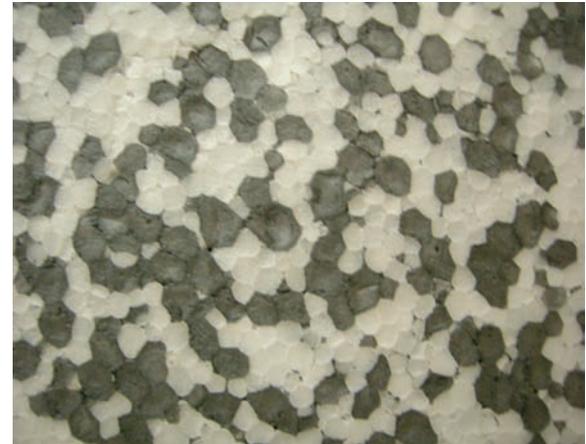


In questa colonna dall'alto:
 Facciata medioevale con pareti perimetrali di elevato spessore che garantiscono le funzioni strutturali di riparo dall'acqua e di protezione dall'intemperie.
 Parete antica in mattoni pieni per sfruttare le proprietà di isolamento e inerzia termica
 Parete in pietra sbazzata di elevato spessore per aumentare l'isolamento termico.

Nella colonna centrale dall'alto:
 Isolamento di mattoni forati in lana di roccia.
 Pareti in mattoni forati con isolamento interno.
 Isolante realizzato con Vacuum Insulating Panels- VIP.
 Sistema a cappotto o ETICS, acronimo di External Thermal Insulation Composite System (sistema composito di isolamento termico esterno).

Nella colonna a destra dall'alto:
 Isolante realizzato con pannelli di aerogel.
 Isolante in argilla espansa.
 Isolante in materiale polimerico.
 Muratura a cassa vuota, formata da due paramenti murari più o meno distanziati, tra i quali viene a crearsi un'intercapedine d'aria.



GLI EDIFICI STORICI NEL FUTURO

Innovazione dei materiali per l'efficienza energetica dell'edilizia storica

di **Elena Lucchi**

L'audit energetico è il primo passo utile per verificare l'incidenza percentuale delle dispersioni termiche legate ai singoli componenti edilizi e impiantistici, poiché il calcolo è legato alle condizioni climatiche della zona, alla geometria dell'edificio, all'orientamento dei singoli componenti, alle modalità d'uso. In linea di massima, la logica di intervento deve partire dalla minimizzazione delle perdite per trasmissione e per ventilazione attraverso l'involucro edilizio, per poi agire sugli impianti termici ed elettrici e sull'inserimento di fonti rinnovabili.

Il progetto nasce da una visione globale delle diverse alternative, cercando di ottimizzare l'azione sui diversi sub-sistemi edilizi e impiantistici e sulle strategie di gestione. Un'attenzione particolare, va posta alla scelta degli interventi in funzione dell'intero ciclo di vita dell'edificio, valutando anche la compatibilità ambientale e i consumi energetici nelle diverse fasi. Criteri di scelta riguardano la "non invasività", la "reversibilità" e la "compatibilità" rispetto alle caratteristiche e alla valenza storica dell'immobile. "Non invasività" significa minimizzazione dell'impatto visivo, estetico e spaziale dell'intervento rispetto all'immobile storico; "reversibilità" indica la possibilità di ripristinare la situazione di partenza senza modificarne le caratteristiche estetiche, chimiche e fisiche e, infine, "compatibilità" implica la valutazione degli effetti fisici e chimici indotti dalle modifiche sulla materia storica. Infine, nella scelta degli interventi è utile programmare la manutenzione nel corso del tempo, sin dalla fase progettuale, andando a definire la tipologia, le tecniche, gli strumenti e la frequenza delle operazioni da attuare, ponendo attenzione alla facilità di controllo e alla sicurezza degli utenti. L'isolamento termico è ottenuto mediante l'applicazione di materiale isolante sulle superfici esterne o interstiziali delle pareti, al fine di ridurre le perdite di calore per trasmissione e di avere prestazioni omogenee. La tecnica non è sempre compatibile perché modifica l'immagine estetica e la consistenza materica delle facciate, risultando sostanzialmente irrever-

STRATEGIE PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Ridurre le perdite energetiche

Minimizzare le perdite per trasmissione e ventilazione attraverso l'involucro edilizio.

Razionalizzare i consumi energetici

Intervento su impianti termici, elettrici e sul possibile inserimento di rinnovabili.

Compatibilità ambientale

La strategia deve considerare le condizioni climatiche della zona, la geometria dell'edificio, l'orientamento dei singoli componenti, le modalità d'uso.

Ciclo di vita dell'edificio

Valutazioni energetiche, economiche, gestionali e ambientali nelle diverse fasi.

Non invasività

Minimizzazione dell'impatto estetico, visivo e spaziale dell'intervento rispetto all'immobile storico.

Reversibilità

Possibilità di ripristinare la situazione originaria.

Compatibilità storica

Valutazione degli effetti chimici e fisici indotti dall'intervento sulla materia storica.

Manutenzione

Definizione di tipologie, tecniche, strumenti e frequenza degli interventi da attuare per migliorare il controllo e la sicurezza degli utenti.

sibile e ad alto impatto estetico, materico e spaziale sulla conservazione delle finiture. In molti casi invece per garantire adeguati ancoraggi e resistenze, gli isolanti devono essere posati su supporti che soddisfano criteri di tenuta meccanica, complanarità, assenza di degrado e di umidità interstiziale o superficiale. L'isolamento dall'esterno in un edificio massivo, ad esempio in presenza di murature in laterizio pieno o in pietra, ottimizza la capacità termica areica, ovvero la proprietà di accumulo del calore proveniente dall'interno (specialmente se il coibente ha elevata capacità termica come per legno, sughero, fibre vegetali, ...). Il funzionamento è semplice: nella stagione invernale, il calore prodotto con l'accensione del riscaldamento viene assorbito lentamente dalle pareti perimetrali, dai tramezzi e dai solai interni. La presenza di un isolante esterno continuo scherma la dispersione del calore, trasferendone comunque una parte per conduzione nella parete esistente. Allo spegnimento dell'impianto, l'edificio si raffredda molto lentamente proprio grazie alle proprietà di accumulo termico del muro massivo. In estate, il rivestimento isolante viene irraggiato dal sole e, specialmente se do-

tato di elevata capacità termica (legata alle proprietà di alcuni materiali quali legno, sughero, fibre vegetali, ...), trattiene il calore al suo interno, rilasciandolo lentamente nella parete e nell'ambiente interno. In questo modo, l'onda termica viene attenuata e sfasata e si hanno i benefici di inerzia tipici di una

ISOLAMENTO TERMICO CHIAVE PER IL RECUPERO ENERGETICO

muratura massiva. Una strada più facilmente percorribile (ovviamente in assenza di decorazioni, finiture pregiate o intonaci in buono stato di conservazione), è legata all'applicazione di un rivestimento isolante interno. L'obiettivo energetico è sempre quello di riduzione delle perdite per trasmissione e dei ponti termici diffusi e di forma. Non è però possibile eliminare i ponti termici di materia e garantire l'omogeneità delle prestazioni termiche dell'intera facciata. La presenza di coibente interno scherma fin da subito il trasferimento di calore per conduzione nei diversi strati della parete, portando all'aumento delle temperature superficiali e dell'aria interna e mantenendo costante la temperatura media radiante, con conseguenti benefici per il benessere termico degli utenti. Contemporaneamente, l'isolamento interno porta al raffreddamento più rapido del locale per effetto dell'assenza di massa termica del lato più interno della parete: nel momento in cui si spegne il riscaldamento l'isolante non trattiene il calore per poi rilasciarlo lentamente come fa una muratura tradizionale. La discontinuità dell'isolamento, inoltre, crea dei punti freddi in cui si può avere condensa superficiale o rischi di muffa. I problemi non si risolvono nemmeno con la scelta dei materiali isolanti, in quanto i materiali non traspiranti (o quasi impermeabilizzanti come polistirene espanso o estruso, poliuretano, ...) veicolano la condensa all'interno delle solette, mentre quelli traspiranti (come lane minerali o fibre di legno) assorbono l'acqua, perdono le prestazioni energetiche nel tempo e imbibiscono la parete.

Materiali a capillarità attiva

Per ovviare ai problemi connessi con l'isolamento interno degli edifici storici, nel progetto europeo 3ENCULT "Efficient energy for European cultural heritage" è stato sviluppato un materiale isolante in poliuretano a capillarità attiva (iQ-Therm di Remmers) che garantisce ottime prestazioni di isolamento termico ($\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$) e di traspirabilità al vapore. In pratica è costituito da un pannello in poliuretano ad alta densità sul quale è realizzata una griglia di micro-fori che agisce come canale di diffusione e di trasporto dell'umidità. La scelta del poliuretano permette di ottenere elevate prestazioni energetiche con ridotti spessori. I micro-fori, invece, sono realizzati con il laser, a intervalli regolari, perpendicolari alla superficie dei pannelli e riempiti in fabbrica con uno speciale materiale minerale a capillarità attiva. I pannelli vengono accoppiati tra loro con una malta a base di calce NHL5 e incollati alla parete interna con un collante a base di argilla per mantenere elevate proprietà di traspirabilità e per garantire la totale reversibilità dell'isolamento. La finitura può essere realizzata con malta e intonaco a base di calce NHL5.

Aerogel

L'aerogel è stato utilizzato nella tecnologia spaziale ed ora trova applicazione come materiale isolante ad alte prestazioni per l'isolamento termico nelle costruzioni. Le elevate prestazioni hanno portato allo studio dell'applicabilità negli edifici storici, dove consente un miglioramento prestazionale con spessori ridotti. Nell'ambito del progetto di ricerca EFESUS "Energy Efficiency for EU Historic Districts Sustainability" è stato sviluppato un isolante a base di aerogel pensato appositamente per gli edifici storici (Spacefill di APG). Si tratta di un materiale composito costituito da fibra di poliestere, a cui sono aggrappate particelle di aerogel di natura silicea prodotte da materiale riciclato o di nuova produzione. La composizione permette di ottenere buone prestazioni termiche ($\lambda = 0,0255 \text{ W/mK}$ con densità di 70 kg/m^3), di permeabilità al vapore, igroscopicità e resistenza meccanica. Il materiale è pensato per essere insufflato all'interno di cavità e intercapedini di pareti storiche, dove garantisce la compatibilità chimico-fisica, il minimo intervento e la reversibilità. Il problema principale riguarda la produzione di polvere durante la fase di installazione, ma approfondite ricerche hanno dimostrato che non produce particolari problemi per la salute. È stato sviluppato anche uno speciale intonaco termoisolante con aerogel (Fixit 222) dotato di elevate prestazioni energetiche ($\lambda_{10} = 0,0261 \text{ W/mK}$ e $\lambda_D = 0,028 \text{ W/mK}$). Il materiale è particolarmente indicato per gli edifici storici perché la formulazione minerale a base di calce e l'alta permeabilità al vapore, oltre ad essere compatibile tecnicamente ed esteticamente con gli intonaci di tipo tradizionale, permettono anche di ridurre la formazione di muffe superficiali e interstiziali. Infine, è in commercio anche un pannello rigido in Aerowool, un nuovo materiale costituito da una matrice in lana di roccia combinata con aerogel, che viene poi rivestito su un lato da una lastra di gessofibra e con interposizione di un elemento di controllo del vapore. Negli edifici storici, può essere applicato come isolamento interno per ottimizzare l'efficienza energetica con spessori ridotti ($\lambda_D = 0,019 \text{ W/mK}$; Sd -spessore d'aria equivalente = circa 3), alta traspirabilità e ridotta invasività estetica e materica. La presenza della

lastra in gessofibra assicura un'elevata resistenza meccanica e agli urti mentre l'elemento di controllo al vapore regola l'eventuale formazione di condensa interstiziale.

Isolanti a base di calce

Un sistema di isolamento ampiamente utilizzato negli edifici storici riguarda l'impiego di intonaci termici a sostituzione degli esistenti, strategia utilizzabile quando questi ultimi sono irreversibilmente danneggiati, realizzati con materiali nocivi o irrecuperabili. I prodotti generalmente sono costituiti da intonaco premiscelato con elevato potere termoisolante a base di leganti idraulici predosati e materiale isolante a granulometria costante. Per mantenere le medesime prestazioni traspiranti della parete originaria ed evitare problemi di condensa, l'intonaco deve essere realizzato con materiali naturali, come calce idraulica, caolino, aggregati selezionati e agenti stabilizzanti. I materiali isolanti, invece, possono essere di tipo sintetico di origine organica (perle di polistirene) o inorganica (vetro espanso, fibra di vetro) oppure naturale sempre di origine organica (sughero) o inorganica (pomice, vermiculite, perlite espansa). Nel primo caso, l'intervento si caratterizza per le elevate proprietà di resistenza termica e traspirabilità al vapore, ma non di inerzia termica. In tutti gli altri casi, invece, la scelta di prodotti con alta capacità termica garantisce anche buone prestazioni di sfasamento e di attenuazione del calore. Nel progetto di ricerca EFFESUS è stata sviluppata una malta a base di calce NHL5 con l'aggiunta dell'80% di granuli di EPS specifica per edifici storici (Isocal di Bofimex). La scelta di questo materiale è dovuta alle buone caratteristiche energetiche e, contemporaneamente, alla ridotta invasività estetica e alla reversibilità, che ne permette la rimozione come una comune malta. L'EPS è stato selezionato dopo avere provato le prestazioni di resistenza meccanica e di efficienza energetica di diversi materiali, tra cui l'aerogel che è risultato dotato di una resistenza meccanica troppo bassa.

Malta di calce con grafene

Il grafene è un materiale bidimensionale, costituito da uno strato monoatomico di atomi di carbonio legati tra loro per formare un reticolo esagonale che si configura come una forma di carbonio molto sottile. È dotato di straordinarie proprietà di resistenza meccanica, flessibilità (grazie all'elevato modulo elastico), stabilità termica, conducibilità elettrica, trasparenza, ridotta trasmissione termica. Le prime applicazioni hanno riguardato l'utilizzo in elettronica, in virtù dell'elevata mobilità dei portatori di carica e del basso rumore. Più recentemente è stata sviluppata anche una malta di calce a base di grafene, perfettamente compatibile con le pareti storiche che, in aggiunta rispetto ai prodotti tradizionali, svolge anche funzioni di consolidamento strutturale ed efficienza energetica. È costituita da una miscela di grasselli di calce aerea, con inerti dotati di elevata qualità e composti da carbonato di calcio (purezza > 90%), rocce silicee e pigmenti inorganici. Il materiale composito è ottenuto da processi tradizionali di cottura in un antico forno a legna, proprio per mantenere invariate le proprietà e la qualità della malta di calce antica (analogamente a quanto si fa con i prodotti speciali per il restauro). Questo permette di avere un prodotto perfettamente compatibile dal punto di vista estetico e materico con la malta e gli intonaci a base di cal-

ce di tipo antico o tradizionale. Normalmente, infatti, si utilizza come primo strato di rivestimento, sul quale devono poi essere applicate due mani di finitura a base di calce super-fine.

Phase Change Materials

I Phase Change Materials (PCM) sono materiali composti da sali o paraffine che accumulano e rilasciano grandi quantità di calore a temperatura costante. In pratica, cambiano stato da solido a liquido in relazione alle sollecitazioni che provengono dall'ambiente esterno (ad alte temperature si liquefanno e assorbono calore, mentre a basse si solidificano e cedono calore all'ambiente). La composizione chimica dona elevate caratteristiche di conduttività e di sfasamento termico, permettendo di realizzare ottime prestazioni invernali ed estive con spessori molto ridotti. Sono adatti per il recupero di edifici esistenti dotati di ridotta inerzia termica, come pareti lignee e mura-ture in laterizio di spessori ridotti.

Reflective coating

I rivestimenti selettivi IR riflettono la radiazione infrarossa proveniente dal cielo, con l'intento di aumentare la riflessione del calore solare e di ridurre l'accumulo all'interno di pareti caratterizzate da una massa termica elevata. Normalmente, sono realizzati integrando nelle pitture tradizionali dei materiali ad alta riflettanza, generalmente di natura metallica. Le vernici attualmente in commercio, generalmente, non sono compatibili con gli edifici storici a causa della mancanza di reversibilità del coating. Sono state però sviluppate delle gamme cromatiche molto ampie, che comprendono anche tutte le tonalità usate nell'architettura tradizionale. Queste vernici, pertanto, potrebbero essere utilizzate quando gli intonaci antichi sono degradati, di scarso valore documentario o necessitano un ripristino totale.

Per ovviare ai problemi relativi alla reversibilità del materiale, nel progetto di ricerca EFFESUS è stato sviluppato un coating selettivo riflettente, trasparente e perfettamente reversibile grazie all'utilizzo di un apposito primer (Paraloid B72). Si tratta di un coating polimerico con l'aggiunta di materiali metallici di varia formulazione (ACCIONA). La trasparenza è stata realizzata per non modificare le caratteristiche estetiche dei materiali utilizzati faccia a vista nelle pareti antiche. Questo però comporta una riduzione delle proprietà rispetto ai coating di tonalità chiara già in commercio. Il prodotto attualmente è ancora in fase prototipale e su di esso sono state fatte diverse sperimentazioni e prove di laboratorio per testarne le proprietà ottiche, di durabilità e di resistenza alle diverse condizioni climatiche. EURAC sta facendo anche delle simulazioni termiche di tipo dinamico per verificare il comportamento del coating durante l'anno, con orientamenti e materiali diversi. In linea generale, si vede che il coating è più adatto in climi particolarmente caldi, con una elevata quantità di radiazione solare e con ridotte escursioni termiche tra giorno e notte. È più performante se applicato a sud, dove porta a un buon abbassamento della temperatura superficiale esterna (1-2 °C). Porta anche un abbassamento delle oscillazioni termiche in diversi nodi della parete, garantendo una migliore durabilità del materiale e della parete sottostante anche in presenza di oscillazioni termiche particolarmente elevate.

ISOLAMENTO TERMICO



MATERIALE ISOLANTE
CAPILLARITÀ ATTIVA.

Materiale isolante in poliuretano a capillarità attiva.



MALTA
A BASE DI CALCE
APPLICATA
IN OPERA
ALTAMENTE
ISOLANTE.

Intonaco premiscelato con elevato potere termoisolante a base di leganti idraulici predosati e materiale isolante a granulometria costante.

PRESTAZIONI:
ISOLAMENTO TERMICO
($\lambda = 0.0255 \text{ W/mK}$
CON DENSITÀ
DI 70 KG/m³),
PERMEABILITÀ
AL VAPORE,
IGROSCOPICITÀ
E RESISTENZA
MECCANICA

MATERIALI A
CAPILLARITÀ ATTIVA

PRESTAZIONI:
ISOLAMENTO
TERMICO
($\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$)
E TRASPIRABILITÀ
AL VAPORE

AEROGEL

Materiale composito costituito da fibra di poliestere con particelle di aerogel di natura silicea.

ISOLANTI A BASE
CALCE

PRESTAZIONI:
ISOLANTE
SINTETICO: ELEVATA
RESISTENZA
TERMICA E
TRASPIRABILITÀ AL
VAPORE, MA NON
INERZIA TERMICA
ISOLANTE
NATURALE: ANCHE
SFASAMENTO E
ATTENUAZIONE DEL
CALORE



INSUFLAGGIO
DI MATERIALE
ISOLANTE
POLIMERICO NELLA
CAVITÀ DI UNA
PARETE STORICA

TECNOLOGIE VERSO IL 2020



APPLICAZIONE
DELLA MALTA DI CALCE
A BASE DI GRAFENE.

Miscela di grasselli di calce aerea, con inerti dotati di elevata qualità e composti da carbonato di calcio (purezza > 90%), rocce silicee e pigmenti inorganici.

**MALTA DI CALCE
CON GRAFENE**

**PRESTAZIONI:
CONSOLIDAMENTO
STRUTTURALE,
EFFICIENZA
ENERGETICA**

**PRESTAZIONI:
OTTIMA
CONDUTTIVITÀ
E SFASAMENTO
TERMICO
INVERNALE ED
ESTIVO ANCHE
CON SPESSORI
MOLTO RIDOTTI**

**PHASE CHANGE
MATERIALS**

Materiali composti da sali o paraffine che accumulano e rilasciano grandi quantità di calore a temperatura costante.

**PRESTAZIONI:
RIFLESSIONE
DEL CALORE,
BUON COMFORT
INTERNO**

**REFLECTIVE
COATING**

Coating selettivo riflettente, trasparente, polimerico con l'aggiunta di materiali metallici di varia formulazione.

COATING
TRASPARENTE E
SELETTIVO AGLI
INFRAROSSI.

