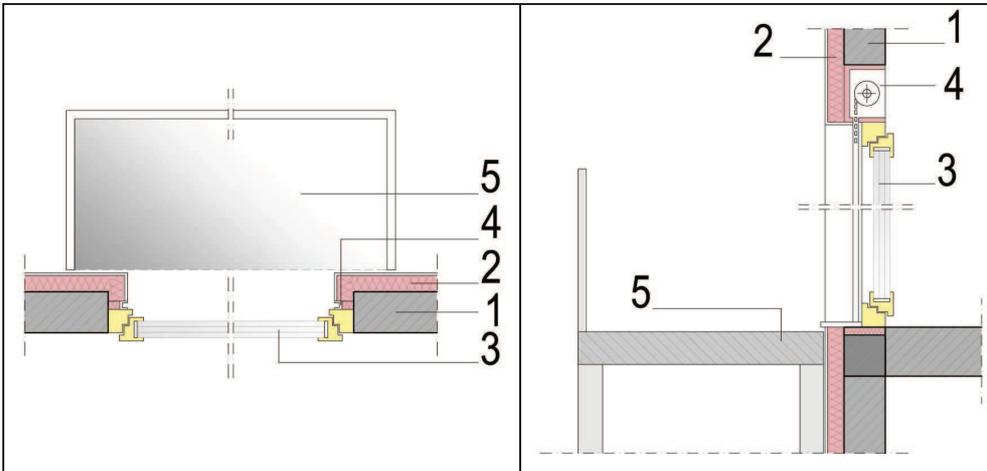
_A.4.1 | A.4.2

<p><u>Interfaccia chiusura verticale infisso</u> L'isolamento a cappotto rigira sulla cortina verso l'infisso, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali.</p> <p><u>Interfaccia chiusura verticale sbalzo</u> La soletta è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna, rivestita poi completamente da materiale isolante.</p> <p><u>Interfaccia infisso sbalzo</u> L'infisso è posato su materiale coibente, tagliando dunque ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento a cappotto 3_Infisso 4_Cassonetto e avvolgibile interno</p>

_A.5.1 | A.5.2

	
<p>_Interfaccia chiusura verticale infisso L'isolamento a cappotto rigira sulla cortina verso l'infisso, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali.</p> <p>_Interfaccia chiusura verticale sbalzo La soletta presenta un disaccoppiamento termico, tramite l'utilizzo di un componente speciale, che garantisce stabilità e sicurezza, oltre a tagliare il ponte termico ed acustico.</p> <p>_Interfaccia infisso sbalzo L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, tagliando così ponte termico e acustico; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento a cappotto 3_Infisso 4_Cassonetto e avvolgibile interno</p>

_A.6.1 | A.6.2



_Interfaccia chiusura verticale | infisso

L'isolamento a cappotto rigira sulla cortina verso l'infisso, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali.

_Interfaccia chiusura verticale | sbalzo

La struttura dell'oggetto è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi appostiti annegati nell'isolante.

_Interfaccia infisso | sbalzo

L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, tagliando così ponte termico e acustico; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni; la separazione strutturale impedisce il contatto igrometrico.

Legenda:

- 1_Cortina muraria*
- 2_Isolamento a cappotto*
- 3_Infisso*
- 4_Cassonetto e avvolgibile interno*
- 5_Struttura autonoma*

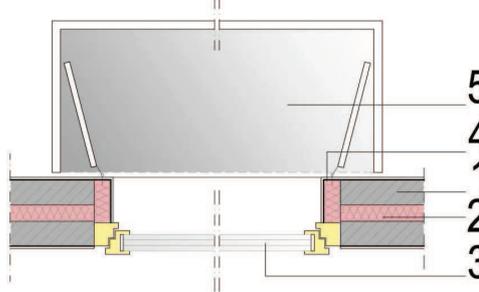
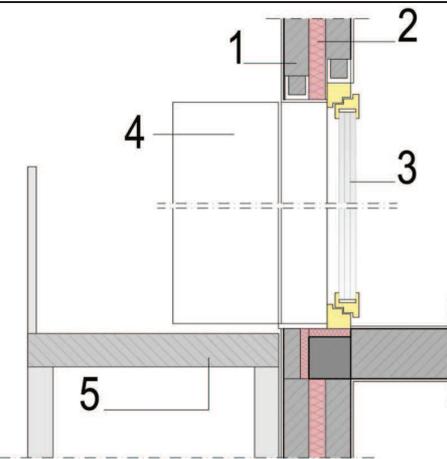
B.1.1 | B.1.2

<p><u>Interfaccia chiusura verticale infisso</u> La cortina muraria presenta un isolamento interposto, con una parte che risvolta in prossimità della buca, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante esterno è fissato alla coibentazione tramite appositi agganci.</p> <p><u>Interfaccia chiusura verticale sbalzo</u> La soletta è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna, rivestita poi completamente da materiale isolante.</p> <p><u>Interfaccia infisso sbalzo</u> L'infisso è posato su materiale coibente, tagliando dunque ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento interposto 3_Infisso 4_Oscurante esterno</p>

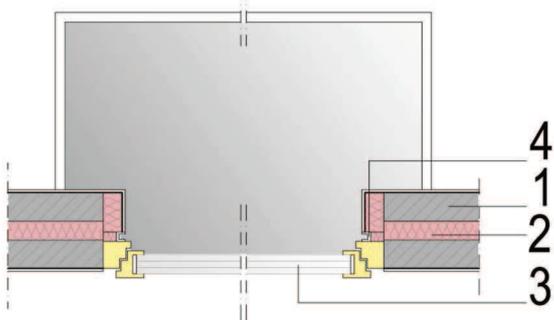
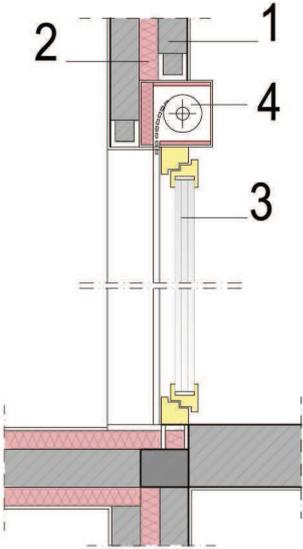
B.2.1 | B.2.2

<p><u>Interfaccia chiusura verticale infisso</u> La cortina muraria presenta un isolamento interposto, con una parte che risvolta in prossimità della bucatura, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante esterno è fissato alla coibentazione tramite appositi agganci.</p> <p><u>Interfaccia chiusura verticale sbalzo</u> La soletta presenta un disaccoppiamento termico, tramite l'utilizzo di un componente speciale, che garantisce stabilità e sicurezza, oltre a tagliare il ponte termico ed acustico.</p> <p><u>Interfaccia infisso sbalzo</u> L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, tagliando dunque ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento interposto 3_Infisso 4_Oscurante esterno</p>

B.3.1 | B.3.2

	
<p><u>Interfaccia chiusura verticale infisso</u> La cortina muraria presenta un isolamento interposto, con una parte che risvolta in prossimità della bucatura, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante esterno è fissato alla coibentazione tramite appositi agganci.</p> <p><u>Interfaccia chiusura verticale sbalzo</u> La struttura dell'oggetto è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi appositi annessi nell'isolante.</p> <p><u>Interfaccia infisso sbalzo</u> L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, a rivestire anche l'elemento orizzontale della struttura, tagliando ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento interposto 3_Infisso 4_Oscurante esterno 5_Struttura autonoma</p>

_B.4.1 | B.4.2

	
<p>_Interfaccia chiusura verticale infisso</p> <p>La cortina muraria presenta un isolamento interposto, con una parte che risvolta in prossimità della bucatura, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali.</p> <p>_Interfaccia chiusura verticale sbalzo</p> <p>La soletta è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna, rivestita poi completamente da materiale isolante.</p> <p>_Interfaccia infisso sbalzo</p> <p>L'infisso è posato su materiale coibente, tagliando dunque ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria</p> <p>2_Isolamento interposto</p> <p>3_Infisso</p> <p>4_Cassonetto e avvolgibile interno</p>

B.5.1 | B.5.2

<p><u>Interfaccia chiusura verticale infisso</u> La cortina muraria presenta un isolamento interposto, con una parte che risvolta in prossimità della bucatura, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante è un avvolgibile interno, con cassetto coibentato e guide laterali.</p> <p><u>Interfaccia chiusura verticale sbalzo</u> La soletta presenta un disaccoppiamento termico, tramite l'utilizzo di un componente speciale, che garantisce stabilità e sicurezza, oltre a tagliare il ponte termico ed acustico.</p> <p><u>Interfaccia infisso sbalzo</u> L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, tagliando dunque ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria 2_Isolamento interposto 3_Infisso 4_Cassetto e avvolgibile interno</p>

_B.6.1 | B.6.2

<p>_Interfaccia chiusura verticale infisso</p> <p>La cortina muraria presenta un isolamento interposto, con una parte che risvolta in prossimità della bucatura, a tagliare completamente sia il ponte termico che quello acustico; l'infisso è posto in continuità con il filo interno della cortina muraria; il sistema oscurante è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali.</p> <p>_Interfaccia chiusura verticale sbalzo</p> <p>La struttura dell'aggetto è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi appostiti annegati nell'isolante.</p> <p>_Interfaccia infisso sbalzo</p> <p>L'infisso è posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, a rivestire anche l'elemento orizzontale della struttura, tagliando ponte termico e acustico con la soletta; i piani sono sfalsati per evitare le infiltrazioni.</p>	<p><i>Legenda:</i></p> <p>1_Cortina muraria</p> <p>2_Isolamento interposto</p> <p>3_Infisso</p> <p>4_Cassonetto e avvolgibile interno</p> <p>5_Struttura autonoma</p>

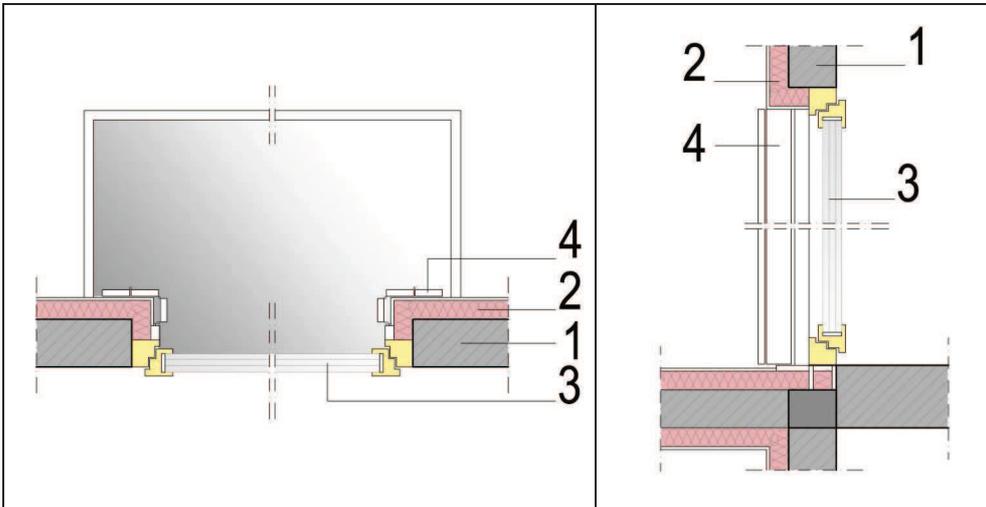
6.3 I componenti da utilizzare

Nel paragrafo precedente si sono individuate delle configurazioni possibili per la soluzione delle interfaccia correlate al nodo chiusura - infisso - sbalzo.

Si vuole ora mettere a sistema quanto individuato e mostrato con quello che è lo stato dell'arte, ipotizzando quali componenti possano essere utilizzati per far sì che all'interno di queste configurazioni le prestazioni possano sempre essere garantite ai livelli più alti. Il presente paragrafo ha dunque l'obbiettivo di effettuare proposte critiche di applicazione, all'interno delle soluzioni individuate, all'uso dei componenti mostrati e classificati all'interno del capitolo 4 della presente trattazione.

Un esempio può essere relativo alla composizione della cortina muraria per la configurazione B.1.1_B.1.2: nello schema grafico si è rappresentata la posizione dell'isolamento come interposto, ponendo ad esempio l'uso di blocchi come alla scheda C1 (capitolo 4, paragrafo 4.2.1); questo può essere uno dei casi, cui si possono altresì assimilare - per comportamento, prestazione e talune delle tecnologie coinvolte - quelli relativi all'utilizzo di blocchi innovativi come quelli mostrati nella scheda A1. Tale scelta, ad esempio, comporterebbe la non giustapposizione di un ulteriore strato isolante esterno: la configurazione mostrata non muta comunque in maniera sostanziale, permanendo sostanzialmente invariate le altre considerazioni espresse.

_A.1.1 | A.1.2

**1_Cortina muraria**

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, quindi utilizzando principalmente un componente laterizio; può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Nella configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali esplicitati nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti.

2_Isolamento a cappotto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede sui componenti per l'isolamento termoacustico (par. 4.3); in particolare:

H1_vegetali: sughero, legno mineralizzato, fibra di legno;

H3_minerali: calcio silicato, lana di roccia;

H4_sintetici: EPS, XPS.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia continuo in facciata, così da tagliare i ponti termici ed acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

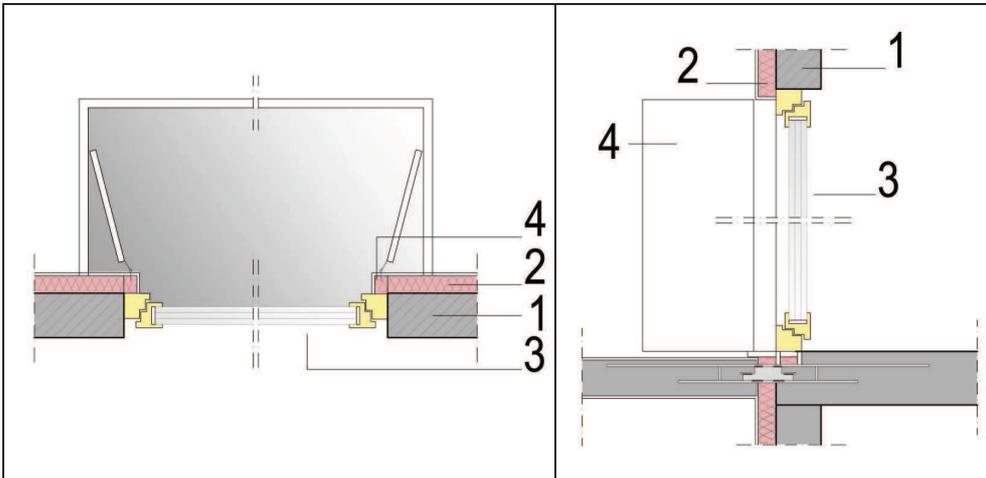
3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Oscurante esterno

Il sistema è opportuno sia fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso, come mostrato in figura, o avvitato direttamente a speciali profili coibenti attrezzati per accogliere al proprio interno l'aggancio dell'oscuramente in facciata.

_A.2.1 | A.2.2

**1_Cortina muraria**

Lo strato 1 può essere realizzato con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, quindi utilizzando principalmente un componente laterizio; può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Nella configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali esplicitati nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti.

Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna tramite un elemento di disaccoppiamento termico, e quindi acustico.

2_Isolamento a cappotto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede sui componenti per l'isolamento termoacustico; in particolare:

H1_vegetali: sughero, legno mineralizzato, fibra di legno;

H3_minerali: calcio silicato, lana di roccia;

H4_sintetici: EPS, XPS.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia continuo in facciata, così da tagliare i ponti termici ed acustici. Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

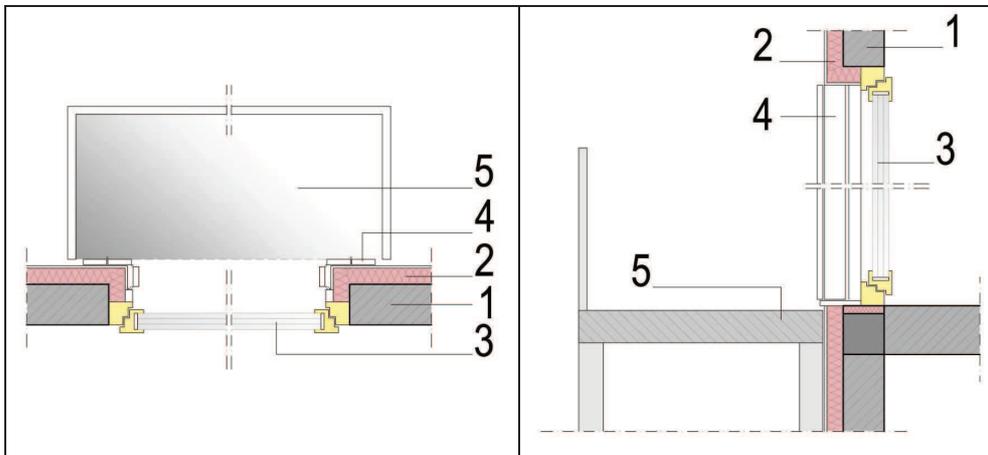
3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Oscurante esterno

Il sistema è opportuno sia fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso, come mostrato in figura, o avvitato direttamente a speciali profili coibenti attrezzati per accogliere al proprio interno l'aggancio dell'oscuramente in facciata.

_A.3.1 | A.3.2

**1_Cortina muraria**

Lo strato 1 può essere realizzato con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, quindi utilizzando principalmente un componente laterizio; può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Nella configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali espliciti nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti.

2_Isolamento a cappotto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede sui componenti per l'isolamento termoacustico; in particolare:

H1_vegetali: sughero, legno mineralizzato, fibra di legno;

H3_minerali: calcio silicato, lana di roccia;

H4_sintetici: EPS, XPS.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia continuo in facciata, così da tagliare i ponti

termici ed acustici. Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

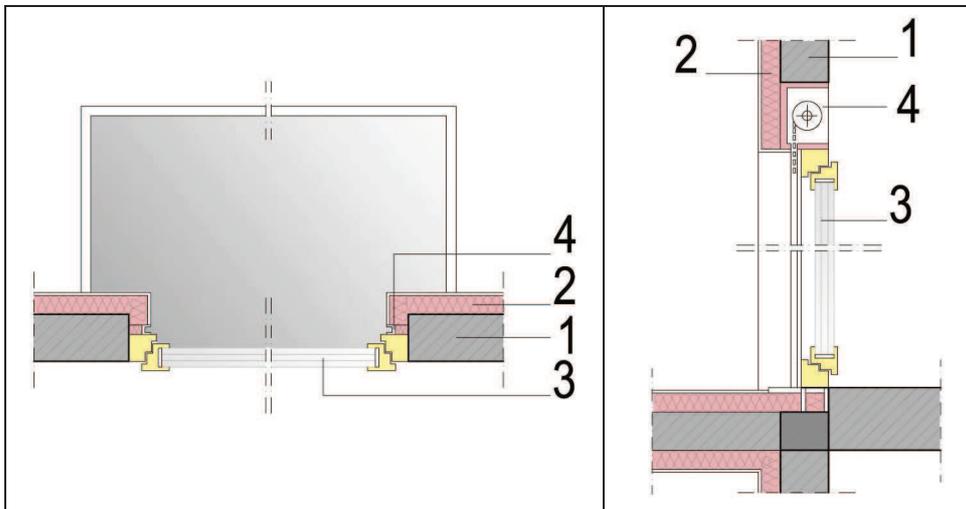
4_Oscurante esterno

Il sistema è opportuno sia fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso, come mostrato in figura, o avvitato direttamente a speciali profili coibenti attrezzati per accogliere al proprio interno l'aggancio dell'oscuramente in facciata.

5_Struttura autonoma

Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi appostiti annegati nell'isolante.

Va in questa sede ricordato che i componenti relativi a questa configurazione possono essere sia elementi metallici o di legno (per avere una struttura leggera) che realizzati in calcestruzzo. In ogni caso, per questioni anche relative alla normativa antisismica, dovranno avere comunque adeguate fondazioni e collegamenti con la struttura principale di cui formano un corpo giustapposto.

A.4.1 | A.4.2**1_Cortina muraria**

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, quindi utilizzando principalmente un componente laterizio; può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante. In questa configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali espliciti nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti.

2_Isolamento a cappotto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede sui componenti per l'isolamento termoacustico; in particolare:

H1_vegetali: sughero, legno mineralizzato, fibra di legno;

H3_minerali: calcio silicato, lana di roccia;

H4_sintetici: EPS, XPS.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia continuo in facciata, così da tagliare i ponti termici ed acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

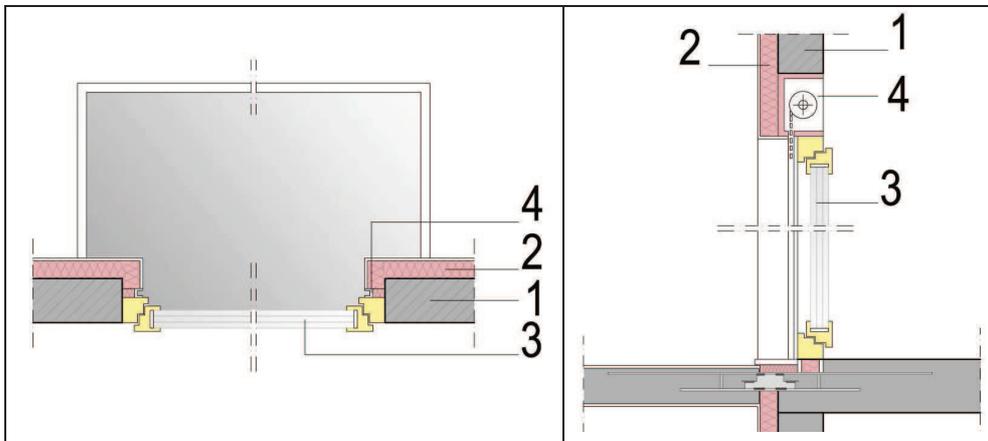
Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Cassonetto e avvolgibile interno

Il sistema oscurante in questa configurazione è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali: un componente che può essere posto in opera per avere garantite elevate prestazioni è bene possieda una configurazione morfologica simile a quella illustrata.

A.5.1 | A.5.2**1_Cortina muraria**

Lo strato 1 può essere realizzato con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili; si può utilizzare anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. Meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante. Nella configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali espliciti nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti. Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna tramite un elemento di disaccoppiamento termico, e quindi acustico.

2_Isolamento a cappotto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede sui componenti per l'isolamento termoacustico; in particolare:

H1_vegetali: sughero, legno mineralizzato, fibra di legno;

H3_minerali: calcio silicato, lana di roccia;

H4_sintetici: EPS, XPS.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia continuo in facciata, così da tagliare i ponti

termici ed acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

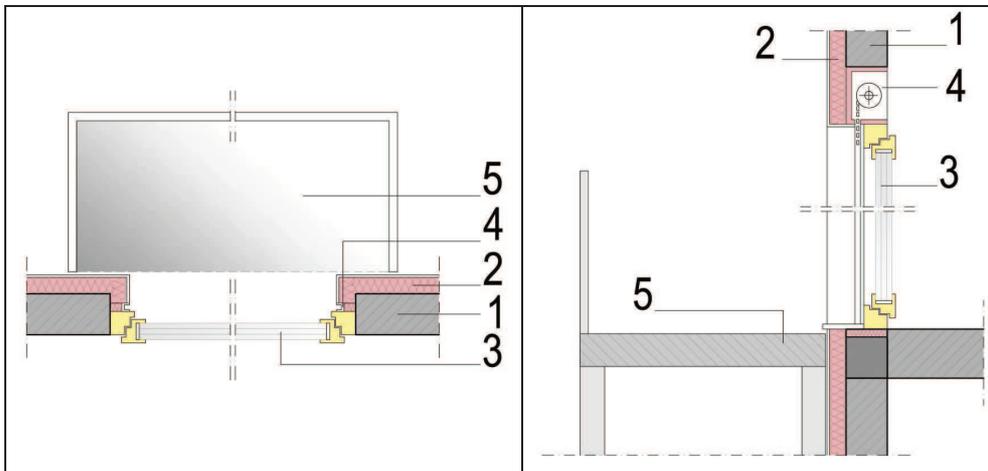
Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Cassonetto e avvolgibile interno

Il sistema oscurante in questa configurazione è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali: un componente che può essere posto in opera per avere garantite elevate prestazioni è bene possieda una configurazione morfologica simile a quella illustrata.

A.6.1 | A.6.2**1_Cortina muraria**

Lo strato 1 può essere realizzato con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, quindi utilizzando principalmente un componente laterizio; può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Nella configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali esplicitati nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti.

2_Isolamento a cappotto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede sui componenti per l'isolamento termoacustico; in particolare:

H1_vegetali: sughero, legno mineralizzato, fibra di legno;

H3_minerali: calcio silicato, lana di roccia;

H4_sintetici: EPS, XPS.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia continuo in facciata, così da tagliare i ponti termici ed acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

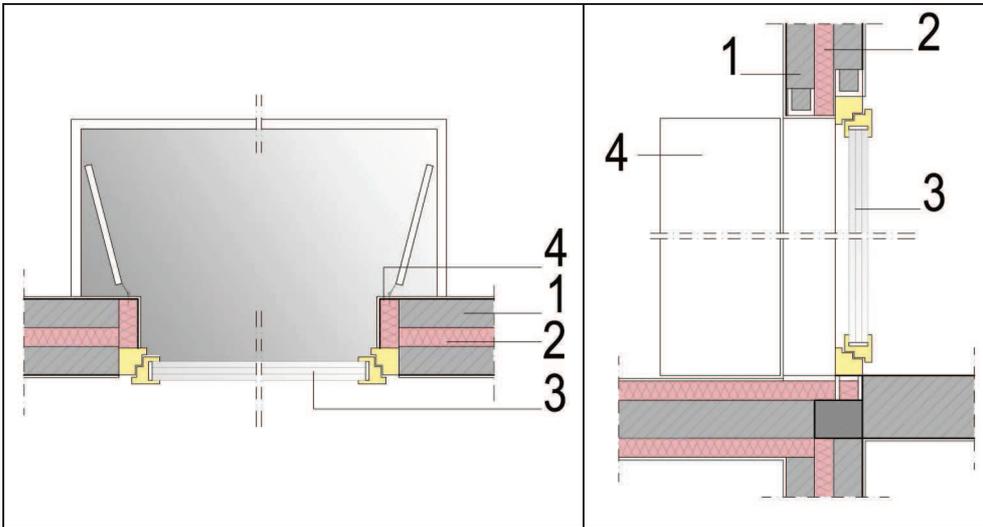
4_Cassonetto e avvolgibile interno

Il sistema oscurante in questa configurazione è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali: un componente che può essere posto in opera per avere garantite elevate prestazioni è bene possieda una configurazione morfologica simile a quella illustrata.

5_Struttura autonoma

Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi appostiti annegati nell'isolante.

Va in questa sede ricordato che i componenti relativi a questa configurazione possono essere sia elementi metallici o di legno (per avere una struttura leggera) che realizzati in calcestruzzo. In ogni caso, per questioni anche relative alla normativa antisismica, dovranno avere comunque adeguate fondazioni e collegamenti con la struttura principale di cui formano un corpo giustapposto.

B.1.1 | B.1.2**1_Cortina muraria**

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato o con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, di spessori lievemente ridotti, oppure - come espresso all'inizio del paragrafo - può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Nella configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali esplicitati nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti.

2_Isolamento interposto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede H sui componenti per l'isolamento termoacustico; in questa configurazione possono essere utilizzati tutti i componenti, considerato il posizionamento

interposto e quindi sempre protetto da agenti atmosferici esterni.

Una considerazione in tal caso va effettuata in relazione alla protezione del materiale coibente dai vapori interni: di caso in caso, anche a seconda dei materiali utilizzati e come indicato nelle schede specifiche, sarà opportuno valutare la posa in opera di una barriera al vapore.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia posto in continuità in ogni sua parte, così da annullare sia i ponti termici che quelli acustici, soprattutto nei punti di interfaccia con l'isolamento dello sbalzo.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

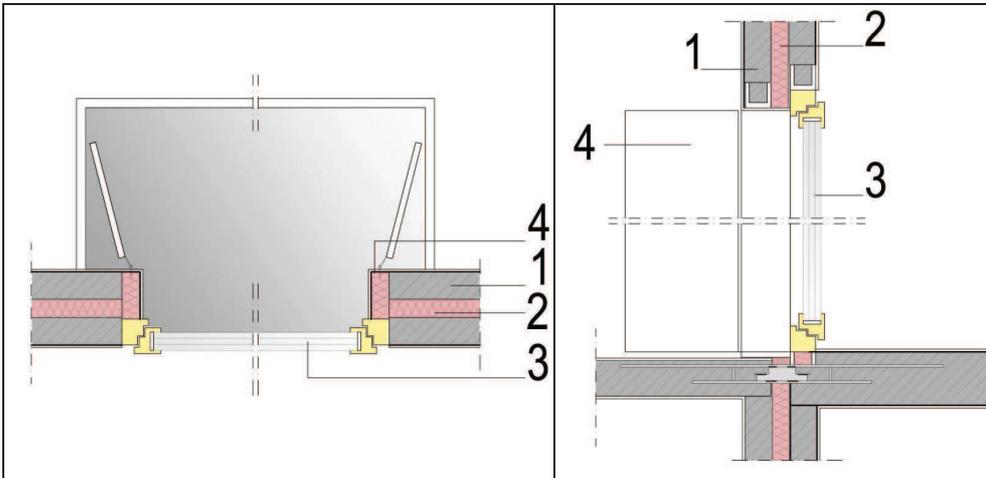
Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Oscurante esterno

Il sistema è opportuno sia fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso, come mostrato in figura, o avvitato direttamente a speciali profili coibenti attrezzati per accogliere al proprio interno l'aggancio dell'oscuramente in facciata. Si può scegliere, attraverso una corretta ferramenta, di fissare direttamente gli scuri alla parte resistente dello strato esterno della muratura stratificata.

B.2.1 | B.2.2**1_Cortina muraria**

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato o con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, di spessori lievemente ridotti, oppure - come espresso all'inizio del paragrafo - può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna tramite un elemento di disaccoppiamento termico, e quindi acustico.

2_Isolamento interposto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede H sui componenti per l'isolamento termoacustico; in questa configurazione possono essere utilizzati tutti i componenti, considerato il posizionamento interposto e quindi sempre protetto da agenti atmosferici esterni.

Una considerazione in tal caso va effettuata in relazione alla protezione del

materiale coibente dai vapori interni: di caso in caso, anche a seconda dei materiali utilizzati e come indicato nelle schede specifiche, sarà opportuno valutare la posa in opera di una barriera al vapore.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia posto in continuità in ogni sua parte, così da annullare sia i ponti termici che quelli acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

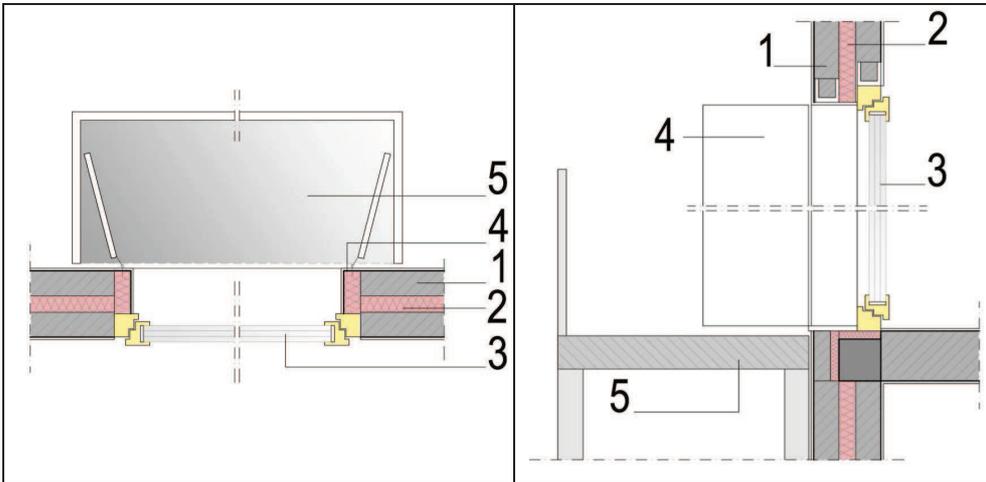
Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Oscurante esterno

Il sistema è opportuno sia fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso, come mostrato in figura, o avvitato direttamente a speciali profili coibenti attrezzati per accogliere al proprio interno l'aggancio dell'oscuramente in facciata. Si può scegliere, attraverso una corretta ferramenta, di fissare direttamente gli scuri alla parte resistente dello strato esterno della muratura stratificata.

B.3.1 | B.3.2**1_Cortina muraria**

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato o con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, di spessori lievemente ridotti, oppure - come espresso all'inizio del paragrafo - può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

2_Isolamento interposto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede H sui componenti per l'isolamento termoacustico; in questa configurazione possono essere utilizzati tutti i componenti, considerato il posizionamento interposto e quindi sempre protetto da agenti atmosferici esterni.

Una considerazione in tal caso va effettuata in relazione alla protezione del materiale coibente dai vapori interni: di caso in caso, anche a seconda dei materiali utilizzati e come indicato nelle schede specifiche, sarà opportuno valutare la posa in opera di una barriera al vapore.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia posto in continuità in ogni sua parte, così da annullare sia i ponti termici che quelli acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

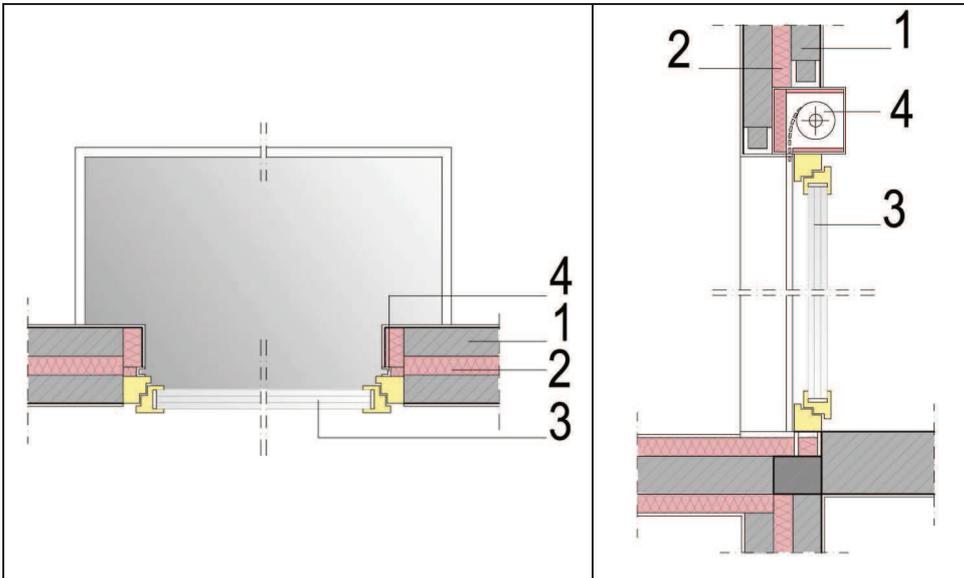
4_Oscurante esterno

Il sistema è opportuno sia fissato ad un telaio accoppiato a quello dell'infisso stesso, come mostrato in figura, o avvitato direttamente a speciali profili coibenti attrezzati per accogliere al proprio interno l'aggancio dell'oscurante in facciata. Si può scegliere, attraverso una corretta ferramenta, di fissare direttamente gli scuri alla parte resistente dello strato esterno della muratura stratificata.

5_Struttura autonoma

Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi apposti annegati nell'isolante.

Va in questa sede ricordato che i componenti relativi a questa configurazione possono essere sia elementi metallici o di legno (per avere una struttura leggera) che realizzati in calcestruzzo. In ogni caso, per questioni anche relative alla normativa antisismica, dovranno avere comunque adeguate fondazioni e collegamenti con la struttura principale di cui formano un corpo giustapposto.

B.4.1 | B.4.21_Cortina muraria

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato o con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, di spessori lievemente ridotti, oppure - come espresso all'inizio del paragrafo - può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Nella configurazione si è rappresentato il caso di una struttura intelaiata e quindi tamponata; gli stessi ragionamenti (con i dovuti accorgimenti dimensionali esplicitati nelle rispettive schede del capitolo 4) possono valere anche per pareti portanti.

2_Isolamento interposto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede H sui componenti per l'isolamento termoacustico; in questa

configurazione possono essere utilizzati tutti i componenti, considerato il posizionamento interposto e quindi sempre protetto da agenti atmosferici esterni.

Una considerazione in tal caso va effettuata in relazione alla protezione del materiale coibente dai vapori interni: di caso in caso, anche a seconda dei materiali utilizzati e come indicato nelle schede specifiche, sarà opportuno valutare la posa in opera di una barriera al vapore.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia posto in continuità in ogni sua parte, così da annullare sia i ponti termici che quelli acustici, soprattutto nei punti di interfaccia con l'isolamento dello sbalzo.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

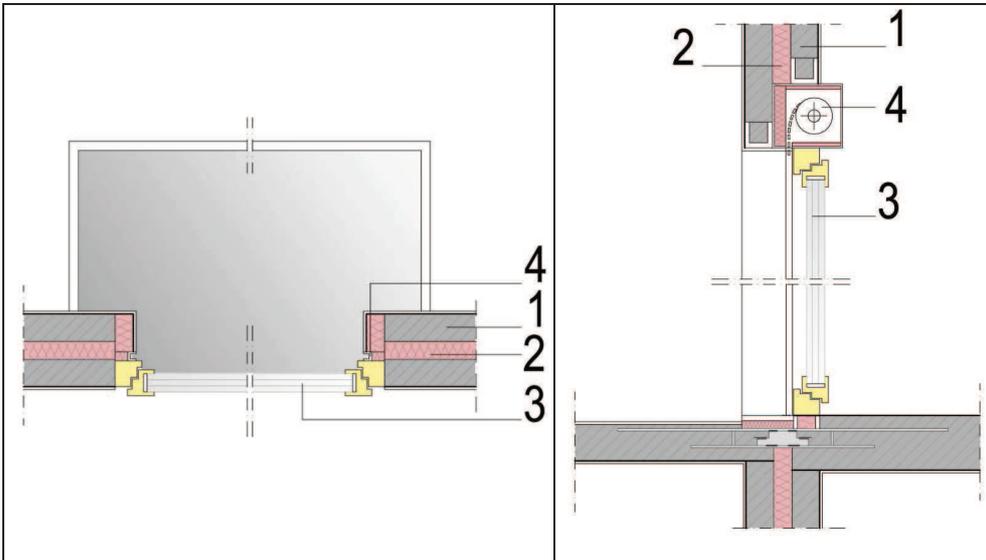
Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Cassonetto e avvolgibile interno

Il sistema oscurante in questa configurazione è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali: un componente che può essere posto in opera per avere garantite elevate prestazioni è bene possieda una configurazione morfologica simile a quella illustrata.

B.5.1 | B.5.2**1_Cortina muraria**

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato o con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, di spessori lievemente ridotti, oppure - come espresso all'inizio del paragrafo - può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è strutturalmente connessa alla partizione orizzontale interna tramite un elemento di disaccoppiamento termico, e quindi acustico.

2_Isolamento interposto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede H sui componenti per l'isolamento termoacustico; in questa configurazione possono essere utilizzati tutti i componenti, considerato il posizionamento interposto e quindi sempre protetto da agenti atmosferici esterni.

Una considerazione in tal caso va effettuata in relazione alla protezione del materiale coibente dai vapori interni: di caso in caso, anche a seconda dei materiali utilizzati e come indicato nelle schede specifiche, sarà opportuno valutare la posa in opera di una barriera al vapore.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia posto in continuità in ogni sua parte, così da annullare sia i ponti termici che quelli acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

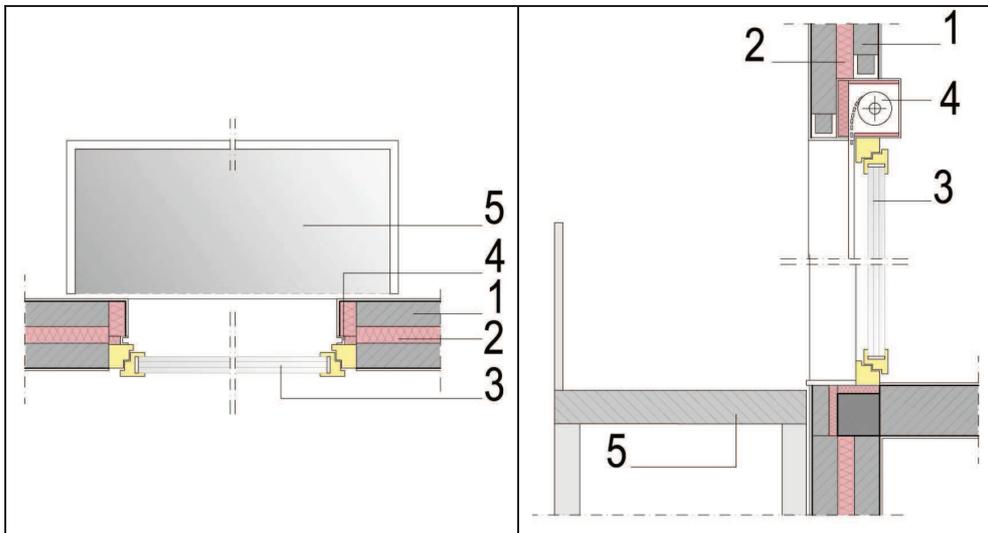
Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitoli 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Cassonetto e avvolgibile interno

Il sistema oscurante in questa configurazione è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali: un componente che può essere posto in opera per avere garantite elevate prestazioni è bene possieda una configurazione morfologica simile a quella illustrata.

B.6.1 | B.6.2**1_Cortina muraria**

Tenendo conto della configurazione proposta, lo strato 1 può essere realizzato o con i componenti indicati nella scheda C1_blocchi a setti sottili, di spessori lievemente ridotti, oppure - come espresso all'inizio del paragrafo - può essere posto in opera anche uno dei componenti illustrati nella scheda A1_blocchi a cavità riempite o nella scheda B1_blocchi preassemblati, ed in questo caso potrebbe essere omesso lo strato 2. In tal caso, come ricordato anche dalle aziende produttrici, meglio utilizzare un legante del tipo di quelli mostrati nella scheda A2_malta termica isolante.

2_Isolamento interposto

Nel caso di componenti tradizionali ed assimilabili a quelli della scheda C1, i materiali utilizzabili per realizzare lo strato di isolamento sono quelli relativi alle schede H sui componenti per l'isolamento termoacustico; in questa configurazione possono essere utilizzati tutti i componenti, considerato il posizionamento interposto e quindi sempre protetto da agenti atmosferici esterni.

Una considerazione in tal caso va effettuata in relazione alla protezione del materiale coibente dai vapori interni: di caso in caso, anche a seconda dei materiali utilizzati e come indicato nelle schede specifiche, sarà opportuno

valutare la posa in opera di una barriera al vapore.

Bisogna sempre far sì che l'isolante sia posto in continuità in ogni sua parte, così da annullare sia i ponti termici che quelli acustici.

Questi accorgimenti sono essenziali in regime invernale.

Per il regime estivo, come si è avuto modo di illustrare nei capitolo 3 e 4, bisogna combinare all'isolamento la massa per accrescere lo sfasamento temporale dell'onda termica. Importanti in tal senso i componenti indicati come pesanti al paragrafo 4.1.

3_Infisso

Nel paragrafo 4.3 della trattazione si sono elencati i requisiti che è indispensabile abbiano gli infissi, cercando di classificarli nella scheda G2 anche alla luce delle recenti innovazioni; si veda anche la scheda G1_vetrocamera bassoemissivi, ormai imprescindibili per l'ottenimento di prestazioni elevate.

4_Cassonetto e avvolgibile interno

Il sistema oscurante in questa configurazione è un avvolgibile interno, con cassonetto coibentato e guide laterali: un componente che può essere posto in opera per avere garantite elevate prestazioni è bene possieda una configurazione morfologica simile a quella illustrata.

5_Struttura autonoma

Per quanto concerne la soletta in aggetto, essa in questa configurazione è completamente autonoma, separata dall'involucro cui è connessa solo puntualmente con dei fissaggi appostiti annegati nell'isolante.

Va in questa sede ricordato che i componenti relativi a questa configurazione possono essere sia elementi metallici o di legno (per avere una struttura leggera) che realizzati in calcestruzzo. In ogni caso, per questioni anche relative alla normativa antisismica, dovranno avere comunque adeguate fondazioni e collegamenti con la struttura principale di cui formano un corpo giustapposto.

6.4 Gli attuali “vuoti” nel processo edilizio e le prestazioni ottenibili

La progettazione del nuovo è la fase in cui si decidono le forme, le tecniche e i materiali dai cui dipenderanno poi il fabbisogno energetico dell'edificio e il suo comfort abitativo sia termico-igrometrico che acustico.

E' anche la fase in cui si possono prevenire i problemi strutturali causati dai ponti termici, di difficile soluzione una volta che la costruzione è terminata. La valutazione dei ponti termici ed acustici, come finora evidenziato, è un momento molto delicato e che richiede particolare controllo da parte del progettista in tutti i passi del processo edilizio²: dalle scelte morfologiche a quelle tecnologiche, compresi i materiali ed i componenti, dalla corretta progettazione alla posa in opera, talune volte più insidiosa e foriera di criticità costruttive legate alla prassi.

Le questioni nodali individuate - ed in questo capitolo provate ad analizzare nello specifico con un metodo rigoroso - nascono spesso da piccoli particolari dimenticati, che sono però in grado di creare grandi problemi che nemmeno un cappotto realizzato a regola d'arte può eliminare del tutto alla radice. In presenza di rivestimenti isolanti a cappotto su un edificio nuovo, non ci si può astenere dalla correzione dei ponti termici, semmai si useranno spessori più contenuti per questa operazione. Va inoltre considerato che aumentando la resistenza termica delle pareti l'incidenza dei ponti termici diventa più rilevante. L'attenzione ai particolari e la prevenzione sono l'unica strada, e l'unica prevenzione possibile è una progettazione accurata delle strutture, seguita da una corretta posa in opera di materiali, componenti e sistemi.

Quello che attraverso la presente ricerca si vuole mettere in luce è la rilevanza e la diffusione della problematica, importante e critica a tal punto tanto che anche nella rete³ si parla spesso di quelle che in questa sede di sono definite “questioni nodali”,

² Processo edilizio è una sequenza organizzata di fasi o operazioni di trasformazione, che portano dalla rilevazione di un bisogno alla sua soluzione in termini di edilizia.

Norma UNI 7867 Edilizia – Terminologia.

³ <http://cercaenergia.forumcommunity.net> Di tale forum non si riporta certo la valenza scientifica: viene segnalato, uno in veste dei tanti presenti nella rete, solo per porre un ulteriore accento, se necessario, sulla rilevanza del problema, sulla sua diffusione e sulla crescente attenzione che vi continuano a porre sia i progettisti, che le aziende produttrici e le imprese di installazione.

in particolare quella illustrata e presa come esempio per la messa in opera del metodo di indagine individuato: le questioni relative al nodo chiusura verticale - infisso - sbalzo.

È un argomento che non va trascurato e che la presente tesi di ricerca vuole affrontare con un rigore scientifico che possa divenire metodo applicativo, da sperimentare, verificare e, se necessario, ri-definire e ri-calibrare per l'analisi e l'approfondimento sia di questo che di altri nodi tecnologici, come la presente ricerca ha cercato sinora di evidenziare (si veda il capitolo 5).

I fenomeni negativi legati alla presenza di tali questioni nodali si è cercato di porli in luce all'interno di questa parte terza della trattazione: essi possono essere controllati e ridotti osservando alcune indicazioni.

_Interfaccia chiusura verticale | infisso

Si sono evidenziate parecchie criticità di interfaccia tra queste due classi di elementi tecnici, ed è qui che si devono concentrare i massimi sforzi progettuali, e di direzione lavori, per risolverli.

Innanzitutto la posizione dell'infisso rispetto alla bucatura ed in relazione alla posizione dell'isolamento. Se quest'ultimo è un rivestimento esterno a cappotto, la posizione migliore per l'infisso è a filo esterno, cosicché l'isolante possa venir poggiato sul telaio fisso, a chiudere ed eliminare ogni ponte termico ed acustico.

Se la cortina muraria presenta un isolamento interposto, può essere buona norma che l'infisso venga posto in continuità con il materiale coibente, quindi o in posizione mediana o filo interno, con l'isolante che rigira all'interno della bucatura fino a giungere a contatto diretto con il telaio fisso.

Poi si è individuato anche il problema dell'infisso in sé e delle sue elevate prestazioni, per cui si rimanda alle schede G1 e G2 della presente trattazione. In relazione alla parte trasparente dell'involucro, non si devono tralasciare due tematiche a ciò correlate: l'oscuramento e l'ombreggiamento.

Il tema dell'oscuramento interferisce molto con la chiusura, sia che si tratti di oscuranti esterni che di avvolgibili, di cui si sono evidenziati rischi e criticità. In questa sede si vuole solo porre nuovamente l'attenzione sugli agganci degli scuri (vanno studiati onde correggere la possibilità di un ponte termoacustico puntuale) e

sulle tecnologie che è bene adottare per la soluzione dell'architrave connessa al cassonetto dell'avvolgibile: anche in questo caso la continuità con la struttura va interrotta da materiali coibenti, e l'isolamento della cortina muraria - con qualsiasi componenti tecnologici venga realizzata - deve essere posto in continuità con quello dei cassonetti e degli architrave.

Per quanto riguarda le prestazioni in regime estivo, si sottolinea nuovamente l'importanza di avere cortine murarie in grado anche di sfruttare, come ampiamente già espresso, lo sfasamento dell'onda termica e la massa ai fini di accrescere la capacità termica dell'involucro opaco.

Per la porzione trasparente dell'involucro, è bene ragionare sulla messa in opera di sistemi di ombreggiamento; si potrebbe compiere una scelta tecnologica che indirizzi verso componenti esterni leggeri, con fissaggi risolti tenendo conto dell'annullamento di possibili ponti termici ed acustici.

Un altro luogo critico è relativo all'interfaccia tra l'infisso e la muratura nel punto del posizionamento del falso telaio; è bene verificare in sede di posa in opera che vengano colmate eventuali fessure legate alla posa, con l'utilizzo di schiume e con l'ausilio di nastri sigillanti di materiale isolante elastico.

In alcuni casi ci può ipotizzare che i falsi telai siano realizzati con un profilo ad L così da coprire in parte all'esterno il telaio della finestra; questo giunto va poi siliconato, andando a far risvoltare l'isolante per ricoprire l'aletta.

Un altro luogo nodale è il davanzale.

Si è volutamente scelto di porlo come ultimo proprio perché spesso è l'unico su cui si concentra l'azione progettuale e di ricerca.

In questa sede si è più volte espressa una riflessione in merito alla posa in opera dei davanzali, sottolineando l'interruzione necessaria per interrompere il ponte termico ed acustico, ponendo listelli in legno e pvc sotto i telai fissi in corrispondenza del davanzale esterno: la cura del dettaglio fa la differenza in questo particolare costruttivo, e bisogna verificare la corretta posa in opera dell'infisso e del suo davanzale.

_Interfaccia chiusura verticale | sbalzo

Per questa criticità le soluzioni più corrette per dare una risposta adeguata alle istanze termoacustiche e sismiche sono l'isolamento completo a cappotto, il disaccoppiamento termico, tramite l'utilizzo di un componente speciale, e la realizzazione di strutture autonome poste in affiancamento all'involucro edilizio.

La scelta di isolare completamente lo sbalzo si sposa bene con la tecnologia di isolamento a cappotto dell'edificio, che può avere grandi vantaggi in regime invernale per climi rigidi, ma che non è la soluzione sempre ottimale.

Utilizzare degli elementi di disaccoppiamento termico sta divenendo una pratica sufficientemente diffusa, a riprova della validità tecnica e tecnologica della soluzione; in questo caso la raccomandazione più significativa è relativa alla attenzione da porre in fase di posa in opera alla continuità del materiale coibente, sia esso a cappotto o interposto, come mostrato in questo capitolo.

La scelta di soluzioni separate dall'involucro è probabilmente una frontiera di ricerca ed applicazione che viene e verrà indagata in maniera sempre più diffusa.

È una soluzione tecnologica che, se abbinata alla scelta di porre in opera strutture realizzare con materiali leggeri come legno ed acciaio, porta a soluzioni progettuali interessanti: queste possono anche riportare la questione in termini compositivi.

Gli stessi accorgimenti tecnologici si possono esprimere in relazione alle logge, che essendo volumi semiesterni hanno maggiori punti di contatto con l'involucro: gli accorgimenti maggiori sono dunque relativi al contatto con la struttura e con le chiusure verticali che le delimitano.

_Interfaccia infisso | sbalzo

L'infisso è bene venga posato su materiale coibente, in continuità con quello dell'involucro, eliminando dunque la possibilità che si verifichi un ponte termico e acustico con la soletta, qualsiasi sia la scelta tecnologica operata.

È bene inoltre far sì che in fase di progettazione si definiscano piani sfalsati tra interno ed esterno per evitare le infiltrazioni, che vanno comunque controllata ponendo correttamente in opera guaine impermeabili.

Bibliografia

Libri

- AA. VV., Una nuova stagione per l'housing, - Low cost, low energy, quality architecture BE-MA, Milano, 2009.
- AA. VV., L'Italia si trasforma + Qualità - Energia, BE-MA, Milano, 2008.
- AA. VV., L'Italia si trasforma - Città fra terra e acqua, BE-MA, Milano, 2007.
- AA. VV., L'Italia si trasforma - Città in competizione, BE-MA, Milano, 2006.
- AA. VV., Abitare il futuro - Città, quartieri, case, BE-MA, Milano, 2005.
- AA. VV., Abitare il futuro - Innovazione e nuove centralità urbane, BE-MA, Milano, 2004.
- AA. VV., Abitare il futuro – Innovazione, tecnologia, architettura, BE-MA, Milano, 2003.
- AA.VV., Costruire sostenibile: l'Europa, Bologna Fiere, Alinea, Firenze, 2002.
- AA.VV., Costruire sostenibile: il Mediterraneo, Bologna Fiere Alinea, Firenze, 2001.
- AA.VV., Costruire sostenibile: 2000, Bologna Fiere, Alinea, Firenze, 2000.
- AA.VV., Hi-Tech: I dettagli dell'involucro, BE-MA, Milano, 1993.
- Acocella, A., Architettura italiana contemporanea, Alinea, Firenze, 1984.
- Allen, E., Come funzionano gli edifici, Edizioni Dedalo srl, Bari, 1983.
- Altomonte, S., L'involucro architettonico come interfaccia dinamica - Strumenti criteri per una architettura sostenibile, Alinea, Firenze, 2005.
- Arbizzani, E., Tecnologia dei sistemi edilizi, Maggioli, Rimini, 2008.
- Bartoli, B., Sostenibile dalla A alla Z – 250 schede per progettare ecologicamente, Esselibri – Simone, Napoli, 2008.
- Benedetti, C., Manuale di architettura bioclimatica, Maggioli, Rimini, 1994.
- Bottero, M., Progettare e costruire nella complessità. Lezioni di Bioarchitettura, Liguori, Napoli, 1993.
- Brunoro, S., Efficienza energetica delle facciate, Maggioli, Rimini, 2006.
- Butera, M .F., Dalla caverna alla casa ecologica: storia del comfort e dell'energia, Edizioni Ambiente, Milano, 2004.

- Campioli, A., *Il contesto del progetto: il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, Milano, Franco Angeli, 1993.
- Cascella, P., *Involucro bioclimatico e solare*, ChandraEditrice, Roma, 2008.
- Cetica, P.A., *L'architettura dei muri intelligenti*, Pontecorboli Editore, Firenze, 2004.
- Ciribini, G., *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino 1984.
- Ciribini, G. (a cura di), *Tecnologie della costruzione*, Nuova Italia scientifica, Roma, 1992.
- Cocchi, A., *Elementi di termo fisica generale e applicata*, Progetto Leonardo, Bologna, 1998.
- Colafranceschi D., *Sull'involucro in Architettura - Herzog, Nuovel, Perrault, Piano, Prix, Suzuki, Venturi, Wines, Dedalo*, Bari, 1999.
- Commissione Europea, *Environment 2010: our future, our choice – The sixth EU Environment action programme 2001-2010*, Bruxelles, 2001.
- Commissione Europea, *Libro Verde – Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico*, Lussemburgo, 2001.
- De Pascalis, S., *Progettazione bioclimatica*, Dario Flaccovio, Palermo , 2005.
- Di Giulio, R., *Qualità edilizia programmata. Strumenti e procedure per la gestione della qualità nel ciclo di vita utile degli edifici*, Hoepli, Milano, 1991.
- Francese, D., *La progettazione bioclimatica*, UTET, Torino, 1996.
- Franchiri, A., Rigetti P., *Tipologie residenziali contemporanee*, BE-MA, Milano, 2000.
- Franco, G., *L'involucro edilizio, EPC*, Roma, 2003.
- Gallo, C., *La qualità energetica e ambientale nell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ore, Milano, 2000.
- Gambino, F., *Costruire l'architettura. Materiali e tecnologie*, Dario Flaccovio, Palermo, 2003.
- Gaspari, J., Trabucco, D., Zannoni, G., *Involucro edilizio e aspetti di sostenibilità*, Franco Angeli, Milano, 2010.
- Gauzin-Muller, D., *Architettura sostenibile*, Edizioni Ambiente, Milano, 2003.
- Gauzin-Muller, D., *Case ecologiche*, Edizioni Ambiente, Milano, 2006.

- Giannini, L., Latina, C., Repertorio di particolari costruttivi per l'edilizia residenziale, UTET, Torino, 2004
- Grosso, M., Il raffrescamento passivo degli edifici. Concetti, precedenti architettonici, criteri progettuali, metodi di calcolo e casi di studio, Maggioli, Rimini, 1999.
- Grosso, M., Peretti, G., Piardi, S., Scudo, G., Progettazione ecocompatibile dell'architettura, Concetti e metodi, strumenti d'analisi e valutazione, esempi applicativi, Esselibri - Simone, Napoli, 2005.
- Herzog, T., Kripper, R., Lang, W., Atlante delle facciate, UTET, Torino, 2005.
- Imperadori, M., Le procedure Struttura/Rivestimento per l'edilizia sostenibile. Tecnologie dell'innovazione, Maggioli, Rimini, 1999.
- La Creta, R., Truppi C. (a cura di), L'architetto tra tecnologia e progetto, Angeli, Milano, 1994.
- Lantschner, N., (a cura di), La mia CasaClima, Edition Raetia, Bolzano, 2009.
- Lavagna, M., Sostenibilità e risparmio energetico, Libreria Clup, Milano, 2005.
- Lloyd, J. D., Atlante di bioarchitettura, UTET, Torino, 2002.
- Losasso, M., Architettura, Tecnologia e complessità, Clean, Napoli, 1991
- Marino, F.P., Greco, M. T., La certificazione energetica degli edifici ed il D.L. 192 del 19/8/2005, EPC, Roma, 2006.
- Ministero dell'ambiente e Tutela Del Territorio, Ministero dell'economia e Finanze, Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra: 2003-2010, Dicembre, 2002
- Mottura, G., Pennisi, A., Progettare sistemi di protezione solare degli edifici, Maggioli, Rimini, 2006.
- Nardi, G., Campioli, A., Mangiarotti, A., Frammenti di coscienza tecnica. Tecniche esecutive e cultura del costruire, Franco Angeli, Milano, 1991
- Nardi, G., Le nuovi radici antiche: saggio sulle questioni delle tecniche esecutive in architettura, Franco Angeli, Milano, 1988.
- Nastri, M., Involucro e Architettura, Maggioli, Rimini, 2008.
- Olgay, V., Progettare con il clima - Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico, trad. it. di Giovanni Mancuso, Franco Muzzio, Padova, 1984.
- Palella, A., L'edificio ecologico, Gangemi, Roma, 2001.

- Pappalettere, S., (a cura di), Il quartiere residenziale Giuncoli a Firenze, Alinea, Firenze, 2008.
- Pedrotti, L., La flessibilità tecnologica dei sistemi di facciata. Evoluzione delle tecniche di produzione e di assemblaggio, Angeli, Milano, 1995.
- Ponzini, C., L'edificio energeticamente sostenibile, Maggioli, Rimini, 2009.
- Rava, P., Tecniche costruttive per l'efficienza energetica e la sostenibilità, Maggioli, Rimini, 2008.
- Ronzoni, M. R. (a cura di), E.O.S. consulting: progettare la sostenibilità, Alinea, Firenze, 2004.
- Sasso, U., Dettagli per la bioclimatica, Alinea, Firenze, 2006.
- Scudo, G., Piardi, S., Edilizia sostenibile, Esselibri - Simone, Napoli, 2002.
- Sinopoli, N., La tecnologia invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regie, Milano, Franco Angeli, 1997.
- Sinopoli, N., Tatano, V., Sulle tracce dell'innovazione. Tra tecniche e architettura, Milano, Franco Angeli, 2002.
- Torricelli, M. C., Del Nord, R., Felli, P., Materiali e tecnologie dell'architettura, Laterza, Bari, 2005.
- Torricelli, M.C., Lauria, A. (a cura di), Innovazione tecnologica per l'architettura un diario a più voci, ETS, Pisa, 2004.
- Tucci, F., Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici, Alinea, Firenze, 2006.
- Wienke, U., Manuale di bioedilizia, Dei - Tip. Del Genio Civile, Roma, 2004.
- Zaffagnini, M., Progettare nel processo edilizio, Bologna, L. Parma, 1981.

Articoli di riviste

- Baldinazzo, M., Campioli, A., Ferrari, S., Lavagna, M., Morello, E., "Variabile tempo. Massa termica e risparmio energetico", *Costruire*, 284, Gennaio 2007, pp. 94-99.
- Bianchi, E., "102 appartamenti a Carabanchel - Dosmasuno Arquitectos", *Arketipo*, 49 Dicembre 2010, pp. 98-107.

- Biondo, G., "La storia, la tecnologia, la flessibilità applicativa e produttiva. Saie 2010-Industrializzazione", Modulo, 365, Novembre-Dicembre 2010, pp. 1034-1048.
- Ceccotti, A., Dal Lago, A., Iuorio, O., Landolfo, L., Muscio, M., "Terremoti", Modulo, 360, Aprile 2010, pp. 273-292.
- Fanuzzi, P., (testimonianze raccolte da), "I percorsi dell'innovazione", Modulo, 343, Luglio-Agosto 2008, pp. 738-742.
- Formenti, E., "Impatto zero", Arketipo, 24/Giugno 2008, pp. 54-67
- Gasparetto, F., "Dialogo con il sole", Arketipo, 5/luglio-agosto 2006, pp. 32-43
- Imperadori, M., "Schermi dinamici", Arketipo, Sostenibilità costruita S2/2008, pp. 38-41
- Malighetti, L., "Muro di vetro", Arketipo, 29/Dicembre 2008, pp. 60-71
- Malighetti, L., "Una serra in facciata", Arketipo, 5/luglio-agosto 2006, pp. 66-77
- Malighetti, L., "Severità e dinamismo", Arketipo, 23/Maggio 2008, pp.104-117
- Masera, G., "Fondazione Metropoli a Madrid", Arketipo, 33/Maggio 2009, pp. 68-79
- Nolesini, F., "Edificio residenziale a Bergamo", Arketipo, 40/Gennaio-Febbraio 2010.
- Pagliari, F., "Frener & Reifer Headquarters", The Plan, 032 gennaio 2009, pp. 12-18
- Pagliari, F., "Gardiner Musuem, Toronto, Canada", The Plan, 025 aprile 2008, pp. 68-81
- Pagliari, F., "Istituto scolastico, Galisteo, Spagna", The Plan, 022 novembre 2007, pp. 82-95
- Piacenza, S., "Casa intelligente", Arketipo, 46, Settembre 2010, pp. 160-161.
- Protti, P., "Innovazioni invisibili", Modulo, 348, Febbraio 2009, pp. 81-85.
- Raimondi, M., Nuovi strumenti per l'analisi termoacustica, Bioedilizia, 2, Maggio 2010
- Vivian, A., "Thin flats a Philadelphia - Onion Flats", Arketipo, 49, Dicembre 2010, pp. 52-61.
- Tedeschi, G.L., "Facciate termicamente performanti", Arketipo, 46, Settembre 2010, pp. 126-127.
- Turchini, G., "L'involucro, questo sconosciuto", Arketipo, 46, Settembre 2010, pp. 50-51.

Tesi di Dottorato

Cinti, S., Le facciate a doppia pelle in Italia. Verifica di applicabilità dei sistemi vetro-vetro, XVI Ciclo del dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura_Facoltà di architettura di Ferrara, Istituto IUAV di Venezia.

Archetti, G., Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia-Romagna, XXII Ciclo del dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura_Facoltà di architettura di Ferrara, Istituto IUAV di Venezia e Facoltà di Architettura di Cesena.

Modugno, V., La traslucenza nell'involucro architettonico. Materiali, prestazioni e tecnologie innovative applicate alle frontiere edilizie contemporanee, XXII Ciclo del dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura_Facoltà di architettura di Ferrara, Istituto IUAV di Venezia e Facoltà di Architettura di Cesena.

Sitografia

http://www.actis-isolation.com	http://www.finstral.com
http://www.aestudio.it	http://www.giulianisc.it
http://www.almetitalia.it	http://www.guidafinestra.it
http://www.alphacan.it	http://www.gyproc.it
http://www.alubuild.it	http://www.infobuildenergia.it
http://www.alveolater.com	http://www.ingegneriasismica.net
http://www.anit.it	http://www.internorm.com
http://www.arcaedizioni.it	http://www.lateriziofacciavista.it
http://www.archinfo.it	http://www.ledenergy.it
http://www.arip.org	http://www.maico.com
http://www.casaclima.com	http://www.mariottiprefabbricati.it
http://www.casapassiva.com	http://www.mattone.it
http://www.celenit.it	http://www.metra.it

<http://www.centroconsumatori.it>
<http://www.certificazione-energetica.com>
<http://cses.anu.edu.au>
<http://www.coverd.it>
<http://www.danesilaterizi.it>
<http://www.dantesistemacasa.it>
<http://www.decorus.it>
<http://www.dimuziolaterizi.it>
<http://www.dosteba.com>
<http://www.edilportale.com/prodotti>
<http://www.ediliziaiinrete.it>
<http://www.enea.it>
<http://www.energysavergroup.it>
<http://www.ekosinfissi.it>
<http://www.paver.it>
<http://www.pontarolo.com>
<http://www.provincia.bz.it/risparmio-energetico>
<http://www.roverplastik.it>
<http://www.schoeck.it>
<http://www.schueco.com>
<http://www.sipvc.org>
<http://www.suedtirol-fenster.com>
<http://www.termografiainfrarosso-mg.it>
<http://www.tosoni.com>
<http://www.vegaferrara.com/>
<http://www.waler.it>
<http://www.zclima.it>

Fonti delle illustrazioni

Parte Prima

Capitolo 1

Figura 1.1, <http://consulenza-tecnica.lacasagiusta.it>

Figura 1.2, <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

Figure 1.3, 1.4, 1.5, <http://www.protezionecivile.it>

Figure 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, <http://www.wolfhaus.it>

Capitolo 2

Figura 2.1, <http://www.edilportale.com/prodotti>

Figura 2.2, Archetti, G., op. cit.

Figura 2.3, <http://www.wolfhaus.it>

Figure 2.4, 2.5, <http://www.ttmrossi.it>

Figura 2.6, <http://www.ecoblog.it>

Parte Seconda

Capitolo 3

Figura 3.1, Archetti, G., op. cit.

Figura 3.2, <http://www.mygreenbuildings.org>

Figure 3.3, 3.4, Giuseppe Camillo Santangelo

Figura 3.5, Andrea Donetti

Figura 3.6, Norma DIN 52212

Figure 3.7, 3.8, <http://www.enea.it>

Capitolo 4

Figura 4.1, Andrea Maruffi

Figura 4.2, <http://www.latercom.net>

Figura 4.3, <http://www.paver.it>

Figura 4.4, <http://www.mattone.it>

Figura 4.5, <http://www.alveolater.com>

Figura 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, Baldinazzo, M., [...], op. cit.

Figura 4.10, da Cascella, P., op. cit., p. 32.

Figure 4.11, 4.12, da Cascella, P., op. cit., p. 33.

Figura 4.13, da Tucci, F., op. cit., p. 144.

Figura 4.14, da Tucci, F., op. cit., p. 145.

Figura 4.15, da Tucci, F., op. cit., p. 153.

Figura 4.16, <http://cses.anu.edu.au>

Figura 4.17, <http://www.finstral.com>

Figura 4.18, 4.19, 4.20, <http://www.internorm.com>

Parte Terza

Figure A.1, A.2, A.3, A.4, A.5, <http://www.legambiente.it>

Capitolo 5

Figure 5.1, 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.14,

<http://www.termografiainfrarosso-mg.it>

Figura 5.3, 5.20, 5.21, 5.22, <http://www.celenit.it>

Figure 5.12, 5.13, <http://www.energysavergroup.it>

Figure 5.15, 5.16, <http://www.pontarolo.com>

Figura 5.17, <http://www.schoeck.it>

Figure 5.18, 5.19, Giuseppe Camillo Santangelo, rielaborazioni

Capitolo 6

Figure 6.1, 6.2, <http://www.coverd.it>

Figura 6.3, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 Giuseppe Camillo Santangelo

Figura 6.4, Andrea Ferro

Figura 6.5, <http://www.infobuildenergia.it>

Figure 6.10, 6.11, <http://www.schoeck.it>