

PONTI TERMICI PUNTUALI

SOLARE TERMICO: una guida agli impianti e al loro dimensionamento

Il sistema di valutazione
ambientale LEED

Materiali a cambiamento
di fase in edilizia

Una casa passiva
in Lombardia

Il primo edificio
LEED Platinum in Italia

Una piscina
firmata Passivhaus

UMIDITÀ DA CONDENSAZIONE

Patologie, diagnosi e sistemi d'indagine

I problemi legati alla formazione di condensa e alla conseguente comparsa di macchie di umidità e di muffe sono tra le patologie più diffuse negli edifici e causa di problemi igienico-sanitari e di discomfort. Problemi che possono verificarsi anche in edifici a basso consumo energetico, se non adeguatamente progettati.

La crescente attenzione alle tematiche del risparmio energetico stanno portando alla realizzazione di edifici che consumano sempre meno energia, ma che a volte trascurano gli aspetti igrometrici. Infatti, non sempre si valuta che la presenza dei ponti termici in un edificio, oltre a determinare notevoli dispersioni di calore, può diventare anche causa della diminuzione del comfort abitativo e della loro salubrità e igiene¹. Paradossalmente proprio gli edifici a basso consumo energetico, se non adeguatamente progettati, possono presentare problemi di umidità da condensazione più rilevanti rispetto a quelli costruiti qualche decennio fa.

Di fatto, l'effetto dei ponti termici aumenta proporzionalmente alla qualità energetica dell'involucro: se un edificio ha un involucro ben isolato e a tenuta con una dispersione termica globale abbastanza bassa, evidentemente la parte di energia dispersa attraverso i ponti termici assumerà un'importanza maggiore rispetto al caso di un edificio con un involucro scarsamente isolato, che ha quindi dispersioni molto elevate.

Questo effetto "percentuale" delle dispersioni dei ponti termici

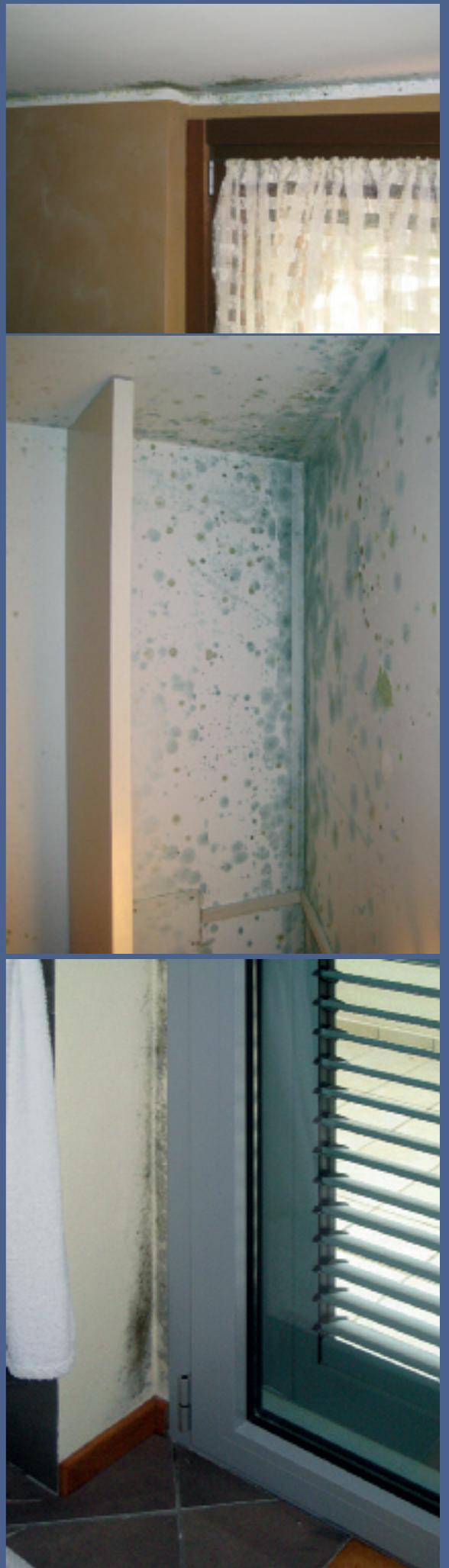
nell'ambito del bilancio energetico di un edificio è poi notevolmente amplificato e reso "patologico" dalla presenza di veri e propri errori progettuali nella definizione delle caratteristiche termiche delle diverse parti dell'involucro edilizio.

Non è raro imbattersi in progettazioni e realizzazioni che, a fronte di soluzioni a elevato isolamento termico per la parete corrente, presentano su travi e pilastri una semplice tavella in laterizio o un esiguo strato di materiale isolante. In questi casi è evidente che il problema delle dispersioni termiche è associato all'abbassamento di temperatura in quei punti e alla formazione di condense (vedi foto pagina accanto).

Infatti, negli ultimi decenni, i problemi legati alla formazione di condensa e alla conseguente comparsa di macchie di umidità e di muffe sulle pareti degli ambienti abitati sono tra le patologie più diffuse nell'ambito delle costruzioni. Le cause che alimentano queste problematiche sono molteplici e possono, in certi casi, combinarsi tra loro rendendo difficile l'individuazione della natura precisa del fenomeno.

Il fenomeno della condensazione superficiale si presenta negli

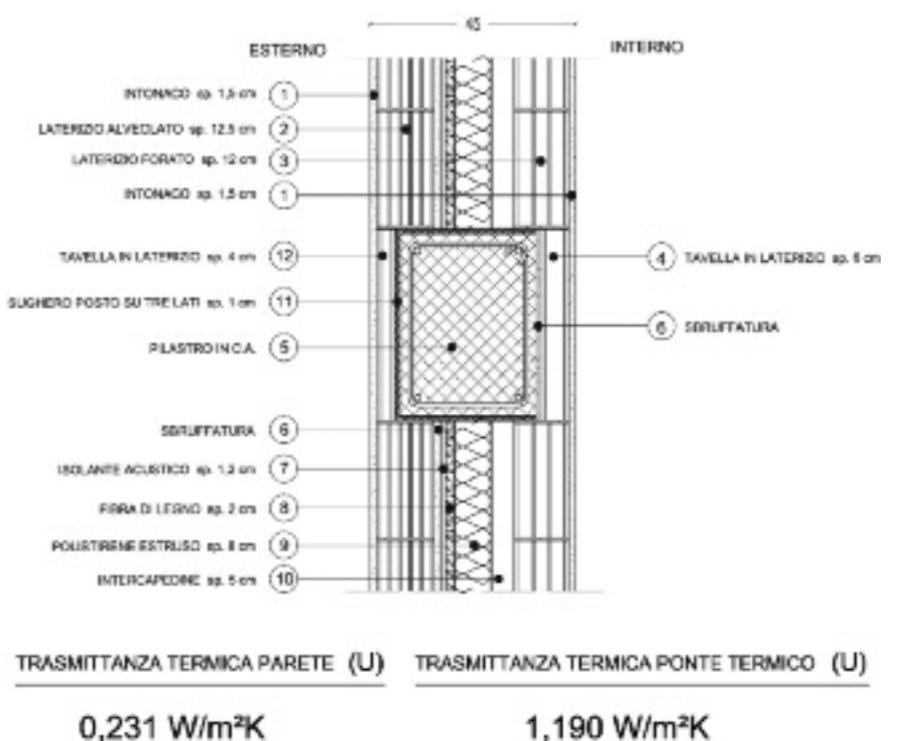
A lato, muffle in corrispondenza dei ponti termici della struttura portante in c.a. e dell'attacco dei serramenti.



ambienti le cui pareti raggiungono, sulla loro superficie interna, temperature inferiori alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente, causando il depositarsi, sulla superficie delle pareti stesse, della quantità di acqua che non può essere contenuta nell'aria sotto forma di vapore. Tale fenomeno è strettamente connesso con la temperatura alla quale si trova la faccia interna della parete e quindi dipende, oltre che dalla temperatura e dall'umidità relativa dell'aria ambiente, anche dal grado di isolamento della parete.

Per questo sono particolarmente insidiosi i ponti termici, cioè le zone della costruzione dotate di minor resistenza termica rispetto alle zone circostanti; in corrispondenza di essi, infatti, la temperatura superficiale interna è più bassa e si ha quindi maggiore probabilità di formazione di condensa.

Inoltre, bisogna considerare che la sola verifica dell'assenza di condensa superficiale non esaurisce l'esame termoigrometrico che è necessario compiere su una parete; in alcuni casi la condensa si forma all'interno della parete, anziché sulla sua superficie, provocando, oltre agli inconvenienti di carattere igienico-ambientale, anche una sensibile diminuzione della resistenza termica della parete, in quanto il contenuto di umidità



Sotto, dall'alto: diagramma psicometrico: il valore della temperatura di rugiada a 20 °C con umidità del 65% è pari a 13,2 °C; grafico dei valori di temperatura, umidità e temperatura di rugiada rilevati con un termoigrometro all'interno di un appartamento con problemi di condensa superficiale e muffe nell'arco temporale di un mese; schema delle diverse modalità per la valutazione della trasmittanza termica di una parete.

incrementa notevolmente la conducibilità termica dei materiali da costruzione.

È importante sottolineare che la legislazione attualmente in vigore in materia energetica non esclude che in un edificio siano presenti ponti termici "non corretti"² e consente di ottenere i valori di trasmittanza prescritti con la media tra il valore della porzione di parete corrente e quella fittizia (in corrispondenza del ponte termico) ma, come previsto nell'allegato E del D.Lgs. 192/05, richiede al progettista – in sede di relazione – i provvedimenti e i calcoli per l'attenuazione dei ponti termici al fine di evitare la formazione di condensazioni superficiali³.

Essendo, quindi, le cause dell'umidità di condensazione derivanti sia dalle condizioni dell'ambiente interno (temperatura e umidità relativa) sia dalle caratteristiche di resistenza termica dell'involucro edilizio, i fattori che possono essere alla base di tali fenomeni sono essenzialmente due, come spiegato di seguito.

Innanzitutto, la **gestione dell'immobile**, cioè il regime con cui viene condotto l'alloggio, può influire sui fenomeni di degrado che possono verificarsi al suo interno. Il mantenimento di condizioni di umidità molto elevate (per eccessiva produzione o per scarsa ventilazione) o il brusco abbassamento della temperatura, dovuto ad esempio allo spegnimento dell'impianto nelle ore notturne, determinano condizioni favorevoli alla formazione di umidità da condensazione.

In secondo luogo, la **progettazione dell'involucro edilizio**: se le pareti nella sezione corrente non sono opportunamente isolate o se i ponti termici non sono adeguatamente corretti o attenuati si possono creare sulla faccia interna delle zone a temperatura bassa, dove è facile avvenga condensazione.

È importante sottolineare che spesso questi due fattori si concatenano, concorrendo al verificarsi della condensazione. Tuttavia determinare quale fattore risulti prevalente può dare un grande aiuto nella scelta della soluzione più corretta ed efficace per il problema.

Al fine di valutare la **corretta gestione dell'immobile** è opportuno effettuare un attento esame delle condizioni termo-igrometriche per misurare il livello medio dei valori di temperatura e umidità che caratterizzano il comportamento dell'utente nella gestione dell'impianto di riscaldamento e dei ricambi d'aria rispetto allo standard normativo e legislativo.

Non è consigliabile effettuare un'unica misurazione al momento

del sopralluogo poiché si tratterebbe di un unico dato, rilevato in un particolare momento e quindi non rappresentativo, ma è consigliabile posizionare, negli ambienti con maggiore presenza di umidità, dei termo-igrometri registratori. Si tratta di dispositivi che misurano a intervalli di tempo prefissati (ad esempio ogni 30 minuti) la temperatura e l'umidità relativa nell'ambiente, registrando i risultati di tutte le misure. Lasciati in opera per qualche settimana, consentono di ottenere un profilo completo dell'andamento dei valori di temperatura e umidità e di avere dei dati attendibili della gestione dell'alloggio. È anche possibile costruire dei grafici in modo da confrontare le condizioni rilevate con quelle previste dalle leggi e dalle norme⁴ (vedi diagramma pagina accanto, in alto).

Per valutare la **corretta esecuzione dell'involucro edilizio** è necessario verificare che temperatura interna delle pareti sia superiore alla temperatura di rugiada dell'aria ambiente:

$tpi > tR$.

Il valore della temperatura di rugiada tR è ricavabile dal diagramma psicometrico, note la temperatura dell'aria ambiente e la sua umidità relativa (vedi diagramma pagina accanto, al centro).

Il valore della temperatura superficiale tpi può essere determinato attraverso il metodo di calcolo previsto dalla norma UNI EN ISO 13788:2003⁵.

Tale norma fornisce le procedure di calcolo per determinare la temperatura superficiale interna degli elementi edili al di sotto della quale vi è la probabile formazione di muffe, in funzione dell'umidità interna dell'ambiente e della temperatura dell'aria interna, stabilita secondo l'uso che è stato previsto per l'edificio (uffici, magazzini, abitazioni etc.). Le condizioni climatiche esterne da utilizzare per il calcolo, stabilite dalla norma UNI 10349:1994⁶, sono relative alla zona in cui si trova l'edificio. La condensazione superficiale e la crescita di muffe, oltre che dalle condizioni climatiche interne ed esterne, sono condizionate da un altro parametro fondamentale: la "qualità termica" di ogni elemento dell'involucro edilizio, rappresentato mediante il fattore di temperatura sulla superficie interna $fRsi$.

Tanto maggiore è tale valore, tanto migliore è l'isolamento termico e quindi minore, a parità degli altri aspetti, il rischio di formazione di condensa e muffe.

Tale fattore, in corrispondenza dei ponti termici, assume valori inferiori e pertanto il problema va valutato specificatamente in tali punti.

La normativa definisce:

- $fRsi$ fattore di temperatura in corrispondenza della superficie interna: il rapporto tra la differenza tra la temperatura della superficie interna e dell'aria interna e la differenza tra la temperatura dell'aria interna e dell'aria esterna calcolata con una resistenza superficiale interna Rsi ;
- $fRsi,min$ fattore di temperatura di progetto in corrispondenza della superficie interna: il fattore di temperatura minimo accettabile in corrispondenza della superficie interna.

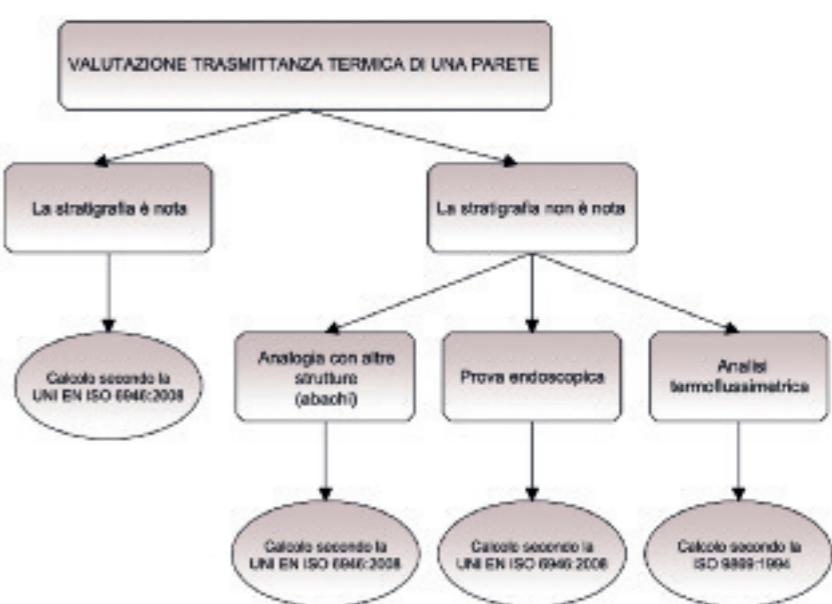
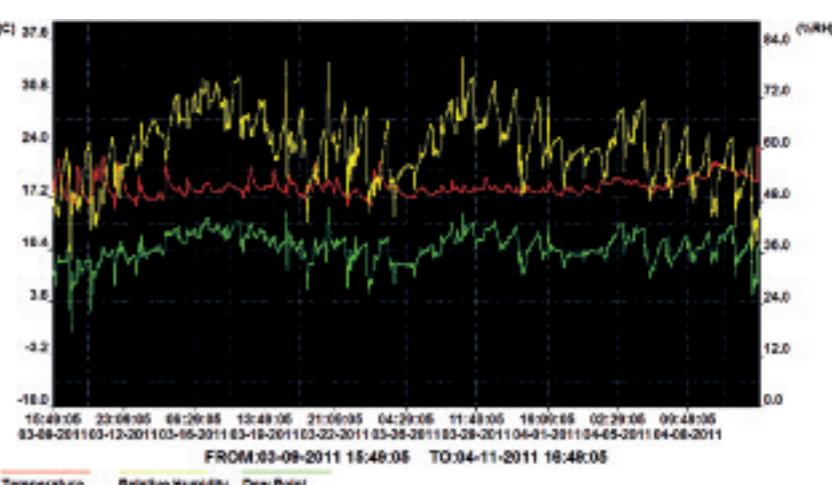
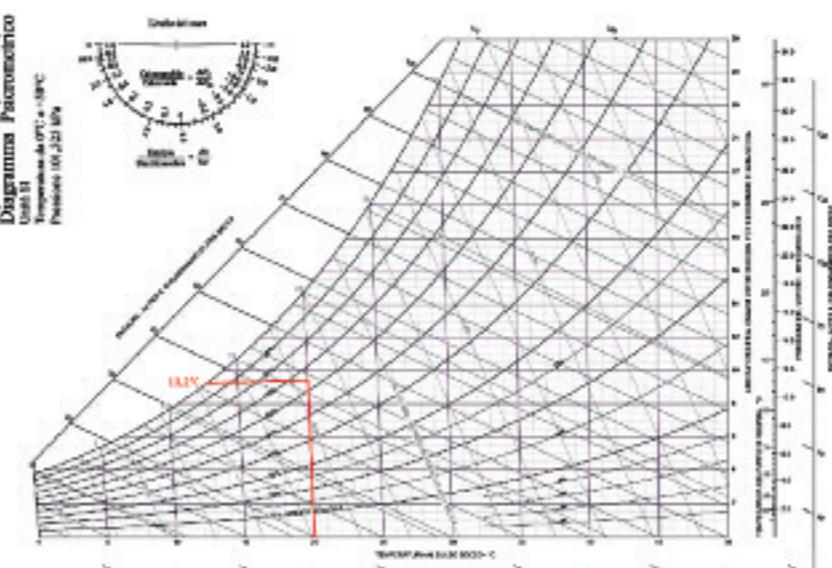
Il valore $fRsi,min$ è il valore minimo accettabile per evitare la formazione di muffe.

Per valutare il rischio di formazione di condensa superficiale, secondo la normativa UNI EN ISO 13788:2003 è necessario il calcolo dell'umidità relativa dell'aria interna e quindi il calcolo del valore accettabile dell'umidità volumica di saturazione (o della pressione del vapore di saturazione sulla superficie) sulla base dell'umidità relativa superficiale che viene richiesta. Partendo da questo valore si determina la temperatura minima della superficie interna quindi la "qualità termica" richiesta dall'involucro edilizio⁷ ($fRsi$ per una data temperatura interna). Per la determinazione del $fRsi$ con il metodo previsto dalla UNI EN ISO 13788:2003 è necessario conoscere la resistenza termica della parte di involucro in esame (sezione corrente o in corrispondenza di un ponte termico).

Pertanto, nella diagnosi energetica degli edifici una delle problematiche fondamentali da risolvere è la determinazione del valore della resistenza e della trasmittanza termica dell'involucro. Infatti, quando si interviene su di un edificio esistente, spesso non si conoscono le caratteristiche termofisiche dei materiali che compongono solai e pareti e anche la relazione dei calcoli termici non sempre si riesce a reperire (vedi figura in basso a destra).

In questi casi l'analisi strumentale si rende indispensabile e può prevedere l'utilizzo di metodi di tipo non distruttivo o semi-distruttivo. In particolare, nei casi in cui è possibile eseguire dei fori di piccole dimensioni, si può realizzare un'indagine endoscopica che, grazie all'utilizzo di uno strumento di ridotte dimensioni, composto da un sistema ottico e da una sorgente luminosa, permette di individuare la stratigrafia dei materiali con cui è stato realizzato l'elemento e, quindi, di poterne calcolare la resistenza, la conduttanza e la trasmittanza termica. Tuttavia, con un'endoscopia non è possibile conoscere con certezza le caratteristiche del materiale con riferimento a densità specifica e contenuto di acqua.

Per questa ragione, e quando non è possibile realizzare interventi di tipo semi-distruttivo, si può ricorrere a un'indagine termoflussimetrica che permette di calcolare la trasmittanza in opera con delle campagne di misurazione realizzate con una piastra termicamente resistente e dei sensori di temperatura. Evidentemente, le due indagini, in un lavoro di diagnosi molto



accurato, si possono abbinare per approfondire la conoscenza delle caratteristiche costruttive degli elementi dell'involucro che si stanno analizzando.

In questo modo si ottengono risultati che hanno una buona corrispondenza con i valori reali: diverse esperienze hanno evidenziato che generalmente i valori di trasmittanza misurata sono sempre superiori a quelli della trasmittanza calcolata sino a raggiungere incrementi del 20%. Le ragioni alla base di questa differenza sono legate a:

- posa in opera non conforme al progetto;
- posa in opera eseguita non a regola d'arte;
- degrado delle prestazioni isolanti dei materiali nel corso del tempo;
- condizioni ambientali diverse da quelle di progetto (es. umidità negli strati isolanti).

Note

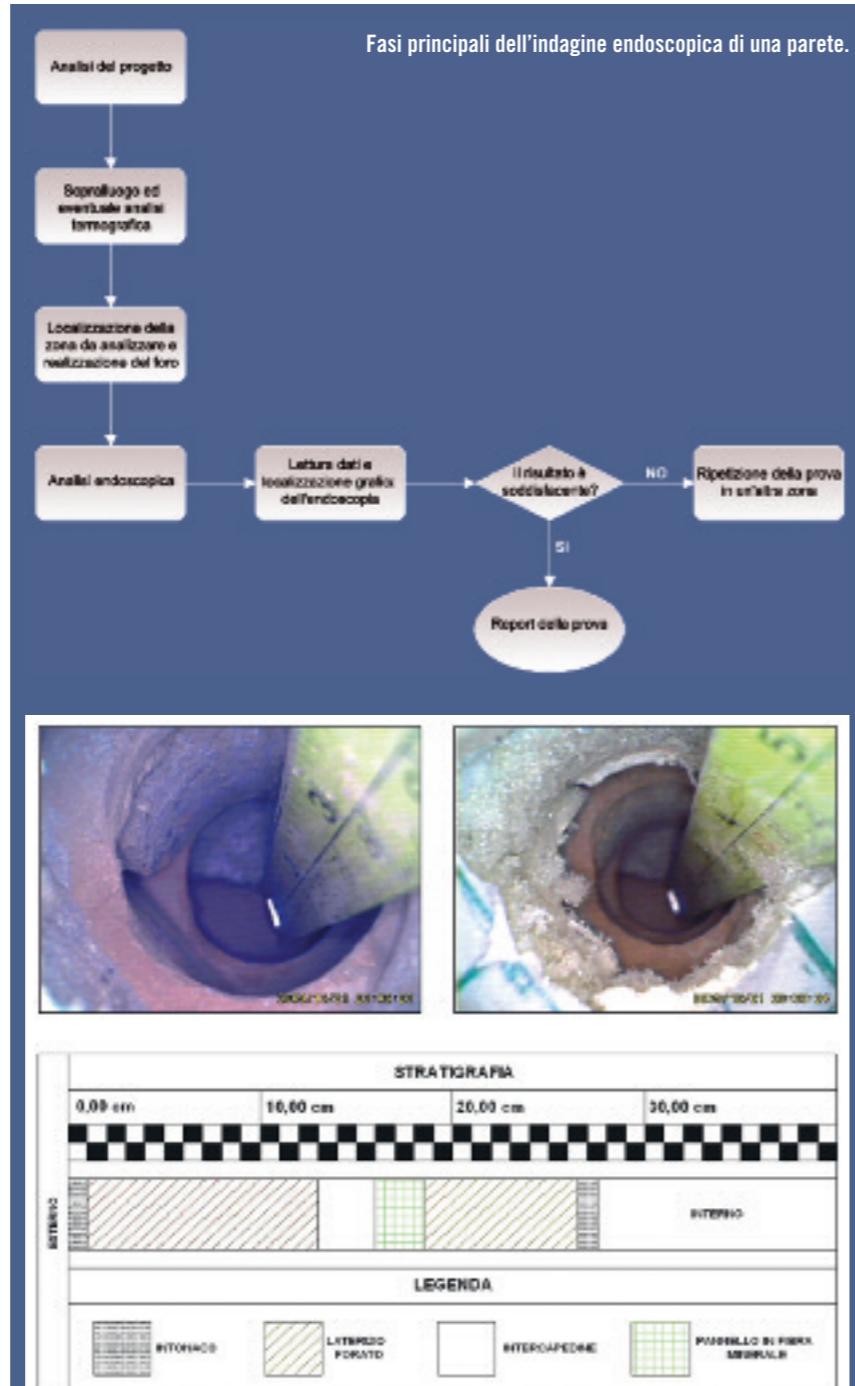
1 - Le muffe sono un tipo di funghi pluricellulari che solitamente si riproducono per mezzo di spore che si disperdoni nell'aria. Le condizioni di sviluppo delle muffe sono determinate dall'umidità dell'ambiente e dalla temperatura. La temperatura ottimale per la loro crescita è tra i 18 e i 32 °C (ma si possono manifestare già a 10 °C) e l'umidità relativa tra il 70 e il 90%. I funghi liberano micotossine, sostanze che provocano irritazione a occhi, naso, faringe e sono causa frequente di cefalea, astenia, tosse secca, prurito, asma e altre acute difficoltà nella respirazione; inoltre producono sostanze volatili responsabili del caratteristico odore di muffa, capaci di ricoprire alcune superfici sotto forma di spugnosi miceli.

2 - Il D.Lgs 192/05 definisce i ponti termici (allegato A punto 20) come discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza degli innesti di elementi strutturali (es. solai e pareti verticali o tra pareti verticali). Il ponte termico si dice corretto (allegato A punto 21) quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera per più del 15% la trasmittanza termica della parete corrente.

3 - Il comma 17 dell'art. 4 del DPR 2 aprile 2009, n. 59 prevede che "Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, nel caso di nuova costruzione e ristrutturazione di edifici esistenti, previsti dal decreto legislativo all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), si procede alla verifica dell'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile, conformemente alla normativa tecnica vigente. Qualora non esista un sistema di controllo della umidità relativa interna, per i calcoli necessari, questa verrà assunta pari al 65 per cento alla temperatura interna di 20 °C".

4 - Per approfondimenti sul tema si consiglia la consultazione del testo R. Esposti, V. Raisa, *Igrotermia e ponti termici* (Vol. 4 della collana: *L'isolamento termico e acustico a cura dell'ANIT – Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico*) Seregno (MI) 2009.

5 - UNI EN ISO 13788:2003. "Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale. Metodo di calcolo". Tale norma sostituisce la UNI 10350:1999 UNI 10350:1999 "Componenti edili e strutture edili. Prestazioni igrotermiche. Stima della temperatura superficiale interna per evitare umidità critica superficiale e valutazione del rischio di condensazione interstiziale" (in vigore dal 31/12/1999 al 01/06/2003).



Fotografie realizzate durante un'indagine endoscopica con stratigrafia della parete indagata.



Videoendoscopio flessibile a fibre ottiche.

Indagine endoscopica

L'indagine endoscopica è una tecnica di tipo semi-distruttivo molto utile nella diagnostica edilizia perché consente di osservare e valutare le caratteristiche delle murature esistenti attraverso la realizzazione, trasversalmente alla parete, di un piccolo foro (da 8 a 15 mm) all'interno del quale viene inserito un endoscopio, che "legge" la stratigrafia della parete. L'affidabilità di questa tecnica di indagine è molto buona, per quanto riguarda la possibilità di esaminare direttamente lo stato di strutture e materiali. Tuttavia, essendo l'indagine ristretta alla zona circoscritta dalla superficie del foro, in una diagnosi energetica è sempre preferibile far precedere questa analisi da un'indagine termografica, con la quale è possibile valutare la parete complessivamente. In seguito con l'endoscopio vengono rilevati tipo e spessori degli elementi che la compongono. Una volta stabilita la stratigrafia, il calcolo di resistenza, conduttanza e trasmittanza termica viene eseguito ai sensi della UNI EN ISO 6946:2008 (vedi figura sopra a sinistra).

Questo metodo è meno accurato rispetto all'estrazione di un campione cilindrico con la tecnica del carotaggio, ma è poco invasivo ed è molto utile per decidere interventi migliorativi dell'involucro, soprattutto se associato a un'analisi termoflussimetrica.

Esistono 2 tipi di endoscopi, rigido o flessibile, con caratteristiche costruttive differenti e con diverse possibilità operative.

Endoscopio rigido o boroscopio

È costituito da un tubo rigido con abbinati prismi e lenti che consentono di trasferire l'immagine da un'estremità (obiettivo) all'altra del tubo (oculare). Questo strumento può essere prolungato e la massima lunghezza raggiungibile è legata al suo diametro poiché, naturalmente, il potere risolutivo dell'immagine all'oculare è fortemente condizionata dal livello

di illuminazione della stessa. L'illuminazione della zona ispezionata può essere prodotta dalla trasmissione della luce con fibre ottiche.

Endoscopio flessibile a fibre ottiche

È costituito da un fascio centrale di fibre ottiche coerenti a cui coassialmente è montato un altro fascio di fibre ottiche. In questo modo il fascio centrale trasporta l'immagine da un'estremità (obiettivo) all'altra (oculare). Le fibre che formano l'anello esterno sono invece utilizzate per illuminare la zona indagata. Queste due tipologie di base si sono recentemente evolute e utilizzano la tecnologia digitale che permette di scattare foto e registrare filmati (vedi figura sotto a sinistra).

In questo caso la sonda comprende due parti: un fascio di fibre ottiche per l'illuminazione e un sensore ottico che raccoglie i segnali luminosi e li trasmette via cavo al videoprocessore che li elabora in immagini che vengono ricostruite su video. Queste immagini possono essere registrate ed eventualmente elaborate elettronicamente con funzioni: zoom, fermo immagine, contrasto, comparazione simultanea di due immagini.

Nello schema della pagina accanto, in alto, è descritta la procedura operativa di un'analisi endoscopica.

6 - UNI 10349:1994 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici". Tale norma fornisce i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e la verifica sia degli edifici sia degli impianti tecnici per il riscaldamento e il raffrescamento.

7 - Come prescritto al punto 5.3 della normativa UNI EN 13788:2003, per effettuare la verifica progettuale della bontà dell'isolamento termico in assenza di un sistema di controllo dell'umidità relativa interna, definito il tipo di ambiente e fissato a $\varphi_{ps}=80\%$ il valore di umidità relativa massima accettabile in corrispondenza della superficie, per ogni mese dell'anno vengono eseguite le seguenti operazioni:

- definire la temperatura dell'aria esterna secondo la UNI 10349;
- definire l'umidità esterna secondo la UNI 10349;
- fissare la temperatura interna durante il periodo di riscaldamento a 20 °C come da normativa nazionale;
- calcolare l'umidità relativa interna come prescritto al punto 4.2.4 della normativa;
- dalla temperatura superficiale minima accettabile e dalle temperature interne ed esterne si ricava il fattore $f_{Rsi,min}$.

Come detto precedentemente, il mese peggiore sarà quello a cui corrisponderà

il valore maggiore di tutti gli $f_{Rsi,min}$ che sono stati calcolati mese per mese, denominato dalla UNI EN 13788 con $f_{Rsi,max}$. Il componente edilizio dovrà essere progettato in modo da avere un fattore f_{Rsi} sempre maggiore di $f_{Rsi,max}$.

8 - In regime termico stazionario la conduttanza, la resistenza e la trasmittanza termica possono essere ricavate sperimentalmente misurando i valori istantanei del flusso termico e delle temperature interne ed esterne della parete ma questa condizione, riproducibile facilmente in laboratorio, non si verifica per le pareti in opera. Infatti, in questo caso, le condizioni operative sono molto variabili e dipendono dalle condizioni climatiche locali, dalla gestione da parte degli utenti dell'edificio, dallo stato di conservazione dell'edificio e dagli eventuali interventi di ristrutturazione realizzati.

9 - Per minimizzare gli errori durante le misure è opportuno realizzare la prova in periodi con forti differenze di temperatura. Il periodo migliore per realizzare un'analisi termoflussimetrica è quello invernale.

Analisi termoflussimetrica

L'analisi termoflussimetrica è molto complessa e richiede esperienza e competenza da parte dei tecnici che la realizzano. Il riferimento normativo fondamentale per l'installazione dello strumento di misura, la realizzazione delle misure, l'analisi dei dati e la redazione del report dei dati per il settore edilizio è la ISO 9869:1994 *Thermal insulation. Building elements. In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance*.

La **strumentazione** necessaria per eseguire l'analisi termoflussimetrica si compone di:

- data-logger di programmazione dello strumento e raccolta dei dati rilevati;
- piastra termoflussimetrica per rilevare il flusso di calore;
- sensori per il rilievo della temperatura superficiale interna ed esterna (termocoppia differenziale);
- sensore di temperatura dell'aria.

La **piastra**, solitamente in materiale plastico rigido o flessibile, deve avere una specifica conduttività che va scelta in relazione al materiale su cui si effettua la prova e deve essere applicata realizzando un contatto uniforme per non introdurre resistenze supplementari. Il fissaggio si può realizzare con nastro adesivo di carta o utilizzando una pasta conduttriva sul lato di contatto.

I **sensori** per il rilievo della temperatura superficiale sono costituiti da termocoppe di materiali e sono posizionati all'interno e all'esterno della parete.

La norma non definisce una particolare configurazione della strumentazione perchè le esigenze variano in relazione al tipo di prova da realizzare (vedi figura pagina accanto, in alto). I valori che si possono misurare con un'analisi termoflussimetrica, considerando alcune semplificazioni necessarie in fase di elaborazione dei dati per considerare gli effetti transitori indotti dal regime termico variabile, che si verifica nella misura delle pareti in opera⁸, sono la resistenza termica R, la conduttanza termica C, la trasmittanza termica U e la resistenza termica totale Rt.

La **procedura** per realizzare un'analisi termoflussimetrica prevista dalla ISO 9869:1994 può essere applicata a componenti dell'involucro opaco composti da strati perpendicolari rispetto al flusso di calore con uno spessore inferiore alla dimensione laterale e caratterizzati da ridotte disomogeneità termiche nella zona di analisi. Pertanto, è importante far precedere la prova termoflussimetrica da un'indagine termografica che verifichi l'assenza di ponti termici e di altre disomogeneità (vedi schema pagina accanto, in basso).

La norma prevede le seguenti fasi principali.

1. Calibrazione del termoflussimetro e dei sensori di temperatura

La norma indica le procedure per controllare la calibrazione dello strumento in relazione a diversi aspetti (disomogeneità termica della parete, spessore e conduttività termica della piastra, effetti di bordo ecc.) e deve essere eseguita ogni due anni.

2. Installazione e posizionamento del sistema di misura

Il termoflussimetro deve essere posizionato a 1 metro circa dal pavimento a contatto diretto e ben in aderenza con la parete, in corrispondenza del lato interno a temperatura più stabile, evitando la vicinanza a zone eterogenee (ponti termici, prossimità a serramenti, parti impiantistiche). La parete deve trovarsi a due temperature diverse affinchè possa verificarsi un flusso di calore che renda possibile la misura delle prestazioni termofisiche del componente edilizio⁹.

3. Acquisizione dei dati

Il data-logger al quale sono collegate la piastra e le sonde permette di programmare i tempi dell'analisi e di immagazzinare i dati relativi al flusso termico e alle temperature superficiali della parete. La durata dell'analisi dipende dalla fluttuazione delle temperature interne ed esterne, dalle caratteristiche della parete (pesante, leggera, posizionamento dello strato isolante) e dal metodo che si intende utilizzare per l'elaborazione dei dati. In generale, la norma prevede una durata minima dell'analisi di 3 giorni, ma può arrivare anche a 7 giorni se si vogliono avere dei risultati particolarmente accurati.

4. Elaborazione dei dati: metodo delle medie progressive e metodo dinamico black-box

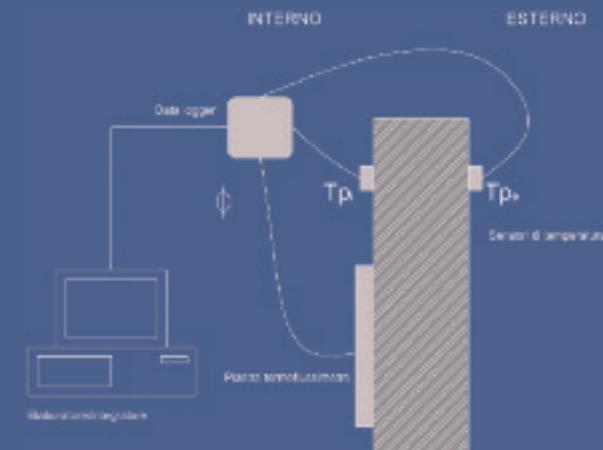
Le due metodologie di misura utilizzabili per l'elaborazione dei dati raccolti si differenziano sostanzialmente per il numero di misure necessarie. Il metodo delle medie progressive è quello più semplice e calcola la conduttanza o la trasmittanza considerando, a ogni istante, anziché i valori istantanei di flusso e temperatura, i valori medi di flusso e temperatura calcolati su tutti gli istanti precedenti. Il metodo ha il vantaggio di fornire risultati affidabili con un tempo di elaborazione molto breve ma richiede lunghi tempi di monitoraggio. I risultati ottenuti con questo metodo possono considerarsi validi e molto vicini al valore reale se:

- la durata del monitoraggio è superiore alle 72 ore;
- il contenuto di calore e la conduttanza si mantengono costanti durante la misura;
- il termoflussimetro non è esposto alla radiazione solare diretta;
- i valori ottenuti alla fine dell'analisi non si discostano per più del 5% dai valori ottenuti nelle 24 ore precedenti.

Il metodo dinamico "black-box" è un metodo più complesso che si può utilizzare con condizioni al contorno fortemente dinamiche (grandi variazioni di calore e temperature esterne). Si può applicare senza conoscere le caratteristiche fisiche della parete oggetto di analisi ma solo le serie temporali dei dati (temperatura interna ed esterna e flusso termico), da cui si risale, con un metodo statistico, alle caratteristiche fisiche della parete. Richiede tempi di monitoraggio più brevi rispetto al metodo delle medie progressive, ma trattandosi di un metodo di tipo numerico presenta maggiori rischi di errore e non è sempre attendibile.

A fini di una buona analisi termoflussimetrica sarebbe utile usare entrambi i metodi e confrontare i risultati.

Schema di posizionamento di un sistema termoflussimetrico per il calcolo della trasmittanza termica in opera.



In alto, termografia preliminare per individuare la zona più idonea alla posa del termoflussimetro; sopra a sinistra, piastra termoflussimetrica per la misurazione del flusso di calore e sensori di temperatura (termocoppia) per il rilievo della temperatura superficiale interna della parete. A destra, kit strumentazione per misura termoflussimetrica (Fonte: ing. A. Panzeri, ANIT).

