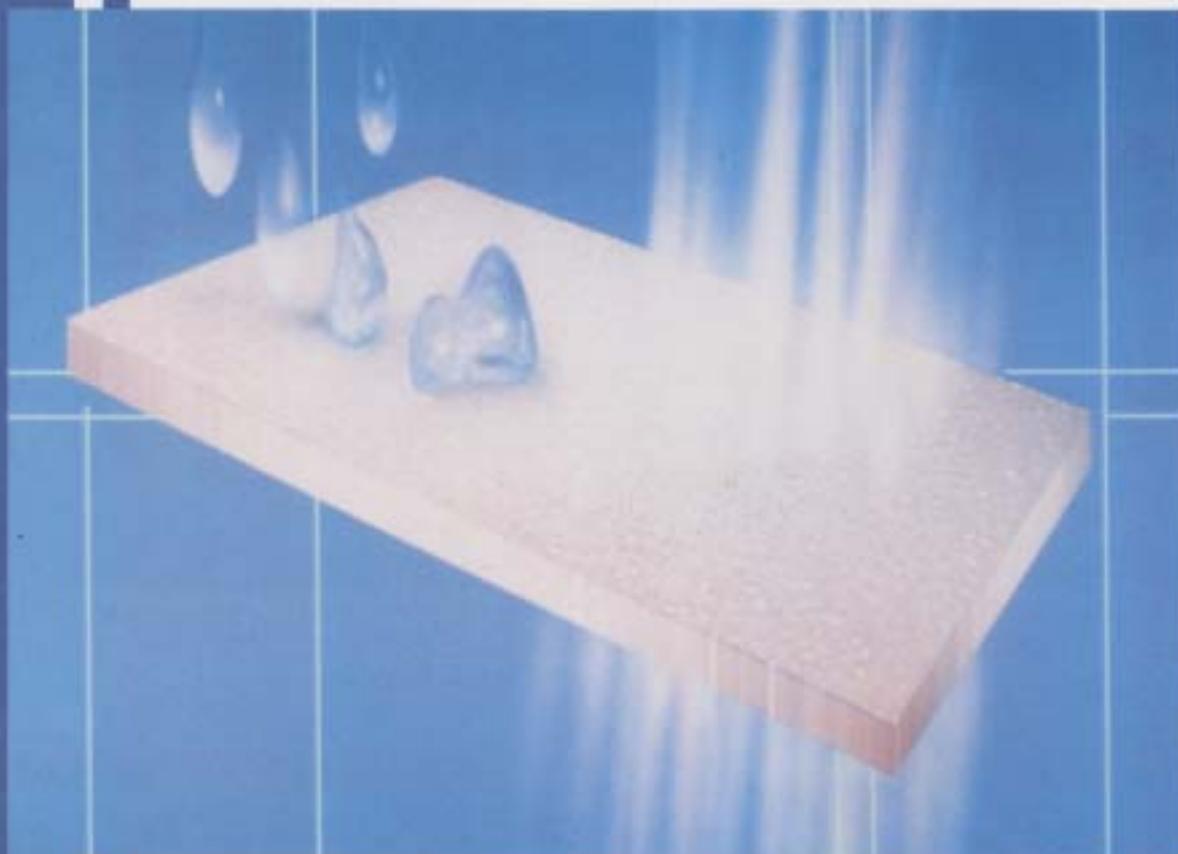


I LIBRI DI  
AIPE



# LE CONDENSE INTERNE E SUPERFICIALI:

COMPORAMENTO E PRESTAZIONI DEI MATERIALI ISOLANTI



BE-MA editrice

---

# **LE CONDENSE INTERNE E SUPERFICIALI:**

**Comportamento e prestazioni  
dei materiali isolanti**

---

Coordinamento del libro:

**Marco Piana**

BE-MA Editrice  
Via Teocrito, 50 - 20128 Milano  
Tel. 02/2552451 (10 linee r.a.)  
Fax 02/27000692

Grafica e impaginazione: Studio grafico Page- Novate Mil.se  
Vincenzo De Rosa, Clementina Pasina  
Fotolito: BCS - Fotoincisione di Bigliardi Mario  
Stampa e confezione: A.G. Bellavite - Missaglia (Lc)

© 1996 **BE-MA Editrice - Milano**  
BE-MA Editrice - Milano

Tutti i diritti sono riservati, anche di riproduzione parziale,  
a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

**ISBN 88-7143-181-2**

---

---

# SOMMARIO

<b>Introduzione</b> .....	<b>7</b>
<b>Prefazione</b> .....	<b>9</b>
<b>Le condense: i programmi disponibili per l'analisi delle strutture</b> Vincenzo ferro, Carla Lombardi .....	<b>17</b>
<b>Metodologie di verifica in opera della trasmittanza delle pareti</b> Gian Vincenzo Fracastoro .....	<b>31</b>
<b>Caratteristiche fisiche e termiche dell'isolante al variare delle condizioni di esercizio</b> Marco Piana .....	<b>45</b>
<b>Norme e regolamenti per la verifica della condensa superficiale ed interstiziale di componenti edilizi</b> Lorenzo Agnoletto, Onorio Saro .....	<b>61</b>

---

# INTRODUZIONE

**L**a condensa è la conseguenza del comportamento di un materiale che delimita due climi differenti. L'analisi del fenomeno è sicuramente affascinante per un termotecnico ma gli effetti sono preoccupanti per l'utente finale del sistema.

Condense ed edificio sono in ogni caso l'espressione più sistematica di errori di progettazione, errori di costruzione o scelta dei materiali.

Le nuove normative inoltre sono rivolte alla valutazione sia di condense superficiali sia di condense interne.

Se le prime permettono una risoluzione più immediata dell'indesiderato problema, le seconde sono di difficile determinazione e superamento.

I materiali, se sottoposti a condense interstiziali, modificano profondamente le loro prestazioni, è sufficiente ricordare gli aspetti di isolamento termico e gli aspetti meccanici.

L'approccio sistematico con nuovi metodi di verifica analitica e sperimentale permette di fornire un contributo positivo a progettisti e costruttori.

L'Associazione Italiana Polistirolo Espanso (AIPE) si è dimostrata parte attiva nel proporre il tema delle condense interne e superficiali, considerando ed affrontando il problema nel modo più generale possibile con il confronto dei materiali più utilizzati nella pratica edificatoria durante l'11° Convegno organizzato a Bologna durante la manifestazione SAIE 1995.

---

# PREFAZIONE

## LE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI ISOLANTI

I materiali isolanti vengono impiegati per la loro caratteristica principale: isolare.

Azione molto vasta e molteplice che in edilizia converge a due funzioni:

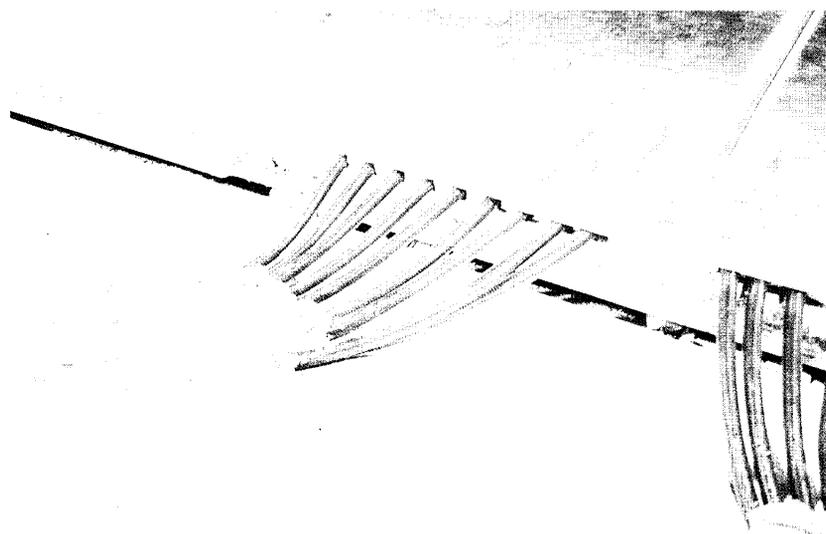
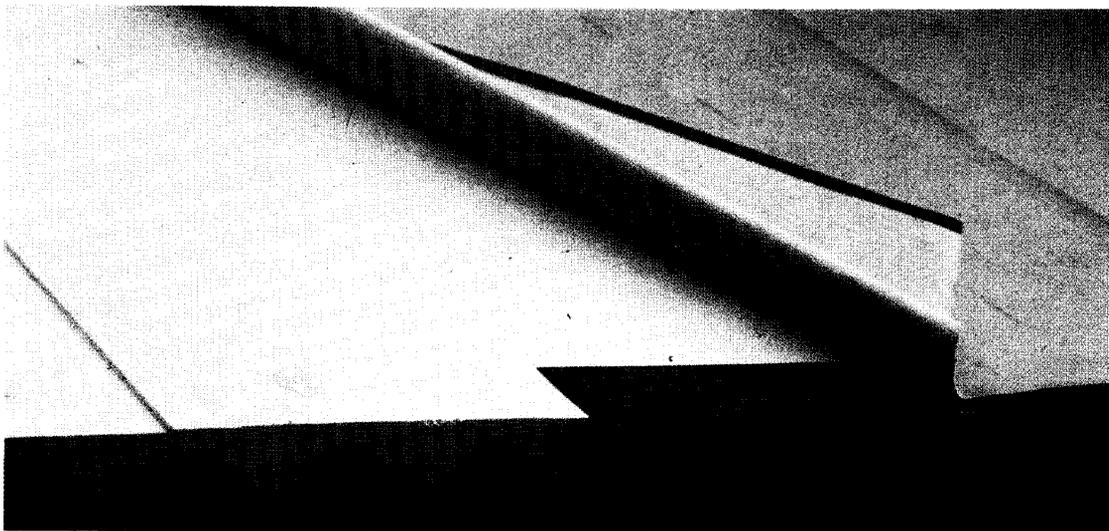
- isolare termicamente
- isolare acusticamente

intendendo con il termine "termica" tutta la materia inerente alla trasmissione del calore e del vapore e con il termine "acustica" tutta la materia inerente alla trasmissione del suono e delle vibrazioni.

I materiali isolanti in edilizia rappresentano l'elemento più qualificante della costruzione proprio per sottolineare che questa è stata progettata e realizzata per risparmiare energia oppure per non trasmettere i rumori da un piano all'altro.

Costruttori e progettisti ne hanno sperimentato la funzionalità in situazioni molto diversificate alcune in modo corretto ed altre in modo dubbioso o scorretto.





I risultati ottenuti dopo anni di utilizzo dei materiali isolanti sono estremamente interessanti da analizzare:

tutti i materiali isolanti sono praticamente utilizzati in tutte le applicazioni possibili, come affermare che le caratteristiche prestazionali di ciascuno non ne possa influenzare un utilizzo specifico o meglio corretto.

Ogni materiale, d'altro canto, presenta proprio perchè di "materiale" differente, differenti caratteristiche e quindi differenti prestazioni funzionali.

Un buon progettista deve essere in grado di confrontare le caratteristiche ed utilizzare materiali differenti nelle condizioni più appropriate.

Invece un po' per abitudine (ovvero costo), un po' per pigrizia mentale si notano sempre più progettisti ed imprese che utilizzano lo stesso prodotto "sempre" e con le stesse modalità.

Siamo certi che l'approfondimento e l'interesse a progredire non derivino da

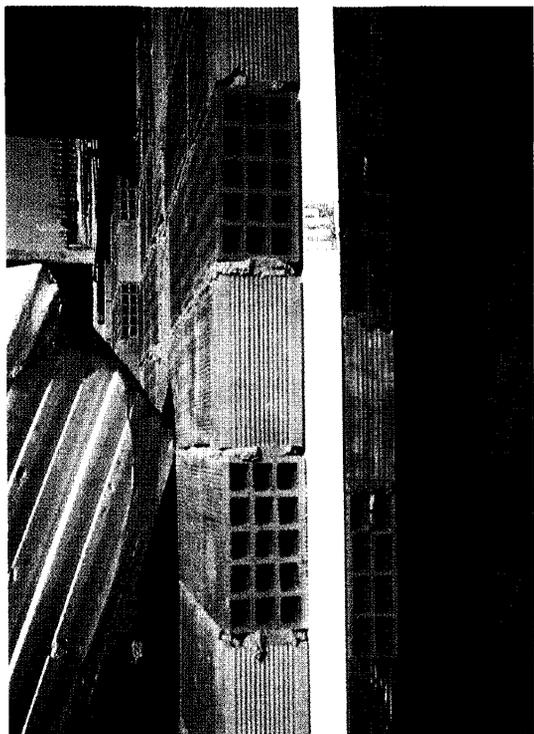
---

chi utilizza e purtroppo non dipendono neppure da chi costruisce il materiale, troppo legato ad interessi economici e commerciali.

A questa mancanza può sopperire un attore che opera sul mercato dell'informazione corretta e divulgativa: l'associazione.

E' un ruolo molto interessante, ed infatti in questi ultimi anni le associazioni stanno proponendo da un lato l'informazione ai progettisti dall'altro la divulgazione corretta delle caratteristiche dei materiali.

Molti operatori hanno percepito la proposta ed il cambiamento di rotta è palese.

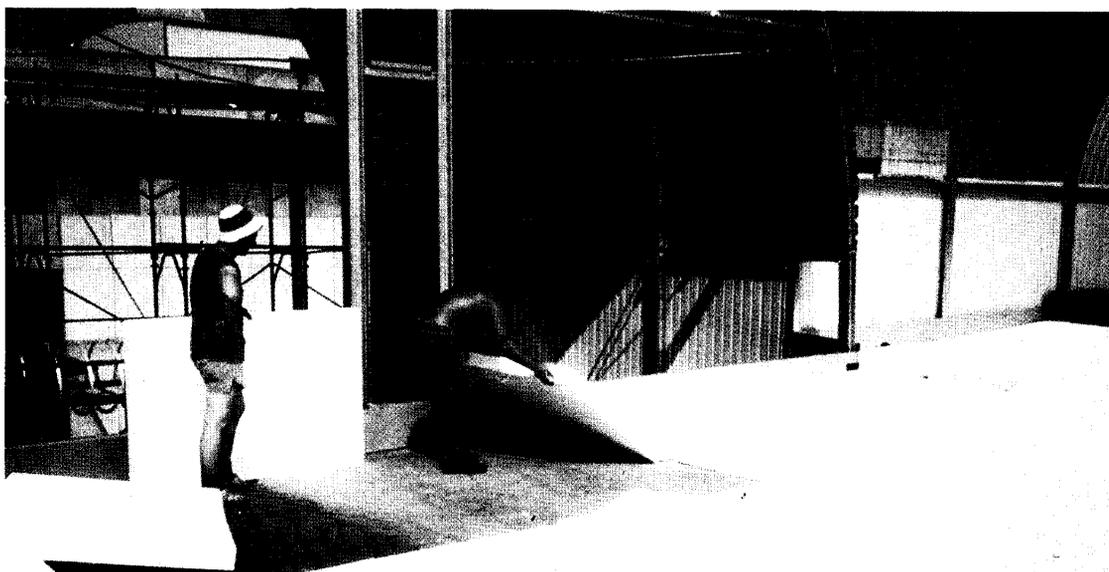
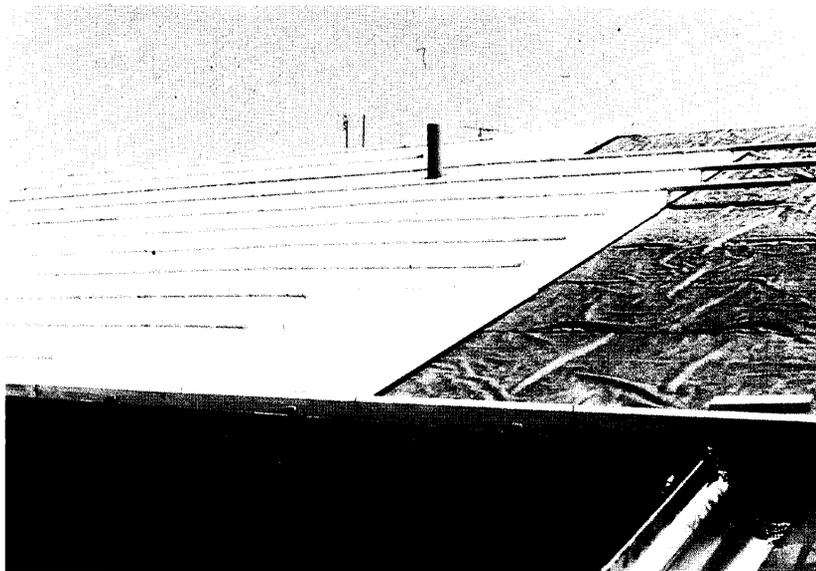


Ogni materiale presenta precise caratteristiche in funzione della condizione in cui opera. Al variare di queste ultime le prestazioni derivanti possono venire alterate così profondamente da risultare un "non isolante".

Inoltre il materiale viene fortemente influenzato dalle condizioni di esercizio a seconda dell'applicazione in cui sta operando.

Vengono così definiti gli elementi base per lo studio in esame:

- caratteristiche e prestazioni materiale
- applicazione
- condizioni di esercizio



---

A quanto sopra ricordato è doveroso aggiungere un quarto elemento:

■ comportamento nel tempo in condizioni ed applicazioni definite.

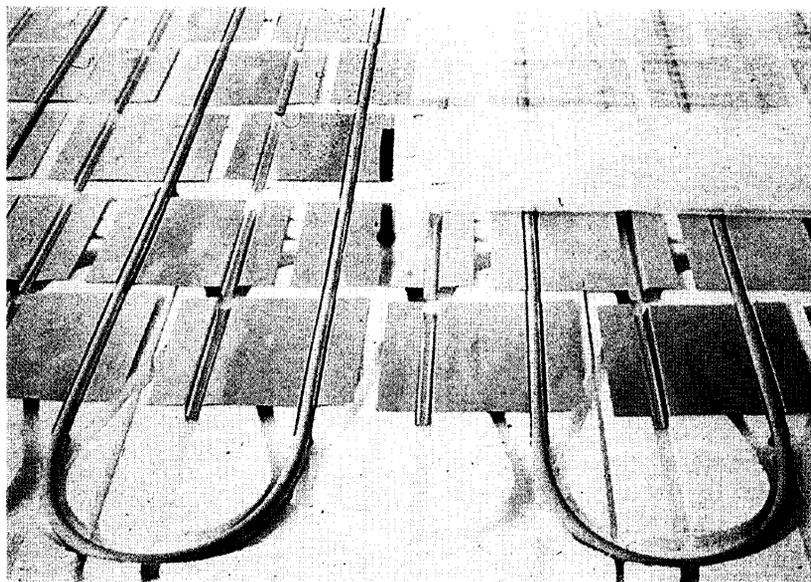
Questo rappresenta il tema di più difficile trattazione ed a cui pochi istituti di ricerca si sono interessati e quindi risultano pochissime informazioni.

D'altra parte la problematica della "durata" è notoriamente il tema più affascinante non solo dell'edilizia ma di ogni componente in generale.

Il comportamento termico dei materiali isolanti al modificarsi delle condizioni in cui si trovano ad operare varia notevolmente ed in particolar modo al contenuto di umidità dell'aria in cui svolgono la funzione di isolanti.

I dati relativi a questa caratteristica sono di difficile reperibilità in quanto le prove da effettuare sono complesse se non a volte impossibili.

I dati più attendibili vengono riportati dalla nuova norma europea inerente al comportamento termico di cui si riportano i valori più significativi riferiti ad un contenuto di umidità dell'aria del 10, 50 e 80 % al variare della densità e del materiale considerato.



DENSITA' Kg/mc	POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO	POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO	POLISTIRENE ESP. ESTRUSO SENZA CFC	POLIURETANO SENZA BARRIERA	POLIURETANO CON BARRIERA	LANA DI VETRO	LANA DI ROCCIA
10	0,047					0,046	
15	0,040						0,045
20			0,031			0,038	
25	0,035	0,032					
30				0,024	0,024		0,039
35						0,035	
40		0,028					
50	0,033			0,024	0,024		0,037
65		0,029	0,031				
100							0,037

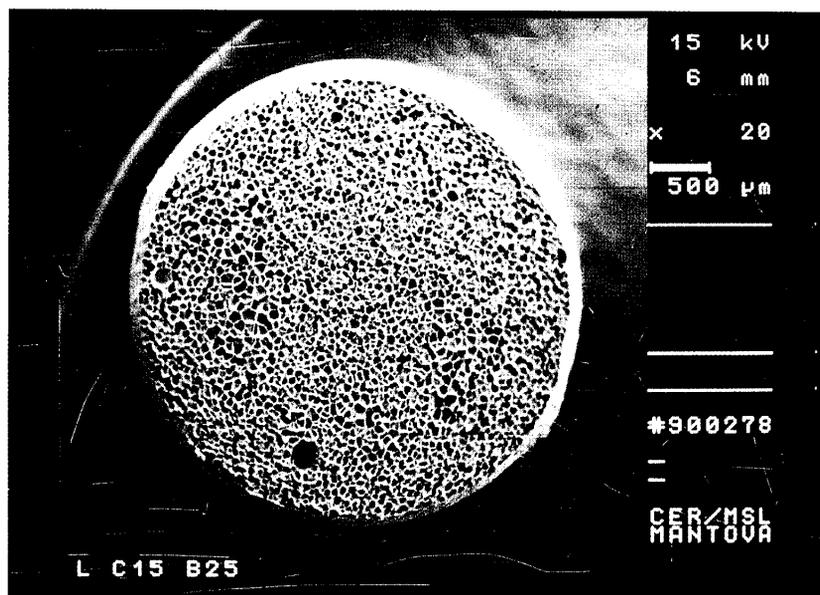
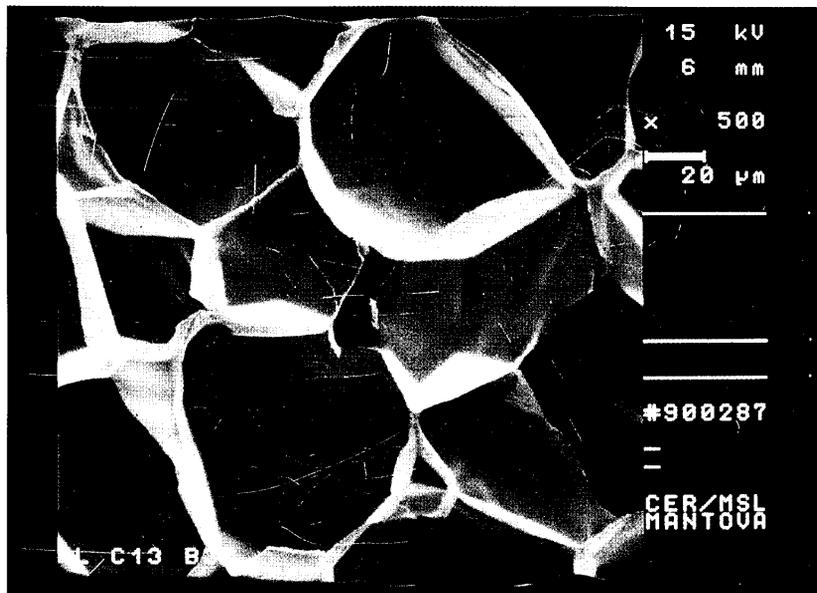
VALORI DI CONDUCIBILITA' TERMICA DEI MATERIALI ISOLANTI RIFERITI AD UN CONTENUTO DI UMIDITA' RELATIVA DELL'ARIA PARI AL 10 %.

DENSITA' Kg/mc	POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO	POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO	POLISTIRENE ESP. ESTRUSO SENZA CFC	POLIURETANO SENZA BARRIERA	POLIURETANO CON BARRIERA	LANA DI VETRO	LANA DI ROCCIA
10	0,050					0,047	
15	0,041						0,048
20			0,032			0,039	
25	0,035	0,037					
30				0,031	0,027		0,039
35						0,036	
40		0,032					
50	0,033			0,031	0,027		0,037
65		0,033	0,031				
100							0,037

VALORI DI CONDUCIBILITA' TERMICA DEI MATERIALI ISOLANTI RIFERITI AD UN CONTENUTO DI UMIDITA' RELATIVA DELL'ARIA PARI AL 50 %.

DENSITA' Kg/mc	POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO	POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO	POLISTIRENE ESP. ESTRUSO SENZA CFC	POLIURETANO SENZA BARRIERA	POLIURETANO CON BARRIERA	LANA DI VETRO	LANA DI ROCCIA
10	0,050					0,047	
15	0,041						0,048
20			0,032			0,039	
25	0,035	0,037					

*E' possibile constatare come il parametro più importante per l'isolante ovvero la conducibilità termica vari in modo sensibile al solo variare del contenuto di umidità relativa dell'aria. Sono in studio i materiali sopra riportati in diverse*



*Polistirene Espanso Sinterizzato visto al microscopio elettronico con due differenti ingrandimenti.*

# LE CONDENSE: I PROGRAMMI DISPONIBILI PER L'ANALISI DELLE STRUTTURE

A fronte della progressiva generalizzazione del problema della condensa interstiziale nelle pareti di involucro, in gran parte legata all'adozione di provvedimenti di risparmio energetico incidenti sulla capacità isolante di pareti esterne e sulla tenuta all'aria dei serramenti, diviene evidente la necessità di disporre di strumenti di controllo progettuale efficaci quali i programmi di calcolo per la verifica del comportamento termoigrometrico degli edifici.

Un breve excursus all'interno della famiglia di modelli HAMTIE (Heat, Air and Moisture Transfert through Insulated Envelope parts), impiegati nel calcolo dei flussi di umidità e di energia attraverso una successione di materiali, illustra sinteticamente le caratteristiche dei codici esistenti, dai più sofisticati ai più semplici fino ai più diffusi e commercializzati. Tra questi il programma MATCH è stato utilizzato per condurre un'analisi parametrica del comportamento di una parete prototipo i cui risultati estremamente specifici e puntuali, quindi difficilmente generalizzabili, sottolineano ancora una volta l'estremo valore dei suggerimenti offerti dal modello a supporto di una corretta progettazione.

## 1. Introduzione

## 2. Codici di calcolo disponibili

### 3. I modelli HAMTIE

- 3.1 La complessità della modellizzazione
- 3.2 I programmi basati sul modello di Glaser
- 3.3 I programmi più sofisticati
- 3.4 I programmi più diffusi

### 4. Analisi parametrica del comportamento di una parete

- 4.1 Parete prototipo
- 4.2 Climi esterni ed interni utilizzati
- 4.3 Risultati ottenuti

## 5. Conclusioni

## 6. Riferimenti bibliografici

## 1. INTRODUZIONE

La possibilità di condensazione interstiziale nelle pareti di involucro degli edifici è stata oggetto di studio da oltre 40 anni, soprattutto nei paesi con clima molto rigido e che utilizzano tipologie costruttive con struttura in legno. In presenza della condensazione, i segni di deterioramento di quelle strutture sono, dopo breve tempo, così evidenti e così gravi da richiedere la verifica a priori dell'assenza del fenomeno nelle particolari condizioni al contorno in cui si verrebbe a trovare la parete.

La condensazione interstiziale è diventata però un problema generalizzato da quando, allo scopo di diminuire i consumi di energia per il riscaldamento, è stata aumentata la resistenza termica di parete corrente ed è stata migliorata la

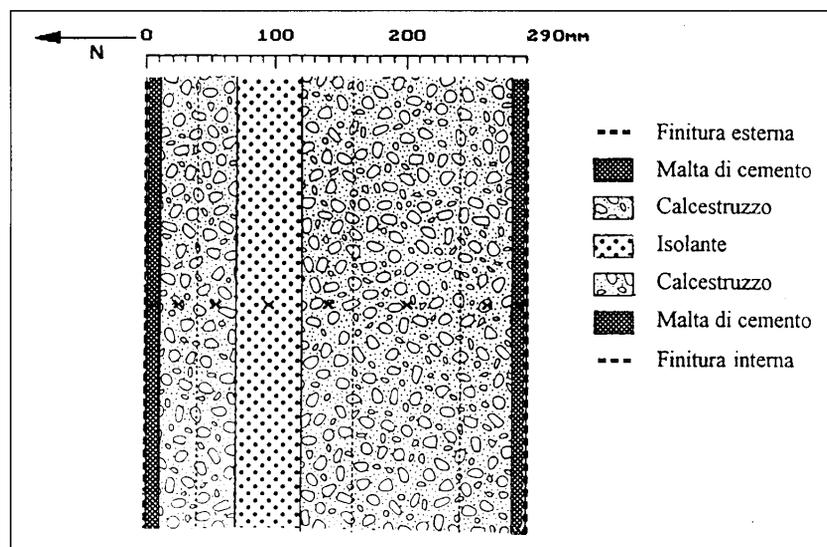


Fig. 1 - Parete prototipo: l'intercapedine è riempita alternativamente con polistirene espanso sinterizzato (EPS) o con lana di vetro (GW39); la finitura esterna può essere in pittura poliuretanica (PUP), pittura plastica (PLP), intonaco a calce (LR). Sulla figura è riportata una scala per la lettura degli spessori a partire dalla superficie esterna.

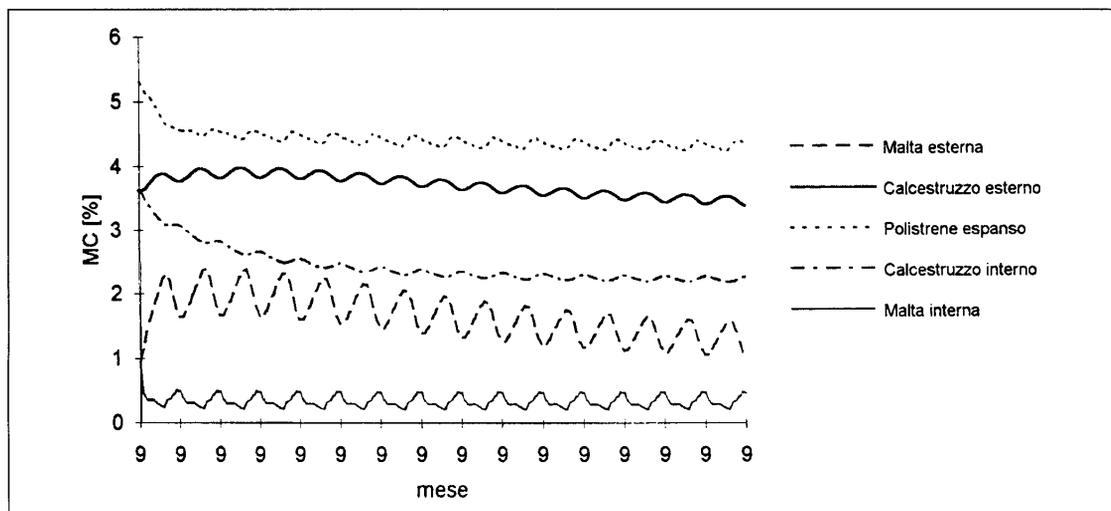


Fig. 2 - Andamento nell'arco di 15 anni di MC in % in peso entro i diversi strati della parete prototipo riempita con EPS e con finitura esterna in PUP. I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media; il numero 9 indica il mese di settembre di ogni anno.

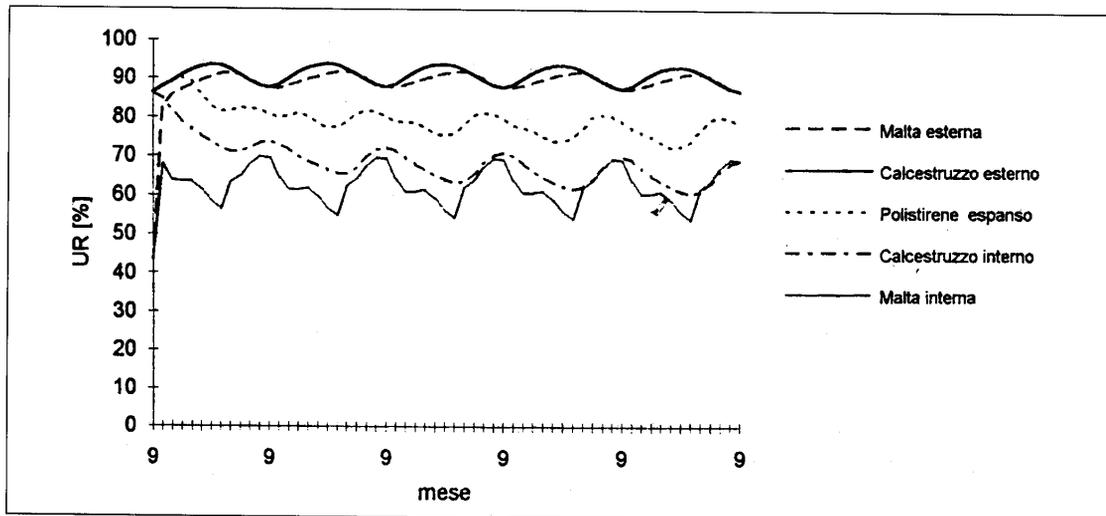


Fig. 3 - Andamento nell'arco di 5 anni di UR entro i diversi strati della parete prototipo riempita con EPS e con finitura esterna in PUP. I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media.

tenuta all'aria dei serramenti: l'aumento della prima provoca una forte caduta di temperatura attraverso lo strato di materiale isolante e di conseguenza un abbassamento del valore della pressione di saturazione sul lato freddo dell'isolante; il miglioramento della seconda diminuisce i ricambi d'aria con conseguente incremento dell'umidità relativa dell'aria interna, incremento dovuto alla produzione endogena. I due effetti concomitanti rendono più probabile il superamento della pressione di saturazione entro la parete con rischio di accumulo di acqua negli anni, qualora nei mesi caldi tutta l'acqua condensata non possa essere eliminata; essi provocano senza dubbio un ritardo nella asciugatura delle pareti dall'acqua da costruzione.

L'aumento della resistenza termica di parete corrente, quando non accompagnato da particolari accorgimenti nel collegamento tra la parete e gli elementi adiacenti, ha messo in evidenza che si possono creare zone attraverso le quali vi è una perdita aggiuntiva di energia termica accompagnata da un abbassamento della temperatura superficiale interna: la bassa temperatura e l'umidità relativa interna più elevata hanno dato luogo alla formazione di condense superficiali od anche solo alla crescita di muffe.

Ecco quindi la ragione per l'emanazione di una legge, che tuteli l'acquirente e l'utilizzatore dagli inconvenienti descritti mediante la richiesta al progettista di fornire i risultati di alcune semplici verifiche ed ecco il fiorire di codici di calcolo più o meno sofisticati scritti allo scopo di analizzare la dipendenza dei fenomeni indesiderati dai parametri da cui questi dipendono, ma soprattutto allo scopo di mettere a disposizione uno strumento di controllo progettuale.

Il presente lavoro intende appunto mettere in evidenza le informazioni che i vari tipi di modello di simulazione, sviluppati in passato per altre finalità, possono fornire nei riguardi del problema delle condense, e mostrare come un codice di calcolo tra quelli più diffusi, scritti espressamente nell'intento di descrivere il flusso contemporaneo di energia termica e di massa attraverso una parete, sia uno strumento utile per una progettazione che tenga conto di questo problema.

## 2. I CODICI DI CALCOLO DISPONIBILI

In tabella 1 i programmi a disposizione per la verifica del comportamento termoigrometrico di un edificio vengono raggruppati secondo alcune tipologie in relazione allo scopo primario per il quale sono stati sviluppati e per ciascuna tipologia vengono evidenziate le informazioni che sono in grado di fornire per lo studio delle condense.

Come si può notare i primi 3 tipi sono utili per precisare alcune delle condizioni al contorno a cui viene sottoposta la parete lungo il suo confine interno, mentre l'ultimo ha come scopo primario proprio quello di calcolare la distribuzione dell'umidità entro la parete, individuare l'eventuale superficie di condensa, la quantità di condensato o di rievaporato, il flusso termico accoppiato. Chiamiamo i modelli di questo tipo modelli HAMTIE ( Heat, Air and Moisture Transfer through Insulated Envelope parts) e cerchiamo ora di esaminarne la struttura.

TIPI DI MODELLO	SCOPO PRINCIPALE	UTILIZZO PER LO STUDIO DELLE CONDENSE
Modelli che simulano la trasmissione di calore, vapore ed aria tra l'ambiente esterno e l'edificio nel suo complesso.	Valutazione carichi termici invernali ed estivi per la progettazione degli impianti di riscaldamento e di climatizzazione.	<b>Previsione del clima interno.</b>
Modelli che simulano i flussi di aria per infiltrazione e per ventilazione.	Prevedere i ricambi d'aria ed il trasporto di quest' ultima da una zona all'altra di un edificio per una corretta progettazione degli impianti di ventilazione.	<b>Valutazione del trasporto di umidità tra zone diverse di un edificio.</b>
Modelli che simulano i moti dell'aria entro una singola zona.	Hanno importanza via via crescente per risolvere problemi di qualità dell'aria interna e di comfort.	<b>Conoscenza della distribuzione in ambiente del vapor acqueo emesso da una sorgente. Localizzazione delle zone di aria stagnante.</b>
Modelli che simulano la trasmissione di calore, vapore ed aria attraverso le pareti.	Analisi del comportamento termoigrometrico della parete di involucro .	<b>Calcolo della distribuzione di temperatura ed umidità entro la parete, delle temperature superficiali, dei flussi di massa e di energia, delle quantità di condensa e di rievaporazione.</b>

Tabella 1

## 3. I MODELLI HAMTIE

### 3.1 La complessità della modellizzazione

Il calcolo dei flussi di umidità ed energia attraverso una successione di materiali richiede la modellizzazione delle seguenti forme di trasferimento:

**TRASFERIMENTO DI ENERGIA** - per conduzione, convezione ed irraggiamento;  
- per trasporto di massa: acqua liquida o vapore, aria;

**TRASFERIMENTO DI UMIDITÀ** - sotto forma di vapore per diffusione;  
- sotto forma di vapore per convezione con l'aria;  
- sotto forma di acqua liquida se presente all'atto della costruzione od in seguito a condensa.

e delle influenze reciproche tra i due tipi di flusso termico ed igrico:

**INFLUENZA DEL TRASFERIMENTO DI ENERGIA SUL TRASFERIMENTO**

1. Il profilo di temperatura influenza la forma di trasferimento di umidità attraverso il legame tra pressione di saturazione e temperatura.
2. I gradienti termici influenzano i moti dell'aria (effetto camino) e quindi il trasferimento convettivo di umidità.
3. La capacità igrica dei materiali è funzione della temperatura.

**INFLUENZA DEL TRASFERIMENTO DI UMIDITÀ SUL TRASFERIMENTO DI ENERGIA**

1. La conducibilità e la capacità termica dei materiali dipendono dal loro contenuto di umidità.
2. Il cambiamento di stato dell'acqua mette in gioco calori latenti.
3. Se varia il trasferimento di massa varia il trasferimento di entalpia associata.

Data la complessità della simulazione completa del fenomeno, i programmi esistenti prendono perlopiù in considerazione flussi diretti solo in direzione ortogonale alla parete (flussi monodimensionali) a meno che la bidimensionalità o tridimensionalità del flusso sia proprio la ragione della distribuzione che si vuole verificare (temperatura superficiale ed interstiziale dei ponti termici); in tal caso vengono prese in considerazione solo due forme di trasferimento: quello di energia termica per conduzione e di vapore per diffusione oppure di energia termica per conduzione e di vapore per convezione in aria.

I modelli, per fornire informazioni significative, debbono poi interfacciarsi con una certa serie di condizioni al contorno, il cui numero e il cui grado di dettaglio dipende nuovamente dal grado di sofisticazione del programma.

Se, ad esempio, nel modello viene trascurato il contributo allo scambio termico dovuto alla radiazione solare ed al reirraggiamento verso l'ambiente circostante da parte della superficie esterna, viene richiesta l'introduzione del solo coefficiente di scambio termico liminare esterno e della temperatura dell'aria con una frequenza normalmente mensile. Il codice considera il flusso termico

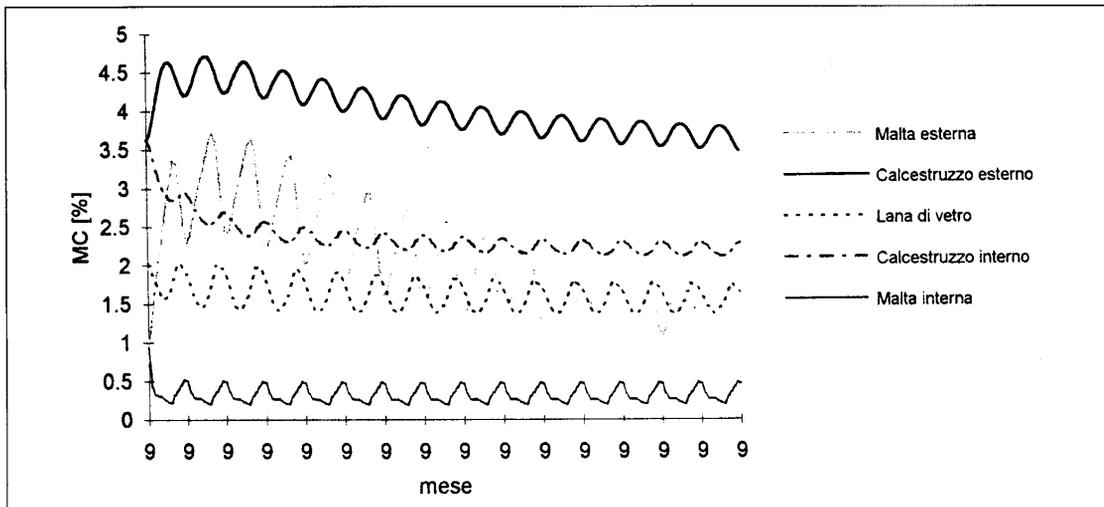


Fig. 4 - Andamento nell'arco di 15 anni di MC in % in peso entro i diversi strati della parete prototipo riempita con GW39 e con finitura esterna in PUP. I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media.

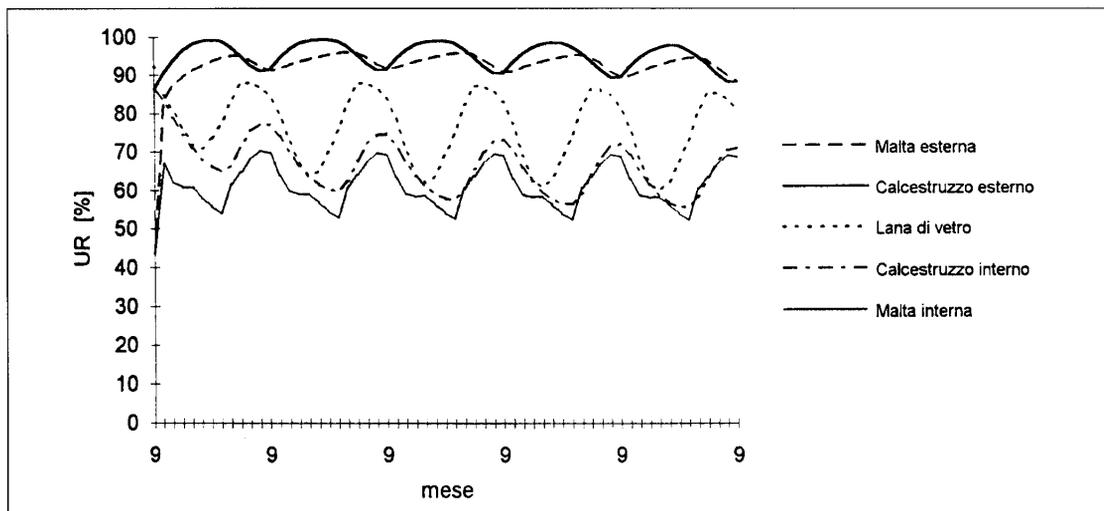


Fig. 5 - Andamento nell'arco di 5 anni di UR entro i diversi strati della parete prototipo riempita con GW39 e con finitura esterna in PUP. I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media.

stazionario in tutto il mese e calcola profili di temperatura e di pressione di vapore unici, valevoli per tutto quel periodo. L'eventuale quantità di condensa viene calcolata di conseguenza.

Nel caso contrario il programma vuole conoscere ora per ora i valori della temperatura dell'aria, della radiazione solare diretta e diffusa, della copertura del cielo e della velocità e direzione del vento. Il codice calcola poi i flussi non stazionari di energia e di massa, aggiornando così ora per ora i profili di temperatura e di contenuto di umidità entro gli strati. La maggiore frequenza temporale e la possibilità di far variare ad esempio la conducibilità termica e la permeabilità al vapore dei materiali in funzione del loro contenuto di umidità porta ad una valutazione quantitativa delle grandezze in gioco certamente più realistica di quelle calcolate nel caso precedente [1].

Fig. 6 - Andamento nell'arco di 5 anni di MC dello strato di calcestruzzo esterno nel caso di isolamento con EPS e finitura esterna in vernice poliuretanica o vernice plastica. I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media.

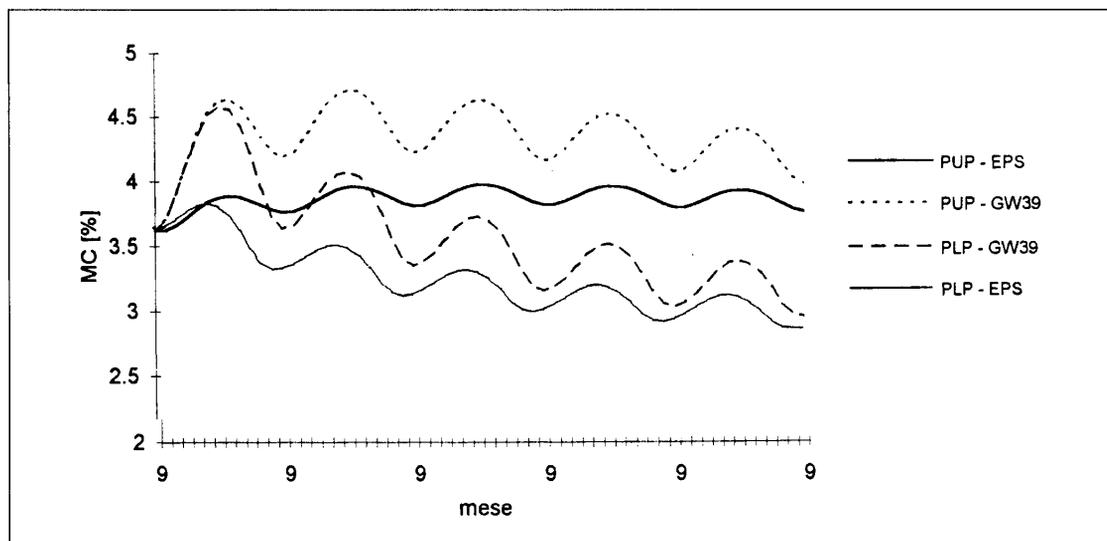
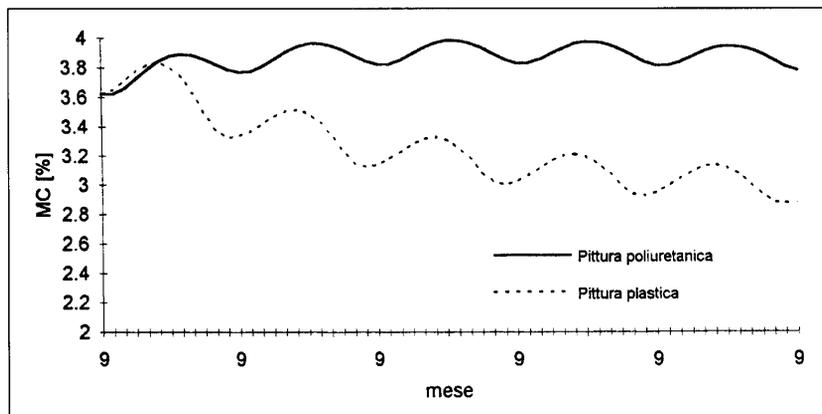


Fig. 7 - Confronto tra gli andamenti dell' MC del calcestruzzo esterno nei casi in cui la parete è isolata con EPS o con GW39 e la finitura esterna è una delle seguenti: pittura poliuretanica (PUP), pittura plastica (PLP). I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media.

Tra i vari programmi di cui si dispone si notano, oltre a quelle descritte, differenze nel modo con cui vengono modellizzate le diverse forme di trasporto, alcune delle quali, e non sempre le stesse, vengono trascurate forse perchè, per il particolare tipo di parete che preme analizzare, tale flusso risulta veramente di poca importanza. In [1] viene riportato un tentativo di classificazione dei codici esistenti: essi vengono distinti in ben 9 classi.

Si riportano qui sinteticamente le caratteristiche dei codici più semplici e di quelli più sofisticati, per poi soffermare l'attenzione sul livello di quelli più diffusi e commercializzati, uno dei quali è stato da noi utilizzato per eseguire l'analisi parametrica riportata più avanti.

### 3.2 I programmi basati sul modello di Glaser

Appartengono alla I classe, come grado di complessità; la loro struttura ha le seguenti caratteristiche:

<b>Fenomeni di trasporto considerati:</b>	conduzione del calore e diffusione del vapore in condizioni stazionarie.
<b>Interazioni tra i fenomeni di trasporto:</b>	unica interazione tra i due fenomeni attraverso la pressione di saturazione funzione della temperatura.
<b>Proprietà dei materiali:</b>	proprietà termoigrometriche dei materiali costanti
<b>Condizioni al contorno utilizzate:</b>	temperatura ed umidità relativa dell'aria interna ed esterna (valori medi mensili).
<b>Scambi di superficie:</b>	uso delle sole adduttanze termiche assunte di valore standard costante.

### 3.3 I programmi più sofisticati

Presentano le seguenti caratteristiche:

<b>Fenomeni di trasporto considerati:</b>	flusso non stazionario di calore, di umidità in fase vapore e liquida, di aria.
<b>Interazioni tra i fenomeni di trasporto:</b>	interazione tra flussi di calore e di massa attraverso la pressione di saturazione funzione della temperatura, attraverso il calore latente, attraverso i flussi di entalpia legati ai flussi di massa ed attraverso la variazione dei flussi di massa per effetto camino in dipendenza dei gradienti termici.
<b>Proprietà dei materiali:</b>	proprietà dei materiali funzioni del contenuto di umidità e della temperatura.
<b>Condizioni al contorno utilizzate:</b>	temperatura ed umidità relativa dell'aria, flusso di energia solare, reirraggiamento notturno, velocità e direzione del vento (valori orari).
<b>Scambi di superficie:</b>	si tiene conto separatamente degli scambi radiativi e convettivi, vengono introdotte le adduttanze liminari di massa.

### 3.4 I programmi più diffusi

Rispetto ai più sofisticati i programmi più diffusi non tengono conto dei flussi d'aria attraverso la parete e dei conseguenti flussi convettivi di vapore.

Esistono più di 15 esemplari di codici di questo tipo, ciascuno dei quali affronta l'aspetto fisico e matematico della modellizzazione in maniera leggermente diversa.

Tra questi il programma MATCH, sviluppato in Danimarca ed usato per l'analisi parametrica che segue, calcola lo scambio di superficie con l'ambiente interno tramite un coefficiente di scambio termico liminare fornito dall'utente, mentre tiene conto separatamente degli scambi convettivi e radiativi con l'esterno; richiede valori costanti nell'arco di ciascun mese di tempera-

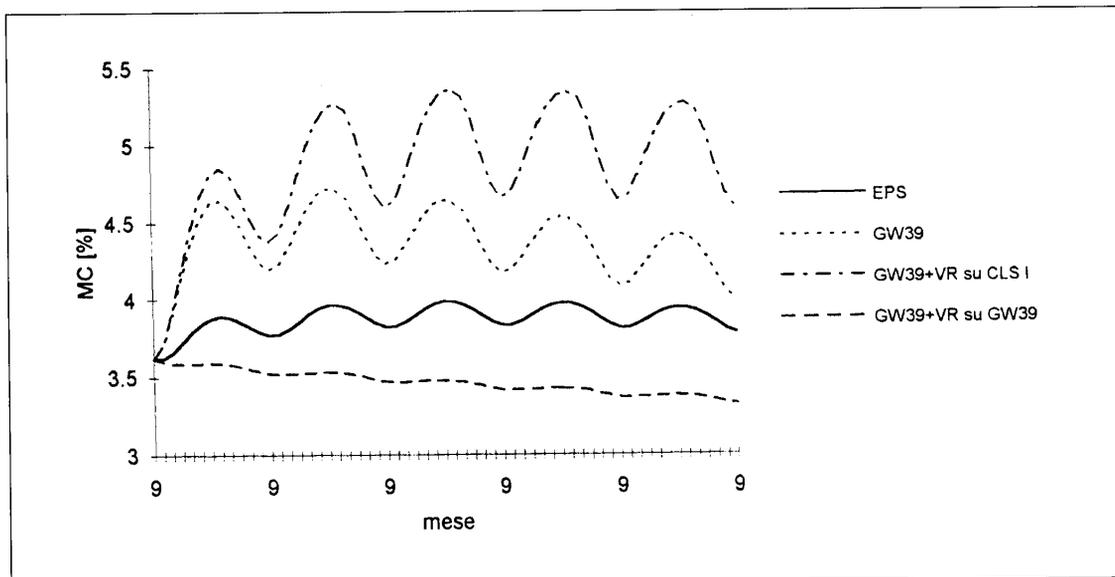


Fig. 8 - Andamento nei primi 5 anni del MC del calcestruzzo esterno nel caso di finitura della parete con vernice poliuretanica e composizioni interne diverse: isolamento termico in polistirene espanso oppure in lana di vetro senza vapor retarder e con vapor retarder in due diverse posizioni.

I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media.

tura ed umidità relativa interne, mentre necessita dei valori orari di tutte le grandezze meteorologiche su citate. Esso ha in memoria le proprietà termofisiche dei materiali di uso più comune in edilizia, unitamente alla loro legge di variazione con il contenuto di umidità, ma prevede la possibilità di inserire e memorizzare le proprietà che si ritengono più adeguate al materiale di cui si dispone. All'inizio della simulazione le proprietà termofisiche dei materiali sono assunte pari a quelle che si riscontrano mediamente al momento della costruzione (materiale con umidità da costruzione): per ottenere il comportamento della parete a regime occorre, come vedremo, eseguire la simulazione per un certo numero di anni.

Il programma fornisce in uscita gli andamenti nel tempo del contenuto di umidità (MC), dell'umidità relativa (UR) e della temperatura entro ciascuno strato di materiale costituente la parete, nonché gli andamenti dei flussi termici attraverso le superfici esterna ed interna della parete.

I risultati ottenuti con questo ed altri codici simili sono stati confrontati, nell'ambito dei lavori dell'Annex 24 dell'IEA "HAMTIE", con quelli di misure sperimentali eseguite su diversi tipi pareti perimetrali e di coperture, rivelando una buona concordanza numerica.

## 4. ANALISI PARAMETRICA DEL COMPORTAMENTO DI UNA PARETE

### 4.1 Parete prototipo

La parete utilizzata per l'analisi è rappresentata in figura 1. Essa è costituita, a partire dall'esterno, da uno strato di pittura su 1 cm di malta di cemento, uno strato di calcestruzzo di 6 cm di spessore, una intercapedine da 5 cm riempita di materiale isolante, un secondo strato di calcestruzzo da 16 cm, uno strato di malta di cemento da 1 cm.

Le finiture murali esterne sono state alternativamente:

- pittura poliuretanica (PUP);

- pittura plastica (PLP);
- intonaco a calce (LR).

I materiali isolanti :

- polistirene espanso sinterizzato ( $\rho = 25 \text{ kg/m}^3$ ) (EPS)
- lana di vetro ( $\rho = 18 \text{ kg/m}^3$ ) (GW39)

Si è inoltre analizzato l'effetto dell'inserimento, in posizioni diverse entro la parete, di una resistenza  $Z$  aggiuntiva al flusso di massa (vapor retarder) costituita da un foglio di polietilene dello spessore di  $0.1 \text{ mm}$  ( $Z = 250 \text{ GPa m}^2 \text{ s/kg}$ ).

Poichè si voleva analizzare il comportamento della parete nelle condizioni più negative per il problema in esame, essa è stata rivolta verso Nord in modo da rendere minima l'influenza del sole.

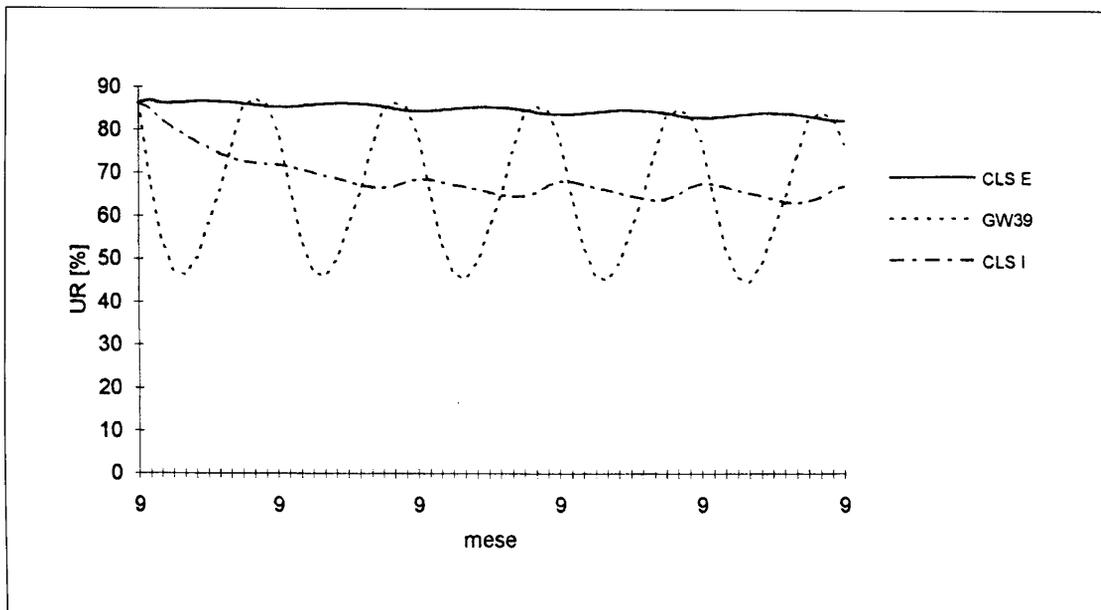
L'emissività ed il fattore di assorbimento della superficie esterna sono stati assunti rispettivamente pari a 0.9 e 0.4, la riflettività del suolo pari a 0.2 e la resistenza liminare interna pari a  $0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

#### 4.2 Climi esterni ed interni utilizzati

Per la costruzione del file orario di dati climatici esterni si sono utilizzati i valori medi mensili per le località di Torino - Caselle e Roma - Collegio Romano ottenuti come descritto in [2]. Sono stati assunti valori orari eguali lungo tutto il mese per tutte le grandezze meteorologiche, salvo che per la radiazione solare; quest'ultima è stata suddivisa sulle ore della giornata utilizzando la metodologia riportata in [3].

La temperatura interna è stata assunta pari a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  in tutti i mesi in cui la temperatura media esterna risultava inferiore ai  $20^\circ\text{C}$  e pari a quella esterna negli altri casi. Per il calcolo dell'umidità relativa interna sono stati assunti, per ogni temperatura esterna, 3 diversi valori del rapporto  $G/nV$  tra la generazione di vapore ( $G$ ) ed il volume di aria di ricambio all'ora ( $nV$ ), nell'ipotesi di fare riferimento a classi di umidità interna bassa, media od alta

*Fig. 9 - Andamento dell'umidità relativa entro i due strati di calcestruzzo e nella lana di vetro; finitura esterna in vernice poliuretanica e vapor retarder a ridosso della superficie interna della lana di vetro. I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle ed ad umidità interna media.*



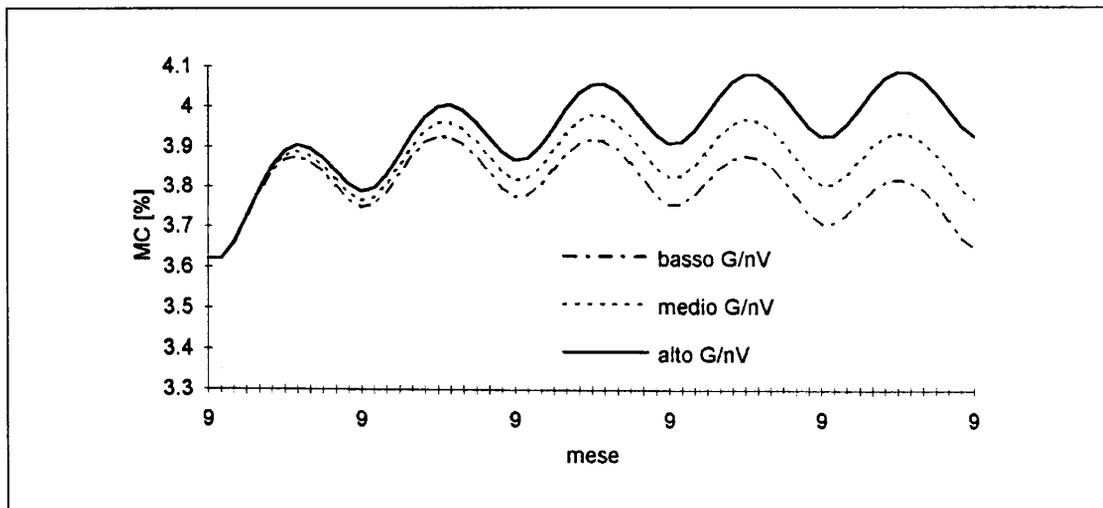


Fig. 10 - Andamenti del contenuto di umidità nel calcestruzzo esterno per parete con EPS e finitura in PUP e per climi interni di bassa, media ed alta classe di umidità. I risultati si riferiscono al clima esterno medio di Torino - Caselle.

[4]. Anche l'umidità relativa interna è stata posta pari a quella esterna nei mesi estivi.

#### 4.3 Risultati ottenuti

Il programma è stato fatto girare, per le diverse configurazioni ipotizzate, per periodi di tempo variabili da 5 a 15 anni a partire dal mese di ottobre del primo anno, in modo da ottenere un numero intero di cicli di accumulo e rievaporazione di umidità.

Un esempio dei risultati ottenuti è fornito in figura 2 nella quale sono riportati gli andamenti, in ciascuno strato della parete ivi descritta, del contenuto di umidità del materiale costituente, espresso in % in peso, per un periodo di 15 anni.

In figura 3 sono invece riportati, per la stessa costituzione di parete e per le medesime condizioni al contorno, gli andamenti dell'umidità relativa media in ciascun strato nei primi 5 anni.

Risulta evidente che il pericolo legato all'accumulo di umidità si verifica entro lo strato di calcestruzzo esterno dove, nei primi anni, il contenuto cresce rispetto al valore di costruzione grazie all'apporto di umidità dal pannello di calcestruzzo interno. Nello stesso strato l'umidità relativa media mensile si mantiene, da gennaio ad aprile, intorno al 93% e quindi si verifica condensazione interstiziale nelle ore più fredde di quei mesi. Il bilancio su tutto l'anno tra flussi di vapore entranti ed uscenti dalla parete è comunque a favore di una lenta asciugatura di quest'ultima, anche se occorrono 9 anni prima che il contenuto di umidità minimo nel calcestruzzo esterno raggiunga il valore iniziale. Al quinto anno l'accumulo di MC durante il periodo freddo entro il calcestruzzo esterno non è comunque preoccupante poiché si aggira intorno a 185 g/m<sup>2</sup>.

Lo strato esterno di malta di cemento anche dopo 15 anni non è ancora al valore di umidità iniziale.

Le cose non migliorano se, nel tentativo di rendere più rapida la fuoriuscita di umidità dalla parete, si sostituisce il polistirene espanso con la lana di vetro, più permeabile al vapore (figure 4 e 5). Infatti aumenta la portata di vapore

---

mesi invernali nello strato di calcestruzzo esterno. L'accumulo si aggira intorno a 460 g/m<sup>2</sup>.

Il bilancio su tutto un anno tra flussi entranti ed uscenti è ancora a favore di una asciugatura della parete, ma con tempi più lunghi.

Infine il contenuto di umidità della lana di vetro registra un'ampiezza di oscillazione nell'arco dell'anno di  $\pm$  il 25% intorno al suo valor medio; quindi la conducibilità termica di questo materiale risulta fortemente variabile durante l'anno con i valori più elevati nei mesi estivi.

Se si analizzano, invece, le modifiche di comportamento ottenute cambiando la finitura murale esterna (figura 6), si osserva come la sostituzione della pittura poliuretanicca con una pittura plastica di minore resistenza al vapore permetta già dal primo anno l'asciugatura dello strato di calcestruzzo esterno, anche se ciò avviene con un accumulo di acqua, nei mesi invernali, un po' più importante (300 g/m<sup>2</sup>).

Nella figura 7 sono messi a confronto gli andamenti dell' MC del calcestruzzo esterno nei casi in cui la parete è isolata con EPS o con GW39 e la finitura esterna è una di quelle sopra indicate.

La finitura migliore risulta essere l'intonaco palastico con EPS.

Per migliorare il comportamento della parete con lana di vetro si può pensare di introdurre una resistenza aggiuntiva al vapore costituita, ad esempio, da un foglio di polietilene dello spessore di 0.1 mm posto o sulla faccia interna dello strato di calcestruzzo interno o sulla faccia interna dello strato di lana di vetro. I risultati ottenuti, nell'ipotesi di finitura esterna in pittura poliuretanicca, sono riportati in figura 8: nel primo caso l'accumulo di acqua nel calcestruzzo esterno risulta ancora più elevato di quello in assenza della resistenza aggiuntiva, in quanto il pannello di calcestruzzo interno non riesce a scambiare vapore con l'ambiente interno e riversa tutta la sua umidità da costruzione su quello esterno; nel secondo caso quest'ultimo rimane protetto dalla migrazione di vapore proveniente da tutto ciò che gli sta alle spalle, non accumula praticamente più ed asciuga nei mesi estivi. Non altrettanto può dirsi per lo strato di materiale isolante che è sottoposto a variazioni di umidità relativa e quindi di contenuto di umidità, ancora più ampie di quelle rilevate senza vapor retarder (figura 9).

Per il materiale isolante la situazione peggiora ulteriormente, se il vapor retarder è posto sulla sua faccia esterna.

In conseguenza a quanto verificato con il vapor retarder si è ritenuto inutile eseguire l'analisi in funzione del rivestimento interno, in quanto è evidente che una finitura ad alta resistenza al vapore darà luogo ad andamenti analoghi a quelli riscontrati nel caso del vapor retarder appoggiato alla superficie interna del pannello di calcestruzzo.

L'effetto del contenuto di umidità dell'aria interna è presentato in figura 10 e non necessita di particolari commenti se non l'osservazione che l'umidità interna non è il parametro chiave su cui agire per migliorare, almeno nei primi anni il comportamento della parete.

Molto più importante risulta essere l'influenza del clima esterno come è messo in evidenza in figura 11: a parità di finitura esterna la parete ubicata a Roma registra una diminuzione del contenuto di umidità nel calcestruzzo già dopo 18 mesi; può essere quindi accettabile, per questa città, una finitura esterna in pittura poliuretanicca.

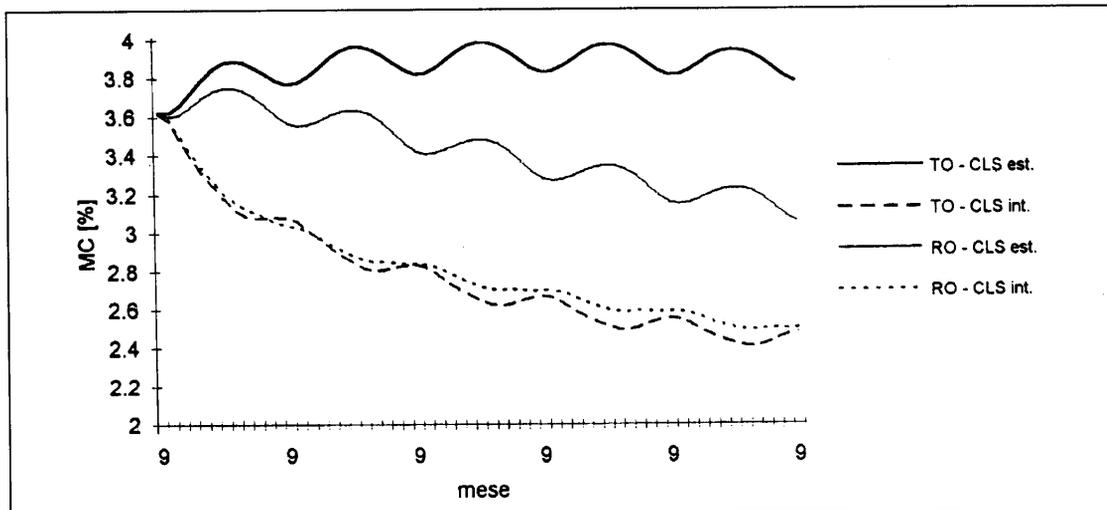


Fig. 11 - Andamenti del contenuto di umidità nei pannelli di calcestruzzo esterno ed interno per parete con isolamento in EPS e finitura in PUP e per i climi esterni medi di Torino - Caselle e Roma - Collegio Romano. Clima interno di media umidità.

## 5. CONCLUSIONI

La parete esaminata è una parete pesante, costituita da due pannelli contenenti molta acqua di costruzione che, a seconda della stagione, migra da una zona ad un'altra dando luogo a condense. L'introduzione di una resistenza aggiuntiva al flusso di massa, in posizione centrale rispetto ai due pannelli, rallenta tali spostamenti, favorendo la fuoriuscita dell'umidità verso i due ambienti confinanti e l'asciugatura complessiva della parete. Vi è comunque una posizione preferenziale del vapor retarder, anche in rapporto a ciò che succede entro il materiale isolante, le cui oscillazioni annuali di contenuto di umidità si ripercuotono in variazioni della conducibilità termica.

Per questa particolare stratificazione il polistirene espanso, poichè è collocato in posizione centrale ed ha una resistenza al flusso di massa più elevata di quella della lana di vetro, pare essere il materiale più idoneo.

E' sconsigliabile invece l'impiego, almeno per il clima di Torino, di una finitura esterna in pittura poliuretanicca ad alta resistenza al vapore.

Il grado di umidità del clima interno non è così rilevante nella previsione della distribuzione del contenuto di acqua all'interno della parete, ma sarebbe di estrema importanza se si andasse ad esaminare il pericolo di condensa superficiale.

I risultati presentati sono specifici per la parete prototipo esaminata e non si prestano a generalizzazioni, se non a quella che è sempre bene non interporre ostacoli alla migrazione del vapore dal piano di condensazione invernale, normalmente coincidente con la superficie esterna dello strato di materiale isolante, all'ambiente esterno.

Risulta tuttavia evidente l'utilità del codice di calcolo per la progettazione termoigrometrica dell'involucro edilizio.

---

## Riferimenti bibliografici

1 - H. Hens, A. Janssens, *Enquiry on HAMCaT Codes, Report Task 1, Annex 24, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, IEA; Publ.: Laboratorium Bouwfysica, K.U. Leuven.*

2 - C. Lombardi, C. Silvi, *Anno di riferimento per l'analisi di rischio di condensazione interstiziale nelle pareti perimetrali (DRY) per due città italiane, 50° Congresso Nazionale ATI, Saint -Vincent, settembre 1995.*

3 - Duffie J.A., Beckman W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, 1980.*

4 - *Documento di lavoro N 107 del CEN/TC 89/ WG10 , Building Components and building elements - Calculation of surface temperature to avoid critical surface humidity and calculation of interstitial condensation, febbraio 1995.*

# **METODOLOGIE DI VERIFICA IN OPERA DELLA TRASMITTANZA DELLE PARETI**

L'importanza della misurazione della trasmittanza di pareti in opera risponde oltre che a una volontà di verifica della resistenza termica delle pareti e alla valutazione degli effetti della messa in opera e dell'umidità sui manufatti anche a un'esigenza di certificazione energetica dell'edificio.

Resistenza termica totale ( $R$ ), trasmittanza termica ( $U$ ) e conduttanza termica ( $C$ ) sono i parametri che descrivono, in condizioni teoriche di stazionarietà e nell'ipotesi di superficie di parete infinita, il fenomeno del trasporto di calore.

L'intervento illustra i principali metodi per la misura in laboratorio e in opera dei parametri  $R$ ,  $C$  e  $U$  con ampia esposizione delle tecniche e delle procedure di calcolo. Particolare attenzione è data al metodo dei termoflussimetri (HFM) il cui impiego in campo è ormai ampiamente diffuso sia per la sua semplicità, sia per il costo relativamente modesto delle apparecchiature.

Un ultimo accenno richiama, infine, la portata innovativa dello Standard CEN TC89/WG8, che dovrebbe essere impiegato in futuro a sostegno delle disposizioni legislative che prescrivono valori minimi di resistenza termica.

- 1. Motivazioni**
- 2. Basi teoriche**
- 3. Metodi di misura in laboratorio**
  - Calorimetro con guardia
  - Calorimetro calibrato
  - Calorimetro con termoflussimetro
- 4. Metodi di misura in opera**
  - Calorimetro portatile
  - Metodo del termoflussimetro (HFM)
- 5. Applicazione ed analisi dei dati nel metodo HFM**
  - Problemi di applicazione
  - Problemi di analisi dei dati
- 6. Lo standard CEN TC89/WG8**

## 1. MOTIVAZIONI

La misura in opera della trasmittanza delle pareti può avere molti scopi. Tra questi:

- *Verifica in opera della resistenza termica o della trasmittanza delle pareti*
- *Valutazione degli effetti della messa in opera sulle proprietà termofisiche del manufatto*
- *Valutazione degli effetti prodotti dall'umidità*
- *Certificazione energetica dell'edificio*

## 2. BASI TEORICHE

In *regime stazionario* il trasporto di calore attraverso una parete supposta indefinita nelle due direzioni perpendicolari allo spessore può essere definito attraverso tre parametri fra loro legati:

- *la resistenza termica totale della parete (R)*
- *la trasmittanza termica (U)*
- *la conduttanza termica (C)*

Tali parametri sono definiti dalle seguenti espressioni:

$$(1) \quad R = \frac{T_i - T_e}{\phi} \quad \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$(2) \quad U = \frac{1}{R} = \frac{\phi}{T_i - T_e} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$(3) \quad C = \frac{\phi}{T_{si} - T_{se}} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Tali parametri possono essere calcolati in funzione delle caratteristiche geometriche e termofisiche degli strati di cui è composta la parete:

$$(4) \quad R = \frac{1}{h_i} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}$$

$$(5) \quad U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_e}}$$

$$(6) \quad C = \frac{1}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n}}$$

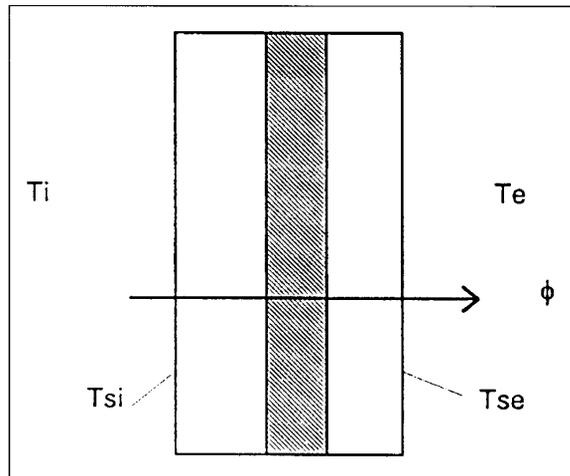


Fig. 1 - Schema di parete e simbologia impiegata.

---

Il valore dei parametri R, C ed U di una parete in opera può essere determinato ricorrendo alle espressioni (4)-(6) soltanto se sono noti i valori di conduttività termica e spessore dei singoli strati della parete, dati di cui normalmente, una volta che la parete è stata messa in opera, è difficile disporre.

Se le condizioni termiche alle quali è sottoposta la parete fossero di regime stazionario, R, C ed U potrebbero essere ricavati per via sperimentale attraverso la misura istantanea della densità di flusso  $\varphi$ , e delle temperature interna ed esterna, come indicato nelle (1)-(3). Questa situazione, peraltro, non si verifica mai in pratica; tuttavia, la determinazione di R, U e C è possibile anche in regime termico variabile, purché si sostituiscano alle grandezze variabili (densità di flusso  $\varphi$ , temperatura interna  $T_i$  e temperatura esterna  $T_e$ ) i loro valori medi, valutati su un periodo sufficientemente lungo:

$$(1') \quad R = \frac{\bar{T}_i - \bar{T}_e}{\bar{\varphi}}$$

$$(2') \quad U = \frac{\bar{\varphi}}{\bar{T}_i - \bar{T}_e}$$

$$(3') \quad C = \frac{\bar{\varphi}}{\bar{T}_{si} - \bar{T}_{se}}$$

Nei paragrafi seguenti si illustreranno i principali metodi per la misura in laboratorio ed in campo dei parametri R, C, U a partire dalle (1')-(3').

### 3. METODI di misura in laboratorio

La norma ISO 8990 (1994) individua due metodi di misura della resistenza termica (o della trasmittanza) delle pareti in laboratorio:

- Calorimetro con guardia
- Calorimetro calibrato

Il progetto di norma ISO prEN 1934 (1995) ne individua un terzo, che fa uso dei termoflussimetri.

#### Calorimetro con guardia (Guarded hot box)

Il calorimetro con guardia (*guarded hot box*) è costituito da un involucro a forma di parallelepipedo (vedi Fig. 2), ben isolato e diviso in due parti dal provino di cui si intende misurare le caratteristiche termiche. La parte sinistra ("camera calda") è mantenuta ad una temperatura più alta della parte destra ("camera fredda"). All'interno della parte calda è ricavata una sezione in cui viene effettuata la misura ("camera di misura"). Un semplice bilancio termico della camera di misura fornisce:

$$(4 \text{ bis}) \quad \varphi_p = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$$

Il flusso termico longitudinale  $\varphi_2$  può essere considerato trascurabile poiché il calorimetro è coibentato perimetralmente e la camera di misura interessa volutamente soltanto la parte centrale del campione, dove l'ipotesi di monodimensionalità del flusso termico è più valida.

Il flusso termico  $\phi_3$  viene reso trascurabile controllando la temperatura della camera calda in modo da renderla il più possibile coincidente con quella della camera di misura. In tal modo il bilancio si riduce a:

$$(5 \text{ bis}) \quad \phi_p = \phi_1$$

Misurando accuratamente il flusso termico fornito  $\phi_p$  e le temperature, mantenute costanti, si ottiene infine la trasmittanza:

$$U = \frac{\phi_1}{\Delta T} = \frac{\phi_p}{\Delta T}$$

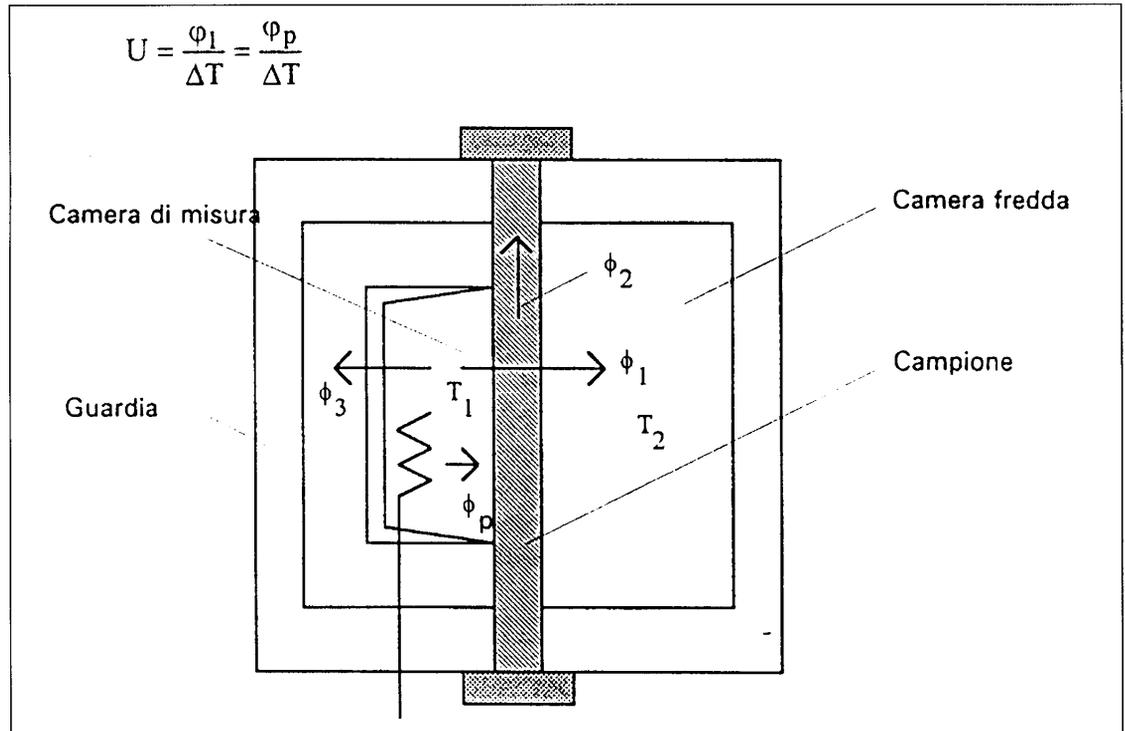


Fig. 2 - Calorimetro con guardia.

#### Calorimetro calibrato (calibrated hot box)

Nel calorimetro calibrato (Fig. 3) il principio di misura è analogo a quello adottato per il calorimetro con guardia, ma in questo caso, piuttosto che cercare di azzerare i flussi "spuri"  $\phi_3$  e  $\phi_4$ , se ne stima il valore attraverso una preventiva taratura dell'apparato. In tal modo dall'equazione di bilancio termico

$$\phi_p = \phi_1 + \phi_3 + \phi_4$$

si ottiene  $\phi_1$ , e da questo il valore di  $U$ , come in precedenza.

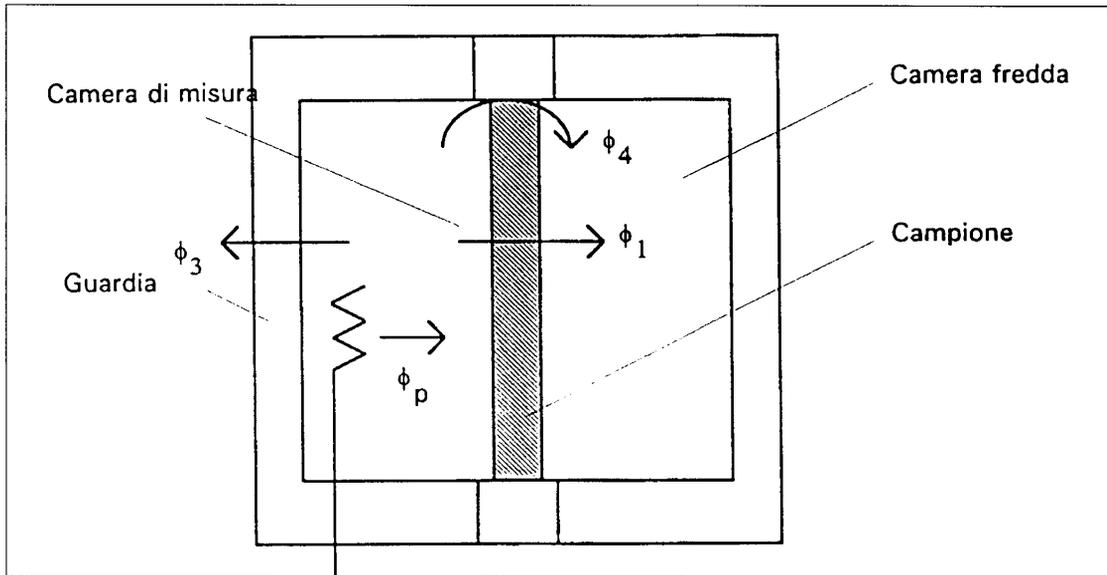


Fig. 3 - Calorimetro calibrato.

#### Calorimetro con termoflussimetro

Un termoflussimetro (Heat Flow Meter - HFM, vedi Fig. 4) è un sensore di flusso termico. E' tipicamente costituito da una piastra avente resistenza termica nota e costante.

Misurando la differenza di temperatura fra le due facce con una maglia di termocoppie in serie (termopila) è possibile immediatamente risalire al flusso termico che lo attraversa:

$$(7) \quad \varphi = \frac{\lambda_m}{s} \cdot (T_1 - T_2)$$

Collocando il termoflussimetro sul lato caldo di un campione posto come divisorio all'interno di un calorimetro è possibile misurare direttamente il flusso termico che attraversa il campione stesso.

Per ridurre i flussi spuri la zona di misura è limitata alla sola parte centrale, che viene a tale scopo circondata da uno strato di uguale materiale e spessore (zona di guardia). In tal modo la temperatura su tutta l'area di misura può essere ritenuta ragionevolmente costante e il flusso spurio parallelo al campione può essere trascurato. Coibentando opportunamente la zona di confine fra camera calda e fredda si minimizza anche il flusso spurio perimetrale. E' pertanto possibile scrivere, come nel caso del calorimetro con guardia:

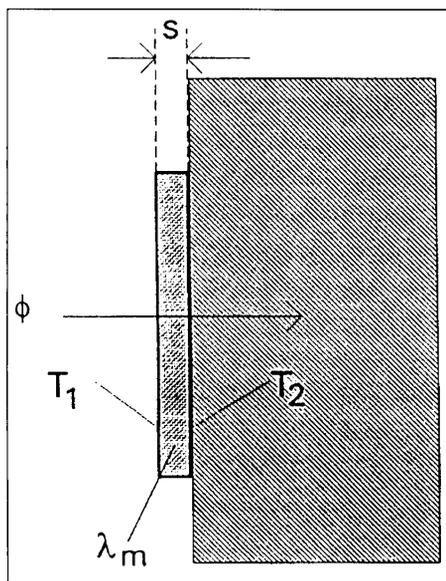


Fig. 4 - Termoflussimetro (HFM)

$$\varphi_p = \varphi$$

Ancora una volta, attraverso la misura del flusso termico fornito  $\varphi_p$  e delle temperature, mantenute costanti, si ottiene la trasmittanza:

$$(8) \quad U = \frac{\varphi}{\Delta T} = \frac{\varphi_p}{\Delta T} \quad \varphi_p = \varphi$$

## 4. METODI DI MISURA IN OPERA

I metodi di misura in campo si rifanno agli stessi principi adottati per la misura in laboratorio. La forte non stazionarietà delle condizioni termiche esterne rende però la misura più lunga e introduce una fonte di errore non trascurabile.

### Calorimetro portatile

Il calorimetro portatile è costituito da una "scatola" a cinque pareti avente forma di parallelepipedo (vedi Fig. 5). Tutte le pareti sono ben coibentate e sono dotate di una fitta maglia di sensori di temperatura (termocoppie) per il controllo dei flussi termici tangenziali e ortogonali alle pareti.

Il calorimetro viene messo in opera all'interno dell'edificio, addossando il lato "aperto" alla parete di misura. Un riscaldatore elettrico di potenza controllabile consente di mantenere la temperatura all'interno del calorimetro vicina a quella dell'ambiente interno, in modo da minimizzare i flussi termici spuri attraverso le cinque pareti del calorimetro. In tali condizioni il flusso termico fornito dal riscaldatore sarà uguale a quello disperso attraverso la parete di misura. Dopo un opportuno periodo di misura, che può raggiungere, per pareti massicce, anche alcune settimane, si può risalire alla trasmittanza della parete attraverso la relazione (2).

La fig. 6 illustra un confronto fra valori di resistenza termica di alcune pareti ricavati da una serie di misure effettuate con due calorimetri portatili di diverse dimensioni e i corrispondenti valori di resistenza termica determinati in laboratorio. L'accordo è, come si vede, più che accettabile per entrambi i tipi di calorimetro.

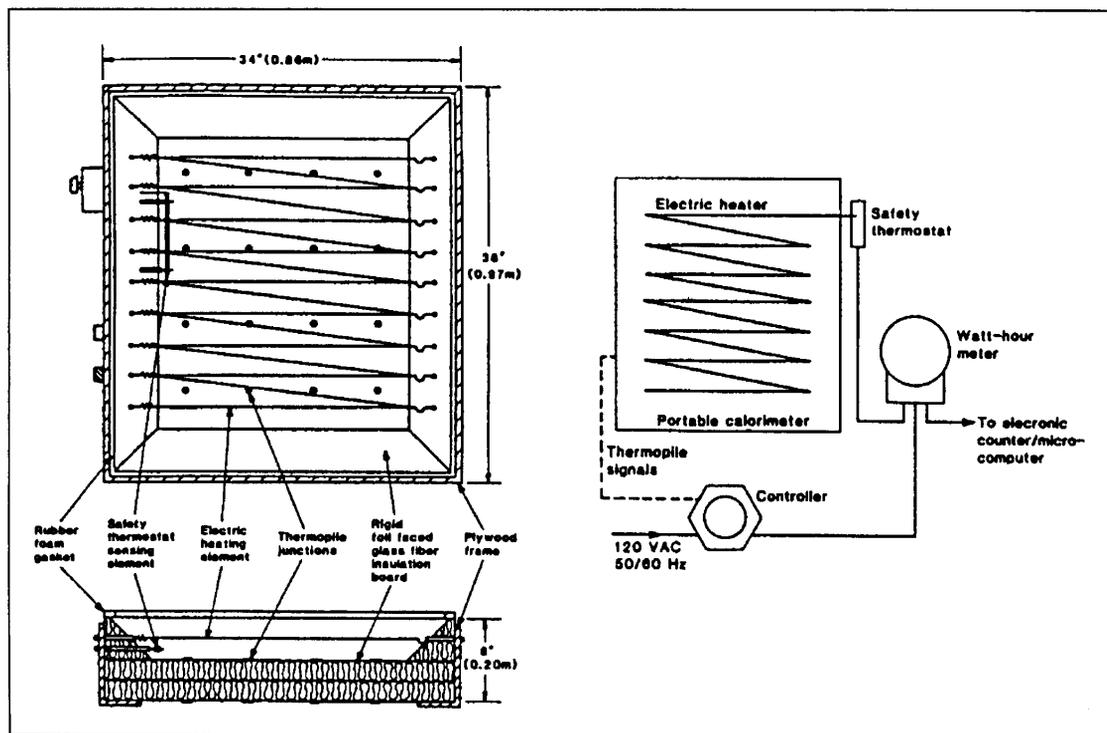
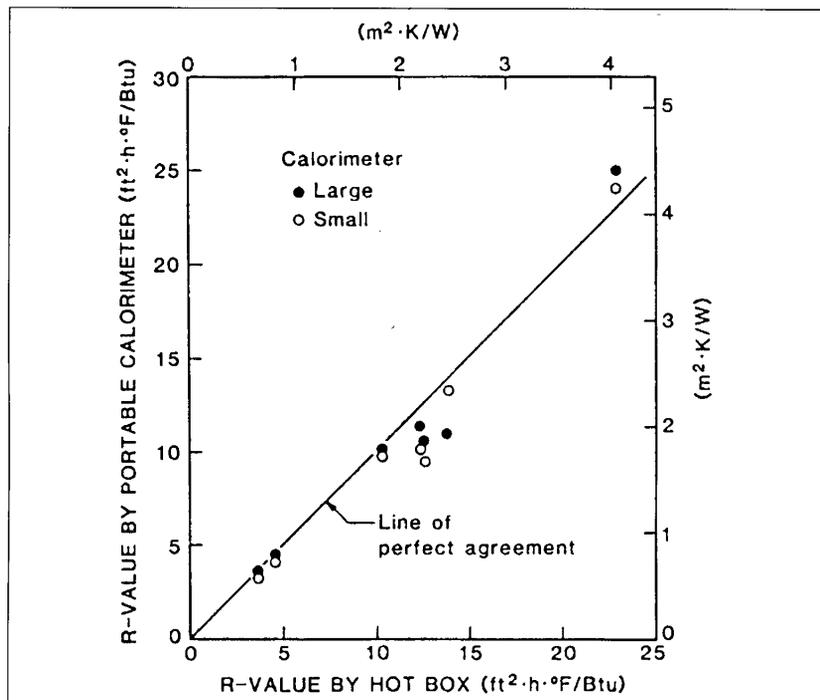


Fig. 5 - Calorimetro portatile di Brown e Schuyler.

Fig. 6 - Confronto fra valori misurati in laboratorio ed in opera mediante calorimetro portatile.

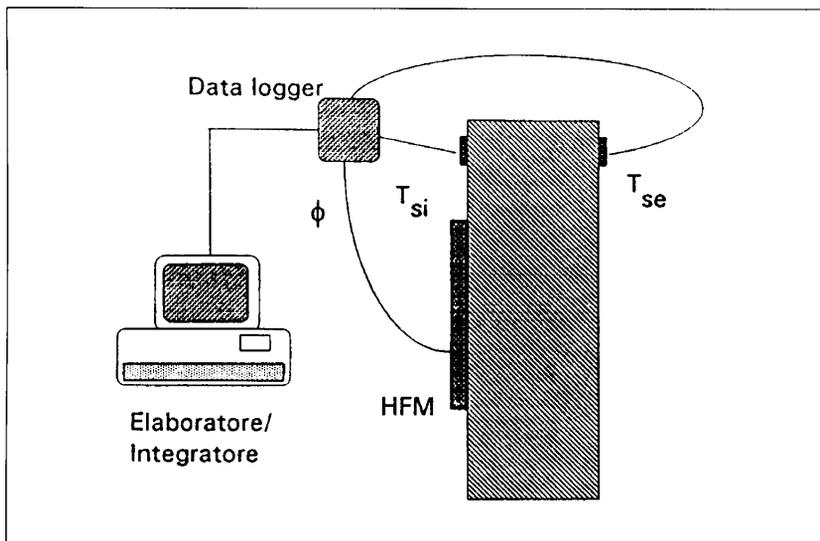


#### Metodo dei termoflussimetri (HFM)

L'impiego in campo dei termoflussimetri per la misura della resistenza termica delle pareti è diffuso ormai da tempo per la sua semplicità, e per il costo relativamente modesto delle apparecchiature. Lo schema di applicazione è illustrato in Fig. 7. Esso è basato sulle equazioni (1'), (2'), (3').

La piastra di cui è costituito un HFM per misure in campo ha in genere spessore di qualche mm ed è realizzata in materiale plastico rigido o flessibile (ad esempio silicone). Può avere forma circolare, quadrata o rettangolare, ed un'area che misura da 50 a 100.000 mm<sup>2</sup>.

Fig. 7 - Impiego di un HFM per misure di conduttanza.



L'uso degli HFM presenta tutta una serie di difficoltà, che possono essere raggruppate secondo tre categorie (Bales, Bomberg & Courville, 1985): la taratura, l'applicazione e l'analisi dei dati.

Trascurando i problemi di taratura, che esulano dal tema principale di questa relazione, si illustrano di seguito i principali problemi che si possono incontrare negli impieghi in campo.

## 5. APPLICAZIONE ED ANALISI DEI DATI NEL METODO HFM

### Problemi di applicazione

#### 1. Posizionamento

Un primo problema consiste nella scelta, magari mediante termovisione IR, della posizione sulla parete in cui applicare l'HFM. Sono da evitare le zone vicine agli spigoli ed ogni altra zona della parete in cui si presentino delle anomalie di carattere fisico o geometrico (ad esempio ponti termici provocati da "gambette" di collegamento o da interruzione dell'isolante) rispetto alla "parete corrente".

#### 2. Distorzione monodimensionale del flusso

L'applicazione di un HFM modifica la resistenza termica di una parete (distorzione monodimensionale del flusso), sia nel caso in cui esso sia annegato nella parete stessa che nel caso in cui esso sia semplicemente appoggiato sulla parete. Nel primo caso, detti  $\lambda_s$  e  $s$  rispettivamente la conduttività e lo spessore dell'HFM e  $\lambda_m$  la conduttività dello strato, di spessore  $L$ , al cui interno esso è posizionato, il rapporto fra il flusso misurato  $\varphi'$  e quello vero  $\varphi$  varrà

$$(9) \quad \frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{R_p}{R'_p} = \frac{L / \lambda_m}{\frac{L-s}{\lambda_m} + \frac{s}{\lambda_s}}$$

da cui si vede che l'errore sarà tanto più piccolo quanto più  $\lambda_s = \lambda_m$ .

Nel secondo caso si aggiunge alla resistenza vera della parete  $R_p$ , oltre alla resistenza del termoflussimetro  $R_s$ , anche una resistenza di contatto  $R_c$ , tanto più grande quanto meno efficacemente si sarà fatto aderire l'HFM alla parete. Il flusso termico misurato varrà dunque

$$(10) \quad \varphi' = \frac{\Delta T}{R'_p} = \frac{\Delta T}{R_p + R_s + R_c}$$

e l'errore relativo di misura sulla resistenza termica varrà

$$(11) \quad \varepsilon = \frac{R'_p - R_p}{R_p} = \frac{R_s + R_c}{R_p}$$

L'errore di misura sarà dunque tanto più grande quanto più bassa è la resistenza termica della parete in esame e quanto più elevate sono le resistenze di contatto e quella propria dell'HFM. La riduzione della resistenza dell'HFM ha

però come risultato la riduzione della differenza di temperatura attraverso le due facce del flussimetro, fonte a sua volta di errori di misura. Un buon compromesso consiste nell'impiegare materiali plastici con conduttività compresa fra 0.3 e 0.6 W/m·K e spessore dell'ordine di alcuni mm, per una resistenza variabile fra 0.01 e 0.02 m<sup>2</sup>K/W.

### 3. Distorsione tridimensionale

L'applicazione di un HFM sopra o all'interno di una parete provoca la distorsione delle linee di flusso e delle isoterme. Nel caso più frequente in cui  $\lambda_s < \lambda_m$ , le linee di flusso, da ortogonali alla parete, tendono a divergere in corrispondenza del bordo dell'HFM (vedi Fig. 8), mentre le seconde (ortogonali alle prime) tendono a concentrarsi all'interno del flussimetro. Soltanto nella zona centrale dell'HFM le linee di flusso ridiventano ortogonali e le isoterme parallele alla parete e al flussimetro. Il risultato è che, nel caso in cui  $\lambda_s < \lambda_m$ , viene misurato un flusso termico più basso di quello vero e viceversa.

L'adozione di guardie concentriche sufficientemente larghe consente di ridurre la distorsione tridimensionale.

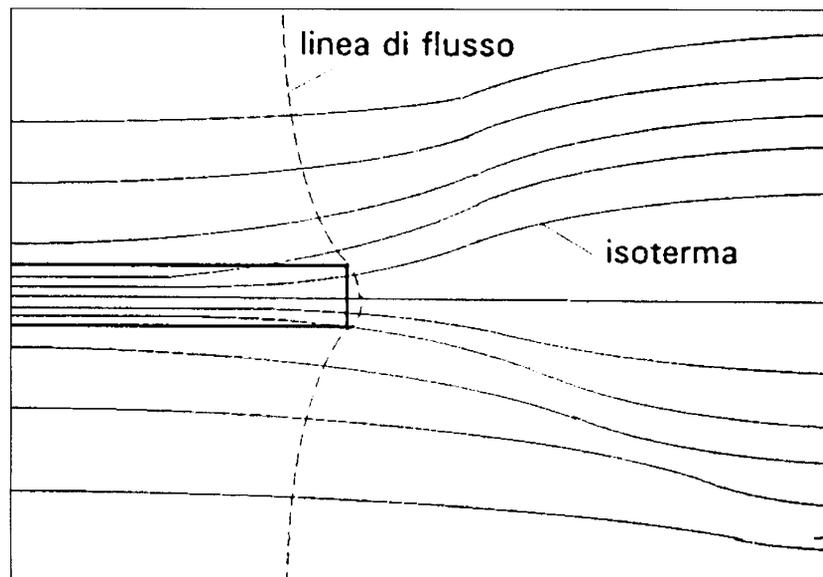


Fig. 8 - Distorsione tridimensionale in un HFM con  $\lambda_s < \lambda_m$ .

### 4. Effetto dell'irraggiamento solare diretto

Se l'HFM è applicato sulla superficie esso modifica gli scambi termici convettivi e radiativi normali della parete, producendo ancora una volta distorsioni tridimensionali del flusso. Ma soprattutto, occorre evitare che esso sia investito direttamente dalla radiazione solare. Il diverso comportamento ottico, infatti, indurrebbe sensibili errori di misura. Per questo motivo, è buona norma collocare sempre il termoflussimetro sulla faccia interna della parete.

### 5. Verifica del bilancio termico

Un ulteriore accorgimento consiste nel collocare un secondo termoflussimetro sulla faccia esterna della parete, in modo da verificare il bilancio termico sulla parete stessa, ovvero che l'energia termica entrante tenda a divenire uguale a quella uscente.

---

### 6. Problemi dinamici

Ogni HFM ha una sua costante di tempo, in parte derivante da fattori intrinseci (la sua capacità termica) e in parte derivante dalle condizioni al contorno (il coefficiente di scambio termico liminare). Negli HFM attualmente in commercio essa varia da meno di 1 secondo a 10 minuti o più. Una costante di tempo troppo breve non è di per sé un vantaggio, perché l'output del sensore risulta affetto da variazioni casuali ad elevata frequenza. D'altro canto, poiché l'HFM non è in grado di cogliere dinamiche caratterizzate da tempi inferiori alla sua costante di tempo, è necessario che quest'ultima non sia neanche troppo grande.

Va inoltre osservato che, dopo l'introduzione di un HFM in una parete, il campo termico risulta localmente modificato e il tempo che occorre per una redistribuzione delle temperature è dell'ordine della costante di tempo della parete e non dell'HFM.

In definitiva, gli accorgimenti da adottare possono essere così riassunti:

- *verifica della non esistenza di anomalie nella zona di misura*
- *conduttività non troppo diversa da quella del materiale che lo circonda (per evitare distorsioni 3D), non troppo bassa (per evitare distorsioni 1D), né troppo elevata (per non ridurre il segnale di  $\Delta T$ )*
- *buon contatto termico con la parete (resist. di contatto  $\approx 0$ )*
- *uso di un secondo HFM sulla faccia esterna della parete (verifica bilancio termico)*
- *uso di guardie per evitare distorsione del flusso termico*
- *evitare l'irraggiamento solare diretto*
- *costante di tempo né troppo bassa né troppo elevata (ordine di grandezza: 1')*

### Problemi di analisi dei dati

Il principale problema nell'impiego in campo degli HFM è l'analisi dei dati. Esistono essenzialmente due tecniche:

- il metodo della media
- il metodo dell'identificazione "black-box"

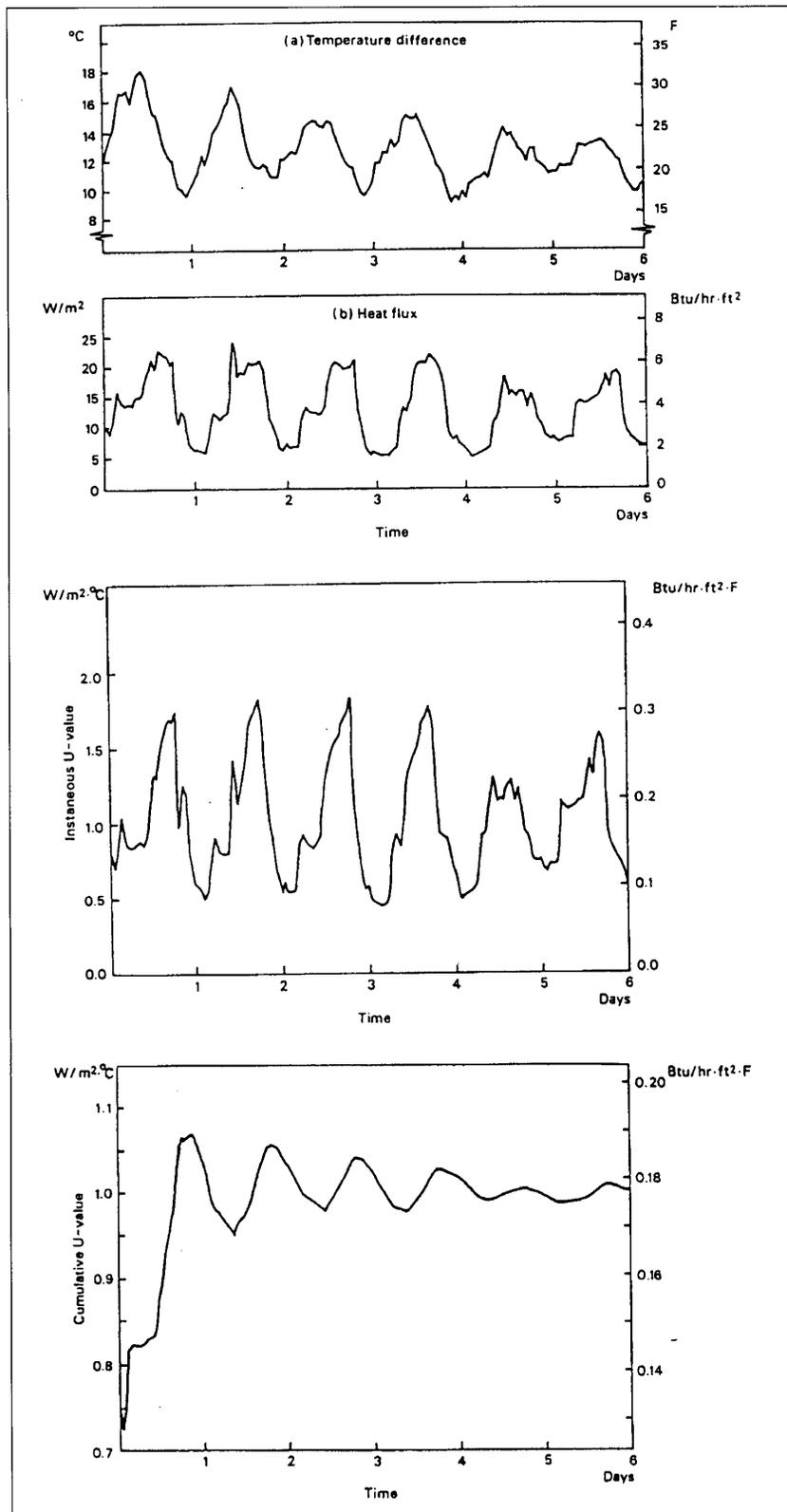
#### *Metodo della media*

Il metodo della media richiede di

- scegliere un periodo di tempo sufficientemente lungo
- scegliere un periodo di tempo con forti  $\Delta T$

I risultati tipici di un'analisi dell'evoluzione del flusso termico e della differenza di temperatura fra interno ed esterno in una parete reale sono illustrati in Fig. 9a, tratta da Anderson (1985). Come si vede dalla Fig. 9b, se si divide il flusso istantaneo per la differenza di temperatura registrata nello stesso istante si ottiene un risultato avente le dimensioni di una trasmittanza, ma senza alcun significato fisico.

Fig. 9 - Esempio di evoluzione della differenza di temperatura, del flusso termico, della trasmittanza "istantanea" e della trasmittanza media in una parete reale.



Tale valore, che potrebbe essere definito di “trasmittanza istantanea”, oscilla infatti attorno al valore esatto ( $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), discostandosene anche del 100 %. Viceversa, se la trasmittanza viene calcolata per mezzo della (2') si osserva (Fig. 9c) una evoluzione ancora oscillante, ma caratterizzata da una lenta, ma sicura convergenza verso il valore corretto. E' necessario dunque prolungare la misura per un periodo “sufficientemente lungo”, che, secondo alcuni autori (Bales, Bomberg & Courville, 1985) risulta circa pari a 12 volte la costante di tempo<sup>1</sup> della parete. Nell'impiego del metodo della media, un'altra importante limitazione è posta dalla differenza di temperatura: bassi  $\Delta T$  implicano bassi valori, e addirittura possibili inversioni di segno del flusso (reali o provocate da errori di misura). Ne consegue che i valori di R, C o U, che sono dati dal rapporto  $\Delta T/\phi$ , o  $\phi/\Delta T$ , divengono governati dagli errori di misura e possono allontanarsi di molto dal valore vero.

#### Metodi basati sull'identificazione “black-box”

Il metodo dell'identificazione “black-box” è impiegato da tempo per caratterizzare il comportamento di sistemi dinamici complessi di qualunque tipo, partendo semplicemente dalla conoscenza di una serie temporale di dati misurati. Viene detto “black-box” poiché non richiede la conoscenza del sistema fisico al quale lo si applica.

Gli esempi di simulazione di una parete attraverso un modello di questo tipo sono numerosi (si veda Cali et al., 1981 e, più recentemente, Di Tommaso et al., 1995). Essi si basano su uno schema come quello illustrato in Fig. 10.

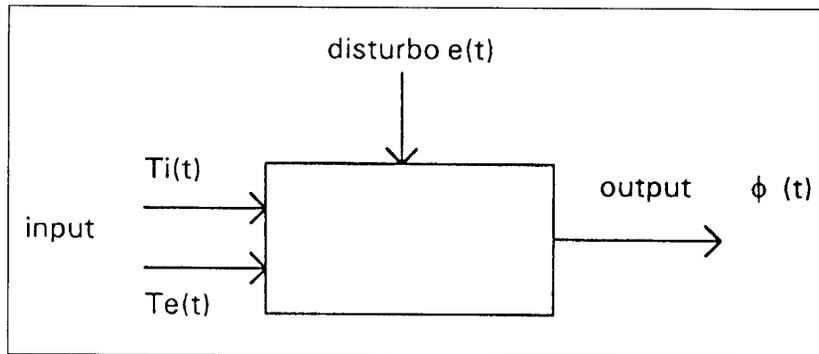


Fig. 10 - Esempio di modello “black-box” di una parete.

La relazione fra dati di ingresso (input) e di uscita (output) del sistema dinamico “parete” è illustrata dalla seguente equazione generica:

$$(12) \sum_{j=0} w(j) \cdot \phi(t-j) = \sum_{j=1} w_i(j) \cdot T_i(t-j) + \sum_{j=1} w_e(j) \cdot T_e(t-j) + e(t)$$

in cui i fattori di peso  $w$ ,  $w_i$ ,  $w_e$  permettono di “identificare” il modello. La determinazione di tali fattori e del “disturbo”  $e(t)$  è resa agevole dall'esistenza di numerosi codici commerciali destinati all'analisi numerica e in particolare all'identificazione dei sistemi. Da questi il calcolo della resistenza termica è immediato. Ad esempio:

<sup>1</sup>Per costante di tempo si intende in questo caso il semplice prodotto della capacità termica frontale della parete per la sua resistenza termica.

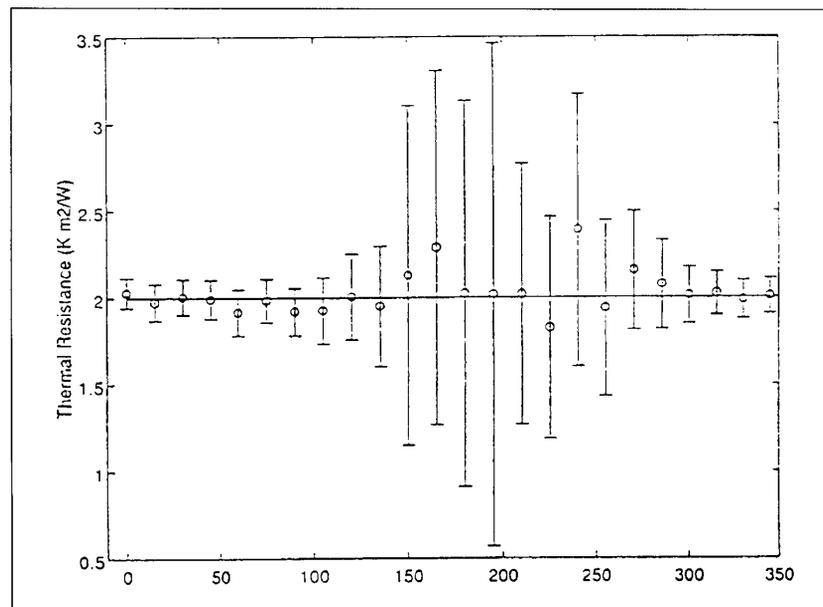
$$13) R_i = \frac{1 + w(1) + w(2) + \dots}{w_i(1) + w_i(2) + \dots}$$

$$14) R_e = \frac{1 + w(1) + w(2) + \dots}{w_e(1) + w_e(2) + \dots}$$

$$15) R = \frac{R_i + R_e}{2}$$

Anche nell'impiego dei metodi di identificazione risulta cruciale la scelta di periodi caratterizzati da differenze di temperatura marcate. Ne sono lampante dimostrazione i risultati ottenuti da Bloem et al. (1994) su una parete in muratura da 320 kg/m<sup>2</sup> (R = 2 m<sup>2</sup>K/W, R·C = 7,4 giorni): si veda in Fig. 11 come l'incertezza intorno al valore previsto divenga più sensibile nel periodo estivo (bassi ΔT).

Fig. 11 - Valore di R ed incertezza per 24 periodi di misura di 24 giorni ciascuno.



## 6. LO STANDARD CEN TC89/WG8

E' in via di traduzione e sta per essere inviato in inchiesta pubblica uno Standard CEN destinato alla determinazione in opera della trasmittanza delle pareti (Wouters et al., 1994). Nelle intenzioni del CEN lo Standard dovrebbe essere in futuro impiegato a sostegno delle disposizioni legislative che prescrivono valori minimi di resistenza termica.

Esso presenta alcuni aspetti notevolmente innovativi. Il metodo delle medie è infatti ancora accettato, ma viene data priorità ai *metodi di identificazione*.

Lo Standard non fornirà un algoritmo di identificazione, ma richiederà piuttosto che l'algoritmo adottato rispetti determinati requisiti di qualità. In partico-

---

lare esso dovrà superare 4 diversi test

- *test 1: senza disturbo*
- *test 2: con disturbo casuale*
- *test 3: con errore sistematico*
- *test 4: con trasporto congiunto di massa (vapor d'acqua) e calore*

### **Riferimenti bibliografici**

*Anderson, B.R., The measurement of U-value on site, Proc. ASHRAE/DOE/BTECC Conf., Clearwater, Fla., 1985.*

*Bales, E., Bomberg, M., Courville, G., (Eds.), Building Applications of Heat Flux Transducers, ASTM (American Society for Testing and Materials), Philadelphia, 1985.*

*Bloem, J.J., de Graaf, M., Wichers, H., Fourier Tables for Performance Check of Dynamic Analysis Methods - CEN TC89/WG8, Workshop on application of system identification in energy savings in buildings. EUR 15566 EN, 1994, pp. 383-391.*

*Calì, M., Fracastoro, G.V., Greco C., Marchis, V., Modelling and identification of thermal behaviour of buildings, Proc. of IASTED Int. Symposium, Cairo, Egypt, September 1-3, 1981. ACTA Press, Anaheim, California, 1981.*

*Di Tommaso, R.M., Nino, E., Cardinale, N., Bondi, P.; Determinazione della conduttanza di una parete mediante misure sperimentali, Atti del 50° Congresso ATI, St. Vincent, 11-15 Settembre 1995.*

*ISO, International Standard 8990. Thermal Insulation - Determination of steady-state thermal transmission properties - Calibrated and guarded hot box. Reference number ISO 8990:1994.*

*ISO, International Standard prEN 1934:1995. Masonry - Measurement of thermal resistance - Hot box method using heat flow meter, 1995.*

*Wouters, P., Geerinckx, B., De Ponte F., CEN and the in-situ Measurement of the R-value, Workshop on application of system identification in energy savings in buildings. EUR 15566 EN, 1994, pp. 367-382.*

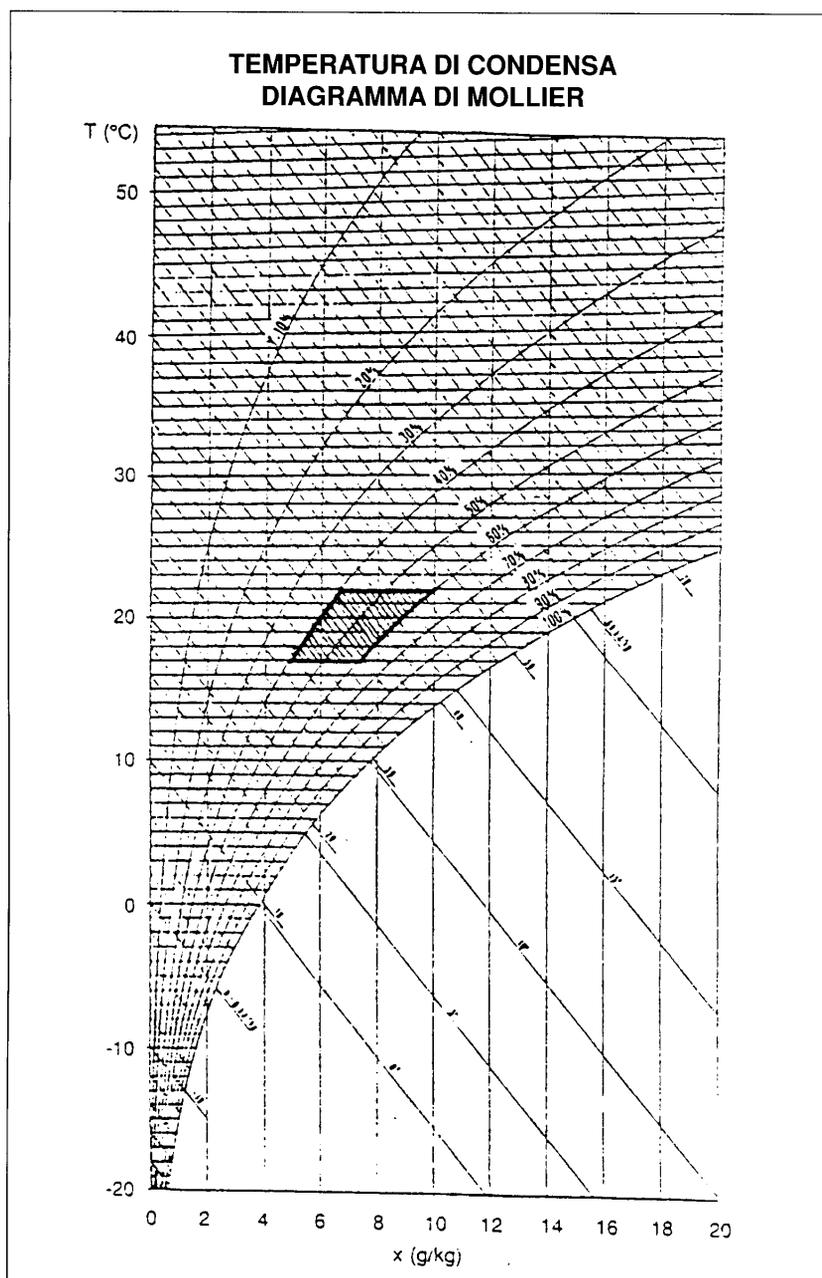
# **CARATTERISTICHE FISICHE E TERMICHE DELL'ISOLANTE AL VARIARE DELLE CONDIZIONI DI ESERCIZIO**

Il problema della condensazione (superficiale o interstiziale) nelle pareti perimetrali, dovuta alla sinergia dei fenomeni di trasporto del calore e del vapor acqueo all'interno del setto, può essere affrontato e risolto attraverso una scelta adeguata e una corretta applicazione dei materiali isolanti, nel rispetto delle specifiche caratteristiche prestazionali che variano sia in funzione delle proprietà intrinseche del materiale, sia in relazione alle condizioni dell'ambiente circostante.

A seguito di un'ampia trattazione teorica del fenomeno fisico della condensa, l'autore illustra non solo i margini di tollerabilità permessi dalla normativa italiana ma anche le regole base per una idonea progettazione.

Ampia parte del saggio è infatti dedicata, nella sezione conclusiva, alla illustrazione puntuale delle modalità di impiego e di posa in opera dei materiali isolanti; sia per le pareti verticali esterne, sia per i diversi sistemi di copertura.

L'aria, in funzione della sua temperatura può contenere in sospensione una certa quantità di vapore d'acqua: ad un aumento di temperatura corrisponde un aumento di quantità di vapore d'acqua che può essere contenuto nell'aria. Esiste un limite di quantità di vapore contenuto nell'aria per una determinata temperatura. Superato questo limite ogni incremento di vapore condensa e si trasforma in precipitazione d'acqua. L'aria in queste condizioni si definisce "SATURA" e il vapore contenuto si definisce "UMIDITA' ASSOLUTA" (Ua). Il diagramma di Mollier permette di verificare le situazioni che verranno qui descritte.



---

In condizioni normali l'aria non è satura ma contiene un certo volume di vapore (VR) inferiore al volume di vapore (VS) corrispondente alla situazione di saturazione.

L'umidità che ne deriva viene definita "UMIDITA' RELATIVA" (UR).

Ovvero se l'aria contenesse l'80% di umidità relativa ciò vorrebbe significare che contiene l'80% di umidità rispetto al valore di saturazione ad una data temperatura.

L'umidità relativa è ottenibile da:

$$UR = \frac{VR}{VS}$$

Il vapore contenuto nell'aria si trova ad una certa pressione di cui vengono fornite due definizioni:

Pressione parziale (PR)                      quando il vapore contenuto nell'aria non è a valori di saturazione

Pressione di saturazione (PS)              quando il vapore è contenuto nella quantità massima di saturazione.

Le relazioni sono le seguenti:

$$PR = \frac{VR}{V} \cdot P$$

$$PS = \frac{VS}{V} \cdot P$$

V = volume dell'aria

P = pressione dell'aria

Il valore di umidità relativa dell'aria può anche essere derivato da:

$$UR = \frac{PR}{PS}$$

E' doveroso sottolineare un concetto molto importante:

Pressione parziale:                              è funzione della temperatura e della umidità relativa

Pressione saturazione:                        è funzione della sola temperatura.

Le differenze di pressione fra i diversi ambienti creano le condizioni per cui il vapore si sposti attraverso gli elementi che li suddividono.

Temperature elevate indicano quasi sempre pressioni elevate di vapore così come temperature basse indicano pressioni basse.

Quindi una parete viene attraversata da un flusso di vapore che, durante le condizioni invernali, proviene dall'interno e va verso l'esterno.

I materiali in genere, e gli isolanti in modo particolare, reagiscono in modo differente al passaggio del vapore.

Vengono utilizzate normalmente due grandezze per esprimere la caratteristica di trasmistabilità del vapore:

Permeabilità al vapore:  $\partial$

Fattore di resistenza alla diffusione del vapore:  $\mu$

La permeabilità è un valore effettivo, quindi il numero che identifica la permeabilità è espresso in Kg/s m Pa ed è la reale quantità di vapore che transita attraverso il materiale (ovvero la quantità di vapore Kg che transita in un secondo attraverso un metro di spessore con la differenza di pressione di un Pascal).

Il fattore di resistenza invece è un valore adimensionale quindi il numero che lo identifica è qualche cosa di relativo.

Infatti viene riferito all'aria che ovviamente avrà valore unitario.

E' possibile passare da una grandezza all'altra mediante semplici relazioni che tengono presente la permeabilità dell'aria.

I valori numerici riportati sono stati derivati dalla norma UNI 10351 (Materiali da costruzione, conduttività termica e permeabilità al vapore).

$\partial$  = permeabilità al vapore [Kg/s m Pa]

$\mu$  = fattore di resistenza alla diffusione del vapore

$$\mu = \frac{\partial \text{ aria}}{\partial \text{ materiale}} \quad \text{riferito ad un materiale}$$

$$\mu = 1 \quad \text{riferito all'aria}$$

$$\partial \text{ aria} = 193 \times 10^{-12} \quad \text{Kg/S m Pa}$$

$\mu S$  = quantità che pone in relazione lo spessore del materiale rispetto a quello dell'aria

Esempi:

1) EPS 20 Kg/mc  $\mu = 40$

$S = 0,05$  m spessore

$$\mu \times S = 40 \times 0,05 = 2,0 \text{ m}$$

significa che 0,05 m (= 5 cm) di EPS corrispondono a 2,0 m di aria.

2) EPS 20 Kg/mc  $\mu = 40$

il valore di permeabilità sarà:

$$\begin{aligned} \partial &= \frac{\partial \text{ aria}}{\mu} = \frac{193 \times 10^{-12}}{40} = 4,8 \times 10^{-12} \quad \text{Kg/s m Pa} \\ &= 4,8 \times 10^{-9} \quad \text{g/s m Pa} \end{aligned}$$

3) EPS 20 Kg/mc  $\partial = 4,8 \times 10^{-12}$  Kg/s m Pa

il valore del fattore di resistenza sarà:

$$\mu = \frac{\partial a}{\partial \text{materiale}} = \frac{193 \times 10^{-12}}{4,8 \times 10^{-12}} = 40$$

Per completezza è bene riportare altre grandezze che si incontrano nelle verifiche delle condense superficiali e/o interstiziali.

$$\text{Permeanza al vapore } M = \frac{\partial}{\text{spessore}} \quad [\text{Kg/S m}^2 \text{ Pa}]$$

$$\text{Resistenza al vapore } R = \frac{1}{M}$$

Per maggiore chiarezza è opportuno realizzare una analogia fra vapore e calore:

CALORE	VAPORE
TRASMISSIONE DEL CALORE	TRASMISSIONE DEL VAPORE
QUANTITA' DI CALORE CHE SI TRASMETTE	QUANTITA' DI VAPORE CHE ATTRAVERSA LA PARETE
$Q = KS (T_i - T_e)$ [W]	$V = MS (P_i - P_e)$ [Kg/S]
$K = \frac{1}{R}$ trasmittanza termica	$M = \frac{1}{RV}$ permeanza
$R = \frac{S}{\lambda}$ resistenza termica	$R_v = \frac{S}{\Delta \partial}$ resistenza vapore
$\lambda$ = conducibilità termica TI= temperatura interna TE= temperatura esterna	$\partial$ = permeabilità al vapore PI= pressione vapore interna PE= pressione vapore esterna S = spessore parete

Ogni materiale si comporta in modo differente in funzione della propria natura ma anche l'ambiente che lo circonda influenza i risultati finali in modo determinante.

Un dato di base per la verifica della condensa e quindi delle caratteristiche termiche dei materiali sono le produzioni di vapore all'interno di un ambiente:

**PRODUZIONE DI VAPORE IN EDIFICIO**

<b>CAUSA</b>	<b>QUANTITA' KG/S</b>
<b>FORNELLO A GAS (SOLO FIAMMA):</b>	
Ø PICCOLO	28 x 10 <sup>-6</sup>
Ø MEDIO	55 x 10 <sup>-6</sup>
Ø GRANDE	111 x 10 <sup>-6</sup>
<b>COTTURA CIBI (IN AGGIUNTA ALL'UMIDITA' DI COMBUSTIONE)</b>	
PENTOLA Ø 20 CM, IN EBOLLIZIONE (SCOPERTA)	250 x 10 <sup>-6</sup>
PENTOLA Ø 20 CM, IN EBOLLIZIONE (COPERTA)	97 x 10 <sup>-6</sup>
VALORE MEDIO IN GENERE	111 x 10 <sup>-6</sup>
<b>DOCCIA CALDA</b>	555 x 10 <sup>-6</sup>
BAGNO CALDO IN VASCA	83 x 10 <sup>-6</sup>
PANNI STESI AD ASCIUGARE (5 KG IN AMBIENTE A 20°C Eφ = 40%)	55 x 10 <sup>-6</sup>
<b>CIBI CALDI IN TAVOLA, PER PERSONA</b>	4 x 10 <sup>-6</sup>
<b>PERSONA</b>	
IN RIPOSO	14 x 10 <sup>-6</sup>
IN ATTIVITA' LEGGERA	28 x 10 <sup>-6</sup>
IN LAVORO LEGGERO	55 x 10 <sup>-6</sup>
IN LAVORO PESANTE O GINNASTICA	111 x 10 <sup>-6</sup>

Un passo successivo risiede nell'identificazione delle condizioni al contorno che permettono di definire i parametri base della verifica della condensa superficiale od interstiziale.

In via del tutto preliminare ed in attesa di norme specifiche di settore, usualmente vengono considerate le seguenti condizioni:

**VERIFICA TERMOIGROMETRICA PER LE SEGUENTI CONDIZIONI AL CONTORNO**

CONDIZIONI ESTERNE INVERNALI:	TE: - 5°C
	φE: 90 %
CONDIZIONI INTERNE INVERNALI:	TI: 20°C
	φI: 50 %

**PERIODO DI CONDENSAZIONE**

INVERNALE: 0-180 GIORNI, IN FUNZIONE DELLA  
SITUAZIONE TERMOIGROMETRICA  
DELLA PARETE

### CONDIZIONI ESTERNE ED INTERNE

ESTIVE:  $T_I = T_E: 20^{\circ}\text{C}$   
 $\phi_I = 80 \%$   
 $\phi_E = 70 \%$

### PERIODO DI ASCIUGATURA

ESTIVO: 60 GIORNI

La verifica igrometrica delle pareti e quindi dello stato dei materiali che le compongono esula dalla presente relazione; in ogni caso è opportuno rispettare alcune relazioni di calcolo per creare una conoscenza ed una risoluzione possibile di molte situazioni.

La pressione di vapore nello spessore del materiale è ricavabile dalla seguente relazione:

$$P_K = P_I - M (P_I - P_E) \sum \frac{l}{M}$$

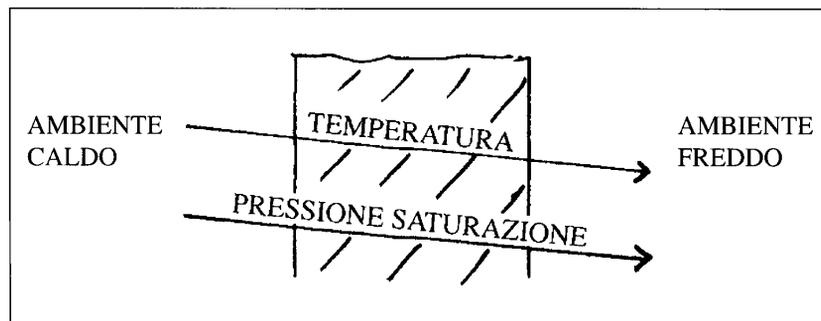
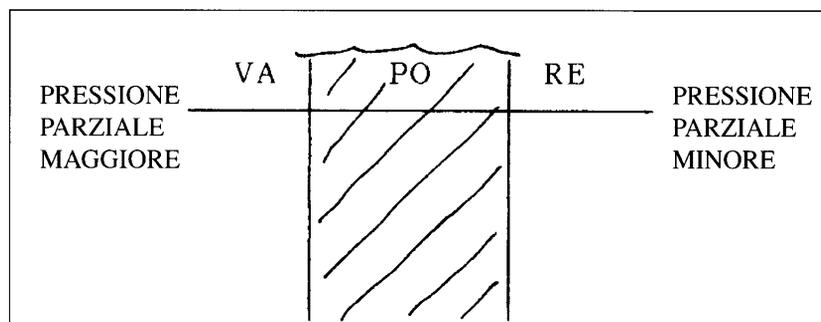
$P_I = P_{SI} \times U_{RI}$

$P_E = P_{SE} \times U_{RE}$

$I = \text{AMBIENTE INTERNO}$

$E = \text{AMBIENTE ESTERNO}$

Il vapore transita in modo preciso da un ambiente all'altro con le seguenti modalità:



La condensa avviene quando:

## LA PRESSIONE PARZIALE

### INCONTRA

## LA PRESSIONE SATURAZIONE

Esistono due quantità che devono essere pareggiate per non danneggiare nell'arco di vita dell'edificio i materiali che lo compongono:

Quantità di vapore condensabile in inverno

Quantità di vapore evaporabile in estate

E' anche possibile determinare le quantità in base ai dati fisici dei materiali ed alle condizioni degli ambienti:

QUANTITA' CONDENSABILE [KG/M\_]

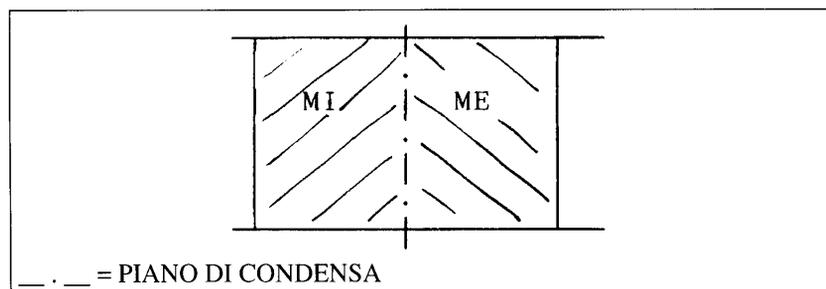
NEL PERIODO INVERNALE (gg)

QC: gg [MI (PVi - PS) - ME (PSx - PVe)]

QUANTITA' EVAPORABILE [KG/M\_]

NEL PERIODO ESTIVO (gg)

QE = gg [MI (PS - PVI) + ME (PS - PVE)]



GG = numero di giorni

MI = permeanza vapore strato interno rispetto piano condensa

ME = permeanza vapore strato esterno rispetto piano condensa

PVI= pressione vapore ambiente interno

PVE= pressione vapore ambiente esterno

PS = pressione vapore nel piano di condensa

Secondo le norme italiane in una parete perimetrale è possibile permettere la condensa a patto che questa soddisfi le seguenti regole:

- 1) Non pregiudica le caratteristiche fisiche e di durata del materiale
- 2) Quantità condensata  
è < 2 % della massa del materiale
- 3) non formazione di condensa a  $T < 0^{\circ} C$
- 4) quantità evaporata nel periodo estivo > quantità condensata nel periodo invernale

Esistono alcune regole di base per la corretta progettazione della parete che così possiamo sintetizzare:

- 1) Nei casi in cui non si ha formazione di condensa all'interno della parete, cioè nella massa, il flusso di vapore entrante nella parete è eguale a quello uscente.
- 2) La formazione di condensa può essere evitata mantenendo bassi i valori della pressione di vapore e mantenendo elevati i valori della pressione di saturazione in relazione ad ogni singolo strato.

In fase di progettazione di un involucro edilizio è possibile operare non solo attraverso una accurata scelta dei materiali da impiegare in funzione della loro resistenza al passaggio di vapore, ma soprattutto attraverso la realizzazione di una corretta sequenza degli strati in modo che la resistenza alla diffusione del vapore assuma valori decrescenti dall'interno verso l'esterno e la resistenza termica assuma invece valori crescenti dall'interno verso l'esterno.

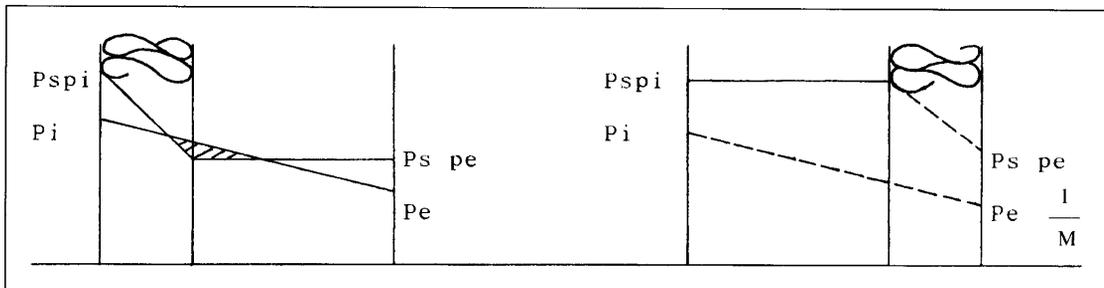
Bisogna cioè evitare l'inserimento di strati di sbarramento al passaggio del vapore verso l'esterno (lato freddo); essi manterrebbero elevata la pressione parziale di vapore all'interno dell'elemento della costruzione favorendo il raggiungimento dei valori corrispondenti alla saturazione.

- 3) E' possibile evitare il fenomeno della condensazione anche mantenendo elevati i valori della pressione di saturazione all'interno della parete; una corretta collocazione di un materiale isolante fa sì che ciò sia possibile.

Si badi però che un errato posizionamento dello strato coibente non solo può rendere inefficace il suo contributo all'eliminazione del fenomeno, ma può al contrario accentuarlo.

Si considerino, ad esempio, con il diagramma di Glaser, due pareti aventi la stessa resistenza al passaggio del vapore

$\frac{l}{M}$ , l'una isolata dall'interno, l'altra dall'esterno.



Alla diversa posizione dello strato isolante corrisponde un diverso diagramma delle temperature e conseguentemente un diverso andamento delle pressioni di saturazione, mentre rimane inalterato quello delle pressioni parziali di vapore. Disponendo l'isolante all'interno la temperatura in corrispondenza di esso decresce rapidamente e si ha maggiore probabilità che essa raggiunga il valore della temperatura di rugiada, con conseguente formazione di condensa nella parte posteriore dell'isolante.

Per questo motivo, quando si realizza l'isolamento di una parete dall'interno, bisogna sempre prevedere la presenza di una barriera al vapore sul lato caldo. Vengono riportati alcuni dati inerenti le caratteristiche dei materiali isolanti in riferimento alle condizioni in cui possono operare.

Il valore della conducibilità termica può variare notevolmente ad esempio al variare dell'umidità e dello spessore.

Vengono inoltre riportate alcune correlazioni fra le differenti caratteristiche elaborate da un istituto internazionale sull'energia I.E.A. ed alcuni dati ricavati da norma UNI 10351.

(vedi Fig. 1, 2, 3, 4)

MATERIALE ISOLANTE	
CONDUCEBILITA' $\lambda$	
PERMEABILITA' $\partial$	
CONDUCEBILITA' RIFERIMENTO: $\lambda_m$	
<u>SPESSORE <math>\geq 10</math> CM</u>	
<u>T MEDIA 20 °C</u>	
<u>UMIDITA' &lt; 2 % MASSA</u>	
<u>COEFFICIENTE MAGGIORAZIONE M:</u>	
CONDIZIONI ESERCIZIO	
UMIDITA'	
INVECCHIAMENTO	
INSTALLAZIONE	
TOLLERANZE SPESSORE (SE 10 CM, CON SPESSORI MINORI IL VALORE DI M VARIA)	
<u>CONDUCEBILITA' UTILE DI CALCOLO</u>	

Fig. 1 Parametri che influenzano le caratteristiche dei materiali isolanti.

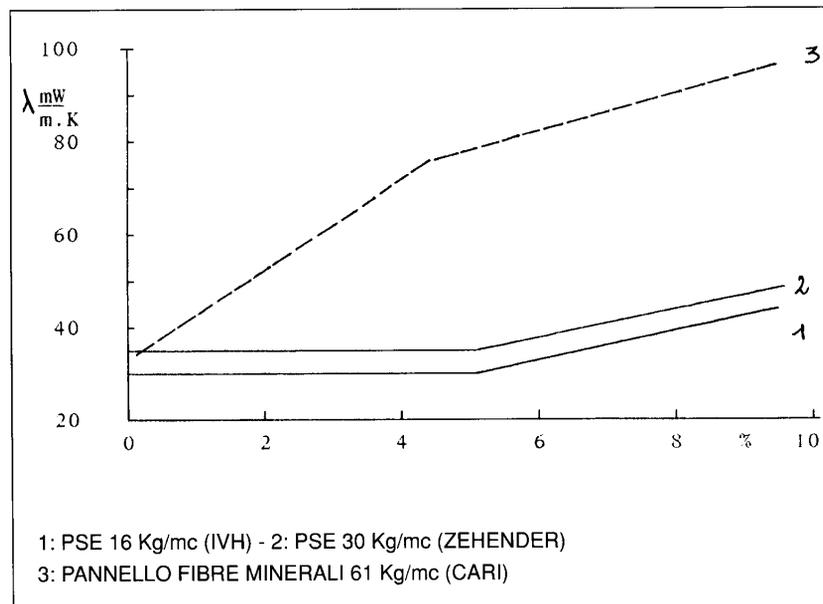


Fig. 2 Variazione della conducibilità termica al variare del contenuto di umidità

PROPRIETA' MATERIALI	DENSITA' $\gamma$ Kg/mc	CAPACITA' TERMICA J/KgK	CONDUCIBILITA' TERMICA W/mK	FATTORE DI RESISTENZA AL VAPORE
POLIURETANO	20 ÷ 40	1.470	$0,02+4,6 \times 10^{-4} \gamma + 0,839/\gamma$	29 1,7 (0,088 $\gamma$ )
POLISTIRENE ESTRUSO	25 ÷ 55	1.470	$0,0085+1 \times 10^{-4} \gamma + 0,428/\gamma$ $0,0241+1,3 \times 10^{-4} w + 5,9 \times 10^{-5} w^2$	164 114+3,42 ( $\gamma - 20$ )
POLISTIRENE ESPANSO	13 ÷ 40	1.470	$0,02+1,2 \times 10^{-4} \gamma + 0,239/\gamma$ $0,0344+0,00199 W$	35 +2,11 ( $\gamma - 15$ )
LANA DI ROCCIA	32 ÷ 191	840	$0,0311+3,2 \times 10^{-5} \gamma + 0,211/\gamma$	1,5
LANA DI VETRO	11 ÷ 136	840	$0,0262+5,6 \times 10^{-5} \gamma + 0,184/\gamma$	1,2

W = CONTENUTO DI ACQUA

Fig.3 Valori dei principali parametri di materiali isolanti secondo I.E.A.

MATERIALI	CONDUCIBILITA' ISOLANTI				MATERIALI	CONDUCIBILITA' ISOLANTI			
	$\delta$ (Kg/mc)	$\lambda_m$ (W/mK)	M%	$\lambda$ (W/mK)		$\delta$ (Kg/mc)	$\lambda_m$ (W/mK)	M%	$\lambda$ (W/mK)
<b>FIBRE MINERALI</b>					<b>FIBRE MINERALI</b>				
<b>- FIBRE DI VETRO</b>					<b>- FIBRE MINERALI OTTENUTE DA LOPPE DI ALTOFORNO</b>				
° FELTRI RESINATI	11	0.048		0.053	° FELTRI	40	0.049	10	0.054
	14	0.044	10	0.048		40	0.049		0.054
	16	0.042		0.046	° PANNELLI SEMIRIGIDI E RIGIDI	60	0.044		0.048
	16	0.042		0.046		80	0.042	10	0.046
° PANNELLI SEMIRIGIDI	20	0.039	10	0.043		100	0.042		0.046
	30	0.036		0.040		150	0.044		0.048
° PANNELLI RIGIDI	100	0.035	10	0.038	<b>- MATERIE PLASTICHE CELLULARI</b>				
<b>- FIBRE MINERALI OTTENUTE DA ROCCE FELDSPATICHE</b>					POLISTIRENE (CONTENUTO UMIDITA' IN PARETI INTERNE <sup>3</sup> ) DA 1 A 2 %;				
° FELTRI RESINATI	30	0.041	10	0.045	PER APPLICAZIONI CONTRO IL TERRENO <sup>3</sup> SINO AL 20%;				
	35	0.040		0.044	PER I PRODOTTI ESTRUSI I VALORI DI UMIDITA' INDICATI DEVONO				
° PANNELLI SEMIRIGIDI	40	0.038	10	0.042	ESSERE CIRCA DIMEZZATI. LA CONDUTTIVITA' AUMENTATA 0,1 A 0,5 %				
	55	0.036		0.040	PER OGNI% DI UMIDITA')				
	80	0.035		0.039	° ESPANSO SINTERIZZATO PER	15	0.041	10	0.045
° PANNELLI RIGIDI	100	0.034	10	0.038	ALLEGGERIMENTO STRUTTURE				
	125	0.034		0.038	° ESPANSO SINTERIZZATO, IN	20	0.037	10	0.041
° PANNELLI IN FIBRE ORIENTATE	100	0.044	10	0.048	LASTRE RICAVATE DA	25	0.036	10	0.040
					BLOCCHI	30	0.036	10	0.040
<b>- FIBRE MINERALI OTTENUTE DA ROCCE BASALTICHE</b> (verificare l'influenza su m delle tolleranze di spessore, il valore indicato ipotizza il 10%=					(conforme a UNI 7819, le masse volumiche sono quelle nominali indicate nella norma; conduttività di riferimento ricalcolate a 293 K e per 10 cm di spessore)				
	60	0.037	20	0.044	° ESPANSO SINTERIZZATO, IN	10	0.051	10	0.059
° FELTRI TRAPUNTATI	80	0.037	20	0.044	LASTRE RICAVATE DA BLOCCHI	15	0.043	10	0.047
	100	0.038	20	0.045		20	0.040	10	0.044
						25	0.039	10	0.042
						30	0.038	10	0.042

Fig. 4 DA UNI 10351

MATERIALI		CONDUCIBILITA' ISOLANTI									
		$\delta$	$\lambda_m$	M%	$\lambda$			$\delta$	$\lambda_m$	M%	$\lambda$
- MATERIE PLASTICHE CELLULARI		(Kg/mc)	(W/mK)		(W/mK)	- MATERIE PLASTICHE CELLULARI		(Kg/mc)	(W/mK)		(W/mK)
°ESPANSO, IN LASTRE STAMPATE PER TERMOCOMPRESSIONE		20	0.036	10	0.040	° POLIISOCIANURATI IN LASTRE RICAVATE DA BLOCCHI		32	0.025	30	0.032
		25	0.035	10	0.039			40	0.023	40	0.032
		30	0.035	10	0.039	°POLIURETANI ESPANSI IN SITU		37	0.023	50	0.035
° ESPANSO ESTRUSO, CON PELLE (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio anche senza protezione dall'acqua; per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)		30	0.031	10	0.036	°RESINE FENOLICHE IN LASTRE)		35	0.034		0.041
		35	0.030	10	0.035			60	0.037	20	0.044
								80	0.038		0.046
						°RESINE UREICHE ESPANSE IN SITU (conduttività di riferimento e massa volumica relative a materiali essiccati in aria a 293 K e 50% di umidità relativa. Contenuti di umidità in esercizio del 20%, il valore di m è dovuto alla fessurazione del materiale ed al contenuto di umidità, dati applicabili non oltre 8 cm di spessore)		8	0.038		0.057
								12	0.036	50	0.054
								15	0.034		0.051
								30	0.032		0.048
°ESPANSO ESTRUSO, SENZA PELLE (valori di calcolo applicabili fino a 10 anni di esercizio, per invecchiamento a tempo indeterminato non sono disponibili dati convalidati sperimentalmente)		30	0.037	10	0.041						
		50	0.028	20	0.034						
		25	0.031	10	0.034						
°POLIURETANI IN LASTRE RICAVATE DA BLOCCHI		32	0.023	40	0.032						
		40	0.022	45	0.032						
		50	0.022	45	0.032						

Fig. 4 (seguito)

## MATERIALI ISOLANTI ED APPLICAZIONI

### Isolamento termico del sottotetto non praticabile

La tecnica più semplice e meno costosa per isolare il sottotetto non praticabile consiste nello stendere il materiale isolante direttamente sul solaio.

### Isolamento termico del sottotetto abitabile

Quando il sottotetto è abitabile l'isolante, in rotoli o in pannelli, si applica alla falda inclinata della copertura.

L'intervento può essere realizzato:

- direttamente al di sotto della copertura mediante pannelli preformati (in polistirolo espanso o poliuretano), dotati di incastro laterale per una perfetta giunzione e posati sopra l'orditura del tetto a sostegno delle tegole.
- mediante la realizzazione al di sopra del solaio e sotto la copertura di un'orditura in listelli in legno tra cui si dispone l'isolante. Questo tipo di intervento è realizzabile solo in edifici di nuova costruzione oppure operando un completo rifacimento del tetto negli edifici esistenti.
- al di sotto dell'orditura del tetto (pannelli e materassini in fibra minerale, pannelli in polistirolo, poliuretano).

---

Disponendo il materiale isolante al di sotto dell'orditura del tetto, deve essere garantita la necessaria ventilazione creando una lama di aria ventilata continua di spessore minimo di 3 cm., mentre l'isolante può essere collocato:

- tra le travi; in questo caso le dimensioni delle travi stesse e la necessità di lasciare la lama d'aria limitano lo spessore dell'isolante.
- sopra le travi; questa soluzione garantisce la lama d'aria, ma rende necessaria la preparazione del supporto mediante applicazione di nuovi listelli in legno.
- tra e sopra le travi; questa soluzione è utilizzata quando lo spessore dell'isolante è considerevole. Il materiale isolante collocato al di sotto dell'orditura del tetto, in pannelli o in materassini, viene applicato mediante fissaggio meccanico direttamente alle travi o a listelli applicati alle travi e rivestito con paramenti in cartongesso, legno o compensato per migliorare le caratteristiche meccaniche e decorative dell'isolante.

### **Isolamento termico della copertura piana**

L'intervento sulla copertura piana deve essere studiato e realizzato con particolare attenzione perchè dalla posizione e dalla natura dell'isolante e dalla rigorosa osservanza delle modalità di posa in opera dipendono l'efficacia e la durata dell'intervento stesso nonchè la comparsa o meno di alcuni gravi inconvenienti che possono verificarsi, quali la condensazione nella massa e il deterioramento della copertura impermeabile.

L'isolamento termico di una copertura piana può essere realizzato sia disponendo il materiale isolante al di sopra del manto impermeabilizzante (costituzione di un "tetto rovescio") sia sovrapponendo al materiale isolante l'impermeabilizzazione (costituzione di una copertura di tipo tradizionale).

La prima soluzione presenta il vantaggio di essere facilmente messa in opera e di creare, con l'isolante, una valida protezione agli sbalzi termici per il manto impermeabile. L'isolante impiegato deve però possedere alcune specifiche qualità quali:

- bassissimo assorbimento d'acqua e permeabilità al vapore acqueo
- basso coefficiente di dilatazione lineare
- buona resistenza meccanica
- elevata densità.

I materiali più diffusamente utilizzati sono il polistirolo estruso e il vetro cellulare, in lastre posate direttamente sull'impermeabilizzazione e protette con ghiaia o con una pavimentazione, e la schiuma poliuretanicata prodotta e spruzzata in situ con rivestimento costituito da una guaina resistente ai raggi ultravioletti.

Nella creazione di un "tetto rovescio", assume fondamentale importanza la qualità del manto impermeabilizzante (guaina a base di materie plastiche, bitume, asfalto): il manto impermeabile non deve presentare alcuna imperfezione o interruzione perchè rappresenta la indispensabile barriera al vapore) e una al di sopra a protezione dell'isolante stesso. Questo secondo strato impermeabile si rende necessario perchè i materiali isolanti sono caratterizzati da valori di assorbimento d'acqua relativamente elevati e non garantiscono quindi la sufficiente impermeabilizzazione alla soletta sottostante.

In ogni caso nell'intervento di coibentazione termica della copertura piana si deve porre particolare cura nel creare al di sotto dello strato isolante una corretta pendenza (1,5÷2%) verso i canali di scarico per una rapida evacuazione

---

dell'acqua piovana, nel garantire al manto impermeabile la necessaria resistenza alla diffusione del vapore e nel costituire una adeguata protezione (guaina, strato di ghiaia, pavimentazione) al materiale isolante.

### **Isolamento termico del solaio su locale non riscaldato o sull'esterno**

L'isolamento termico di solai sull'esterno (passaggi aperti) o su locale non riscaldato, si realizza generalmente con l'applicazione dell'isolante al di sotto del solaio stesso, poichè tale soluzione si presenta di più facile esecuzione.

L'intervento può venire effettuato con la posa di pannelli o di complessi isolanti mediante incollaggio o fissaggio meccanico oppure mediante spruzzatura del materiale isolante direttamente sulla superficie da isolare.

L'adozione di un materiale isolante applicato a spruzzo è particolarmente vantaggioso negli interventi su superfici curve o irregolari e quando sono presenti ostacoli (per esempio tubazioni) perchè consente comunque la realizzazione di un rivestimento continuo.

L'intervento di isolamento termico di un solaio su sottosuolo o su vespaio aerato può essere realizzato, invece, solo disponendo il materiale isolante al di sopra della soletta.

In questo tipo di soluzione si deve disporre uno strato impermeabile al di sotto dell'isolante (a protezione dall'umidità ascendente) mentre l'eventuale barriera al vapore (in polietilene, neoprene, cartonfeltro bitumato, ecc.) deve essere posta al di sopra, verso l'interno del locale.

### **Isolamento termico della parete verticale**

L'intervento può essere realizzato:

- dall'interno della parete
- dall'esterno della parete
- nella intercapedine della parete
- realizzando la parete stessa con un materiale isolante.

### **Isolamento termico dall'interno**

Viene soprattutto utilizzato in interventi sugli edifici esistenti perchè consente il mantenimento delle caratteristiche esterne degli edifici su cui si opera e risulta certamente meno costoso e più facilmente eseguibile rispetto all'isolamento dall'esterno in quanto non sono necessarie protezioni agli agenti atmosferici e l'uso di impalcatura.

Per contro questo tipo di intervento presenta un certo numero di svantaggi quali:

- non elimina i ponti termici dovuti alle connessioni della struttura (muro-pavimento, muro-divisori, ossatura, serramenti esterni);
  - conduce ad una riduzione del volume abitabile;
  - non consente di sfruttare l'inerzia termica della parete;
- comporta sovente lo spostamento e l'adattamento di numerosi elementi (corpi scaldanti, impianti elettrici o idrici, ecc.);
- rende indispensabile il rifacimento del rivestimento interno della parete.

L'isolamento dall'interno può essere realizzato secondo due tecnologie, la prima consiste nell'inserimento del materiale coibente tra il muro e un rivestimento interno costituito da cartongesso, intonaco (su rete porta-intonaco) o perlina in legno, mentre la seconda consiste nell'applicazione diretta di un complesso isolante-cartongesso già assemblati.

---

Il fissaggio è generalmente eseguito mediante incollaggio, ma qualora le condizioni e le caratteristiche del muro impediscano tale soluzione, è possibile ricorrere ad un fissaggio meccanico disponendo sul muro una maglia di listelli in legno sui quali si può inchiodare l'isolante.

Per questo tipo di intervento particolare attenzione va posta al problema della formazione di condensa e della migrazione del vapore acqueo: è assolutamente necessaria l'adozione della barriera al vapore disposta verso l'interno del locale, soprattutto in località a clima rigido, e quando la destinazione d'uso del locale comporta una elevata produzione di vapore acqueo.

### **Isolamento termico dall'esterno**

A differenza dell'isolamento termico dall'interno, l'intervento di coibentazione dall'esterno della parete (sistema a cappotto) consente di:

- eliminare i ponti termici dovuti alle connessioni della struttura;
- proteggere la muratura dagli sbalzi di temperatura;
- non arrecare disagi agli occupanti durante la posa in opera;
- migliorare un aspetto esterno mediocre dell'edificio;
- sfruttare l'inerzia termica della parete;
- livellare le variazioni di regime dell'impianto, permettendo interruzioni notturne sull'erogazione della potenza termica senza che l'edificio subisca notevoli raffreddamenti.

Per contro, negli edifici esistenti, comporta la risoluzione di alcuni problemi, come ad esempio, l'avanzamento dei davanzali, l'allargamento dei cornicioni, lo spostamento delle canalizzazioni.

In generale è superfluo prevedere una barriera al vapore; soltanto nel caso di impiego di pannelli in fibra minerale è necessario uno studio sulla migrazione del vapore attraverso la parete, per determinare se si rende indispensabile la posa della barriera sul lato caldo dell'isolante.

Nel caso di un rivestimento esterno costituito da lastre risulta molto efficace frapporre; tra la sua faccia interna e l'isolante una lama d'aria ventilata (creazione di una "facciata ventilata"); la lama d'aria attenua gli sbalzi termici e permette l'eliminazione dell'umidità migrata attraverso la parete e l'isolante.

In alcuni casi è però necessario prevedere ugualmente una barriera al vapore sul lato caldo della parete al fine di limitare la condensazione che può venirsi a creare sul lato interno del rivestimento col rischio di un sensibile raffreddamento sui punti di fissaggio e di penetrazione dell'acqua nell'isolante. Il fissaggio delle lastre di rivestimento avviene mediante la costituzione di un'ossatura metallica o in legno posta davanti all'isolante, sufficientemente discostata per creare la lama d'aria ventilata.

### **Isolamento termico nell'intercapedine**

Per questo tipo di intervento si deve operare una netta distinzione tra edifici di nuova costruzione ed edifici esistenti.

Nel primo caso si realizzano delle murature "sandwich", costituite da due pareti in calcestruzzo (prefabbricate o gettate in opera) o da pareti tradizionali in laterizio con interposto il materiale isolante. Per questo impiego si deve utilizzare un isolante assolutamente idrofugo e imputrescibile con alta permeabilità al vapore.

La posa di una barriera al vapore continua è possibile nelle murature in laterizio e per quelle in calcestruzzo gettate in opera, mentre è praticamente impos-

---

sibile nei sistemi prefabbricati; in questo caso dovrà essere considerata con molta cura la scelta dell'intonaco esterno di finitura che dovrà essere permeabile al vapore, pur garantendo l'impermeabilizzazione all'acqua piovana. Negli edifici esistenti l'intervento consiste invece nel riempimento dell'intercapedine d'aria lasciata tra i due paramenti che costituiscono la muratura.

### **Realizzazione della parete con materiale isolante**

L'intervento consiste nella costruzione di pareti utilizzando materiali isolanti che rappresentano caratteristiche di densità, resistenza meccanica e agli agenti atmosferici tali da consentire il loro uso anche come materiali strutturali.

I materiali e gli elementi isolanti, i sistemi e i processi di produzione e messa in opera sono numerosi; si possono essenzialmente ricondurre a tre:

- pareti in muratura
- pareti composte da elementi industrializzati leggeri
- pareti realizzate con componenti leggeri.

Le pareti in muratura sono costituite da blocchi prefabbricati di calcestruzzo leggero o di laterizio di tipo speciale oppure da pannelli in calcestruzzo cellulare (di argilla, perlite, vermiculite, polistirolo espanso).

Le pareti costituite da elementi industrializzati leggeri sono composte da due paramenti relativamente sottili (lamiera in acciaio o alluminio, lastre in cemento-amianto, cartongesso) con interposto il materiale isolante. Vengono generalmente utilizzate per realizzare le parti opache di facciate "leggere".

L'isolante è scelto in funzione del procedimento di fabbricazione del complesso isolante e del tipo del complesso stesso.

Le pareti realizzate con componenti leggeri sono generalmente costituite da un paramento interno, di norma in compensato di legno, dal materiale isolante e da un rivestimento esterno di protezione realizzato in ardesia, cemento-amianto, legno, lamiera metallica, con creazione o meno di una lama d'aria ventilata.

Questo complesso isolante è generalmente utilizzato in edifici industriali o per piccole costruzioni individuali a uno o due piani.

# **NORME E REGOLAMENTI PER LA VERIFICA DELLA CONDENSA SUPERFICIALE ED INTERSTIZIALE DI COMPONENTI EDILIZI**

Il campo della condensazione superficiale e interstiziale nelle strutture edilizie è attualmente regolamentato a livello nazionale dal DM del 13.12.93 in base al quale la quantità di vapore che condensa durante il periodo invernale non deve superare la quantità evaporabile durante il periodo estivo, mentre la quantità di condensa accumulata in un componente edilizio, se vincolata, deve risultare inferiore al limite massimo imposto.

Il decreto riporta i parametri che devono essere calcolati e verificati, ma per la definizione delle procedure di calcolo è necessario attendere il recepimento da parte dell'UNI del documento CEN elaborato a livello europeo e ancora in corso di approvazione.

Nel corrente vuoto normativo per la definizione di una procedura codificata che consenta di determinare in misura univoca i parametri richiesti dal decreto, il presente contributo illustra approfonditamente le procedure contenute nel documento CEN, con riferimento ai dati richiesti dal calcolo in relazione ai procedimenti di verifica di condensa sia superficiale, sia interstiziale.

---

## 1. INTRODUZIONE

Il Decreto del Ministero dell'Industria del 13 dicembre 1993, che contiene il facsimile delle relazioni tecniche richiamate all'art. 27 della Legge 10/91, riporta i parametri che devono essere calcolati e verificati nell'ipotesi in cui si costruisca o si faccia un intervento sull'impianto termico o sull'involucro edilizio. In particolare è richiesta anche la verifica della condensazione superficiale e di quella interstiziale delle strutture edilizie. Per quanto riguarda la verifica della condensazione superficiale si richiede che in nessun punto delle strutture si raggiunga una temperatura minima inferiore a quella di rugiada relativa all'aria ambiente. Per quanto riguarda la verifica interstiziale si richiede che la quantità di vapore che condensa all'interno delle strutture edilizie sia in grado di evaporare durante la stagione estiva. Per il calcolo di tali parametri è stato sviluppato un documento nell'ambito del GdI5 del SC1 del Comitato Termotecnico Italiano (coordinatore Prof. Isetti) che dopo la fase di inchiesta pubblica è stato approvato dal SC1 nel novembre del 1994. A tutt'oggi questo documento che contiene le modalità di calcolo ed i parametri che è necessario adottare per il calcolo stesso (condizioni interne ed esterne, proprietà dei materiali, ecc.) non è stato tradotto in Norma UNI e pertanto in Italia non esiste alcuna procedura codificata che consente di determinare in maniera univoca i parametri richiesti dal D.M. 13/12/93. A livello di Normativa Europea e in corso di approvazione un progetto di norma che contiene le procedure da seguire per la verifica della condensa superficiale ed interstiziale. A questo documento sembra ormai che l'UNI tenda a far riferimento attraverso il suo recepimento appena possibile piuttosto che far uscire il documento Italiano. Tale documento a livello di Norma UNI-CEN sarà disponibile non prima di un paio di anni, pertanto è necessario che a livello di applicazione nazionale qualcosa venga detto o fatto dagli Organismi nazionali. In questo lavoro vengono presentate le procedure di calcolo presenti in questo documento. Il documento CEN al quale si fa riferimento è classificato come CEN/TC891/WG10 n. 107 draft del 31 marzo 1995.

## 2. DATI RICHIESTI DAL CALCOLO

Vengono di seguito riportati i dati necessari per l'applicazione delle procedure di calcolo della verifica superficiale ed interstiziale.

### 2.1 Componenti edilizi

Per ciascun materiale utilizzato nei componenti edilizi sono necessari i seguenti parametri:

- conduttività termica,
- resistenza termica
- coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore ( $m$ )

Per ciascun strato del componente edilizio:

- spessore dello strato ( $s$ )
- spessore d'aria equivalente ( $\mu s$ )

Per strati d'aria il valore di ( $\mu s$ ) è considerato pari a 0,01 m.

I valori delle proprietà termiche dei materiali sono desunti dalla UNI 10355.

## 2.2 Condizioni climatiche

### 2.2.1 Temperature

Aria esterna:

Sono richiesti i valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna (UNI 10349)

Nel caso di pareti addossate al terreno si considera la temperatura media annuale dell'aria esterna

Aria interna:

Il valore della temperatura dell'aria interna deve essere scelto in funzione del tipo di utilizzo dell'edificio (tale dato deve essere specificato a livello nazionale).

In relazione ai valori richiamati nel DPR 412/93 si può pensare di assumere:

Periodo di riscaldamento:

- per tutti gli edifici ad esclusione di quelli industriali 20 °C,
- per quelli industriali 18°C

Periodo non di riscaldamento:

- temperatura interna pari a quella esterna

### 2.2.2 Umidità

Aria esterna

Sono richiesti i valori medi mensili della umidità assoluta ( $v_e$ ) o della pressione parziale del vapore ( $p_e$ ) dell'aria esterna (UNI 10349)

Nel caso di pareti addossate al terreno si assume la condizioni esterna di umidità relativa del 100%.

Aria interna

Essa si ricava come segue:

$$v_i = v_e * \Delta v \quad 0 \quad p_i = p_e + \Delta p \quad (1)$$

I valori di incremento  $\Delta v$  o  $\Delta p$  dipendono dal tipo di utilizzazione dell'edificio.

La seguente tabella fornisce alcune linee guida introducendo quattro classi di umidità e riportando per ciascuna dei valori indicativi.

Classi di umidità	
bassa	uffici
media	edifici residenziali
alta	sale convegni, di riunione, ecc.
molto alta	edifici speciali quali lavanderie, ecc.

I valori di incremento di  $\Delta v$  o  $\Delta p$  possono essere considerati in funzione della classe dell'edificio e del valore della temperatura dell'aria esterna.

Si assume che l'incremento sia nullo per valori medi mensili della temperatura dell'aria esterna uguale o superiori a 22 °C, e massimo per valori uguali o inferiori a 0 °C.

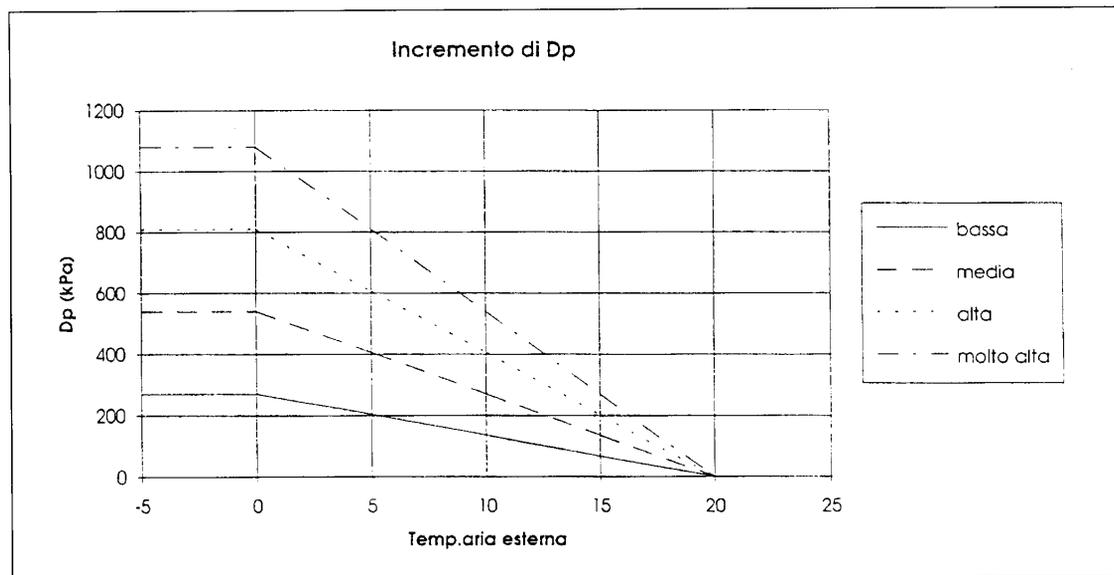
I valori di  $\Delta p$  sono espressi in Pa.

In ogni caso i valori di  $\Delta p$  o  $\Delta v$  possono essere determinati come segue:

$$\Delta p = \Delta v \cdot R_v \cdot T = \frac{G}{n \cdot V} \cdot R_v \cdot T \quad (2)$$

dove:

- R<sub>v</sub> è la costante del vapore d'acqua 46 (Pa m<sup>3</sup>)/(K kg)
- T è la temperatura assoluta dell'aria interna (K)
- G è la quantità di vapore d'acqua prodotto in kg/h
- n è il numero di ricambi d'aria per ora
- V è il volume dell'aria interna in m<sup>3</sup>



### 2.3 Resistenze liminari

I valori delle resistenza liminari sono le seguenti:

resistenza interna liminare	R <sub>i</sub> = 0,2 (m <sup>2</sup> K)/W
resistenza liminare esterna	R <sub>e</sub> = 0,04 (m <sup>2</sup> K)/W

Fig. 1  $\Delta p$  in funzione della classe dell'edificio e della temperatura media dell'aria esterna

## 3. VERIFICA DELLA CONDENSAZIONE SUPERFICIALE

Nel progetto di norma CEN, viene stabilito che, se si vuole evitare che insorga il pericolo di formazione di condensa superficiale della pareti, è necessario che l'umidità relativa dell'aria a contatto di un qualunque punto dell'involucro edilizio non supera su base mensile il valore di  $\phi=0,8$ . Per controllare questo fenomeno è quindi necessario evitare sia il raggiungimento di elevati valori di pressione parziale del vapore d'acqua nell'aria interna, sia che la temperatura superficiale delle pareti dell'involucro possa scendere al di sotto di certi limiti critici.

Per ciascun mese compreso tra Ottobre ed Aprile si devono quantificare i seguenti parametri:

- |   |               |
|---|---------------|
| a) temperatura media mensile dell'aria esterna                          | $\theta_{ae}$ |
| b) temperatura interna dell'ambiente                                    | $\theta_{ai}$ |
| c) quantità di vapore orario medio mensile prodotto per unità di volume | G             |
| d) pressione parziale media mensile dell'aria esterna                   | $P_{ve}$      |
| e) numero di ricambi di aria  | $h^{-1}$      |

Utilizzando tali dati si calcola:

f) la pressione parziale del vapore contenuto nell'aria interna attraverso l'applicazione dell'eq.(2) oppure in prima approssimazione dal grafico di fig. 1 in funzione della classe di edificio e delle temperatura media dell'aria esterna.

g) la pressione di saturazione dell'aria interna che è assunta pari a  $p_{sat} = p_{vi}/0,8$ .

h) la temperatura di saturazione  $\theta_{sat}$  corrispondente applicando in modo inverso la seguente relazione:

$$p_{sat} = \exp[65,81 - 7066,27 / (\theta_{sat} + 273,15) - 5,976 \ln(\theta_{sat} + 273,15)] \quad (3)$$

i) la temperatura superficiale minima che è assunta pari a quella di saturazione

$$1) \text{ il fattore di temperatura come: } f_t = \frac{\theta_{si} - \theta_{ae}}{\theta_{ai} - \theta_{ae}} \quad (1)$$

dove:

- $\theta_{si}$  è la temperatura superficiale minima
- $\theta_{ae}$  è la temperatura dell'aria esterna
- $\theta_{ai}$  è la temperatura dell'aria interna

Il calcolo deve essere ripetuto per tutti i mesi. Il mese per il quale il fattore  $f_t$  assume il valore più alto rappresenta il mese critico. Il valore di  $f_t$  è legato alle caratteristiche costruttive delle pareti che costituiscono l'involucro edilizio. Pertanto in nessun punto dell'involucro, ad eccezione delle superfici vetrate o metalliche, dovrà risultare un valore di temperatura superficiale tale da dare un valore di  $f_t$  minore di quello massimo considerato. Il valore di  $f_t$  sarà tanto più alto quanto minore e il numero di ricambi di aria previsti e soprattutto quanto più elevata risulta la quantità di vapore prodotta.

Per ciascun componente edilizio, il valore di  $f_t$  dipende da:

- forma e dimensioni geometriche del componente
- parametri geometrici e termofisici dei materiali costituenti il componente
- coefficienti liminari di scambio termico.

Per ottenere elevati valori di  $f_t$  sarà necessario prevedere elevati valori di isolamento termico delle strutture edilizie e ridurre al minimo l'effetto di ponte termico dovuto a disomogeneità geometriche e di materiali.

In corrispondenza di una parete piana soggetta ad un flusso termico monodimensionale perpendicolare ad essa, il valore di  $f_t$  è dato da:

$$f_t = 1 - R_j \cdot U \quad (4)$$

dove:

- $U$  è la trasmittanza termica globale della parete
- $R_j$  è la resistenza liminare interna

In presenza di disuniformità geometrica o costruttiva (zona di ponte termico) la determinazione di  $f_t$  risulta molto più complessa in quanto il campo termico che si stabilisce è di tipo bi-tridimensionale. Per la determinazione di  $f_t$  si richiede il calcolo della temperatura superficiale minima in corrispondenza della zona studiata utilizzando il progetto di Norma CEN PrEN 32573-1992, considerando le seguenti condizioni al contorno

ambiente interno riscaldato	$\theta_{ai} = 1^\circ\text{C};$
ambiente esterno	$\theta_{ae} = 0^\circ\text{C}$
resistenza interna liminare	$R_i = 0,2 \text{ (m}^2\text{K)/VV}$
resistenza liminare esterna	$R_e = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Date le particolari condizioni al contorno considerate, il valore di  $f_t$  coincide con quello della temperatura superficiale minima calcolata.

In alternativa alla procedura sopra vista per la determinazione di  $f_t$  si potrebbe usare la seguente relazione:

$$f_t = f_r \cdot \frac{R_{se} + R_{min}}{R_{se} + R_{min} + R_{si}} \quad (5)$$

dove:

- $f_r$ : coefficiente di correzione dovuto alle caratteristiche geometriche del ponte termico
- $R_{min}$ : resistenza termica minima in corrispondenza ai diversi percorsi che si possono individuare a partire dal punto singolare interno verso l'esterno calcolata tra la superficie interna ed esterna

Il valore di  $f_r$  dipende dalla situazione geometrica. Nel caso di giunto d'angolo e giunto tra parete verticale e solaio disperdente il coefficiente  $f_r$  assume i seguenti valori:

- assenza di isolamento  $f_r = 0,8$
- isolamento ripartito  $f_r = 0,8$
- isolamento concentrato continuo  $f_r = 0,8$
- assenza di isolamento concentrato  $f_r = 0,8$
- isolamento concentrato non continuo posto all'interno della parete  $f_r = 0,7$
- isolamento concentrato non continuo posto sulla superficie interna  $f_r = 0,5$

Nel caso di parete verticale con solaio orizzontale non disperdente, i valori di  $f_r$  sono i seguenti

- assenza di isolamento concentrato o isolamento ripartito  $f_r = 1$
- isolamento concentrato continuo lungo la parete  $f_r = 1$
- isolamento concentrato non continuo posto all'interno della parete  $f_r = 0,9$
- isolamento concentrato non continuo posto sulla superficie interna  $f_r = 0,8$

Nel caso di accoppiamento telaio di finestra con muratura verticale il valore di  $f_r$  assume seguenti valori:

- telaio posto all'interno:  $f_r = 1$
- telaio posto all'esterno:  $f_r = 1$
- telaio in posizione intermedia:  $f_r = 0,9$

I valori di  $f_t$  calcolati con la procedura semplificata, nelle situazioni di ponte termico più comune, risultano sempre inferiori rispetto a quelli calcolati utilizzando il progetto di Norma CEN PrEN 32573- 1992,

A titolo di esempio, per alcune situazioni sono di seguito riportati i valori di  $f_t$  calcolati sia utilizzando il progetto di Norma CEN PrEN 32573- 1992, sia la procedura semplificata sopra riportata.

Giunto verticale d'angolo: Fattore di temperatura  $f_t$  in assenza di isolamento concentrato pareti costituite dallo stesso materiale

spessore (cm)	Metodo dettagliato			Metodo approssimato		
	$\lambda$ W/(m K)			$\lambda$ W/(m K)		
	0,21	0,56	0,99			
24	0,75	0,59	0,50	0,21	0,56	0,99
30	0,78	0,62	0,53	0,69	0,56	0,47
49	0,83	0,70	0,61	0,72	0,59	0,50
				0,75	0,66	0,58

Giunto verticale d'angolo: Fattore di temperatura  $f_t$  in assenza di isolamento concentrato: pareti costituite da materiali diversi

conduttività dei materiali W/(m K)		Metodo dettagliato			Metodo semplificato		
		spessore delle pareti (cm)			spessore delle pareti (cm)		
$\lambda_1$	$\lambda_2$	24	30	49	24	30	49
0,21	0,56	0,67	0,70	0,78	0,56	0,60	0,66
0,56	0,21	0,61	0,64	0,71	0,56	0,60	0,66
0,56	0,99	0,56	0,58	0,66	0,47 1	0,51	0,58
0,99	0,56	0,50	0,53	0,61	0,47 1	0,51	0,58

#### 4. VERIFICA DELLA CONDENZA INTERSTIZIALE

Il metodo di calcolo considera le seguenti assunzioni:

- le condizioni al contorno sono stazionarie,
- il materiale non è igroscopico,
- il trasporto di vapore è governato dalle leggi della diffusione  $g = \delta_p^{air} \frac{\Delta p}{s_d}$   
con  $s_a = \mu s$

dove:

- $\delta_p^{air}$  è la permeabilità dell'aria ( $2 \cdot 10^{-10}$ ) kg/(m s Pa)
- $\mu$  è il fattore di resistenza al vapore del materiale
- $s$  è lo spessore del materiale

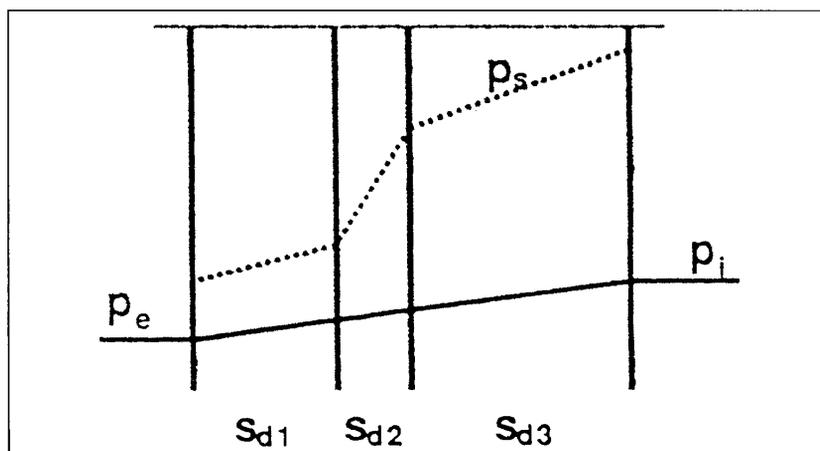
La quantità di vapore che condensa o di condensa che evapora (mesi estivi) deve essere calcolata mese per mese, assumendo per ciascun mese condizioni al contorno costanti.

#### 4.1 Procedura di calcolo

Per ciascun mese dell'anno, cominciando da Ottobre, si determinano le seguenti quantità:

- il valore medio mensile della temperatura dell'aria esterna,
- il valore medio mensile dell'umidità assoluta dell'aria interna,
- la pressione del vapore all'esterno,
- la pressione del vapore all'interno,
- le proprietà dei materiali costituenti i componenti edilizi,
- la resistenza termica (R) e lo spessore di diffusione equivalente ( $s_d$ ) prima definiti per ciascun strato del componente edilizio,
- il profilo delle temperature in corrispondenza a ciascuna superficie di separazione tra i vari strati,
- la pressione di saturazione del vapore in corrispondenza a ciascuna superficie relativa alle temperature calcolate al punto g).

Noti questi parametri si disegna l'andamento delle pressioni di saturazione in funzione del parametro  $s_d$ . Se non c'è condensa accumulata dal mese precedente, sullo stesso diagramma si riporta un segmento congiungente i valori della pressione di vapore all'interno e all'esterno. Se questa linea non intercetta quella di saturazione, non vi è presenza di condensa (Fig.2)



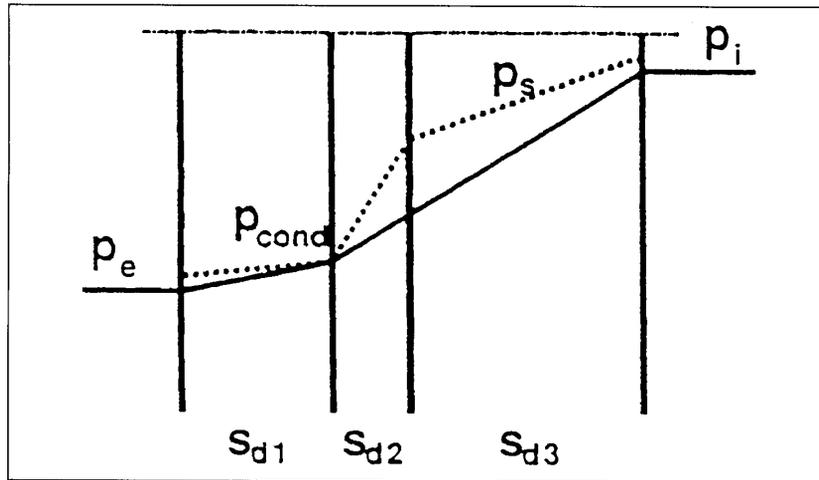
La portata di vapore che attraversa il componente è pari a:

$$g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \frac{(p_i - p_e)}{\sum s_d} \quad (6)$$

Se in almeno in un punto le due linee si incontrano allora c'è presenza di condensazione. La linea della pressione del vapore sarà tangente a quella di saturazione in corrispondenza al punto dove le due linee si incontrano.

Normalmente la condensazione, quando avviene, si manifesta o in corrispondenza nella superficie di intersezione di due materiali diversi, oppure in una o più zone.

Nel primo caso si assume che in quella superficie la pressione del vapore sia pari a quella di saturazione almeno fino a che il condensato non è vaporizzato (Fig.3).



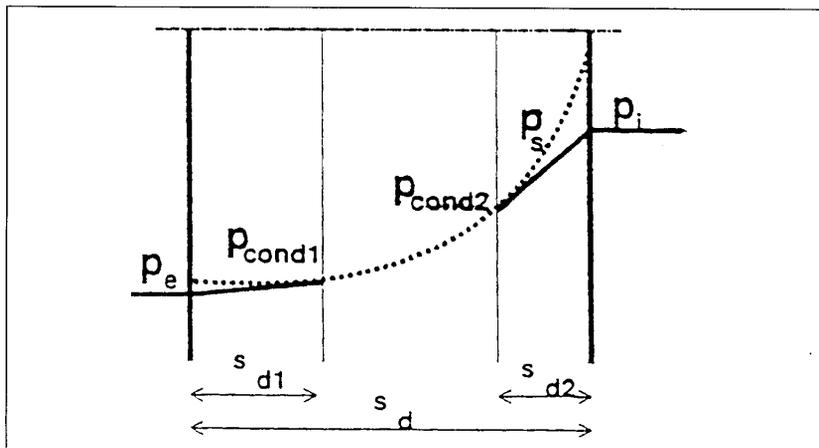
Nel caso di condensazione su un'unica superficie, la portata di vapore che condensa è pari a:

$$g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(p_i - p_{\text{cond}})}{s_{d2} + s_{d3}} - \frac{(p_{\text{cond}} - p_e)}{s_{d1}} \right) \quad (7)$$

Nel secondo caso si assume che il condensato sia concentrato nel piano mediano dello strato.

In questo caso la condizione di saturazione viene assunta in corrispondenza di questo piano mediano.

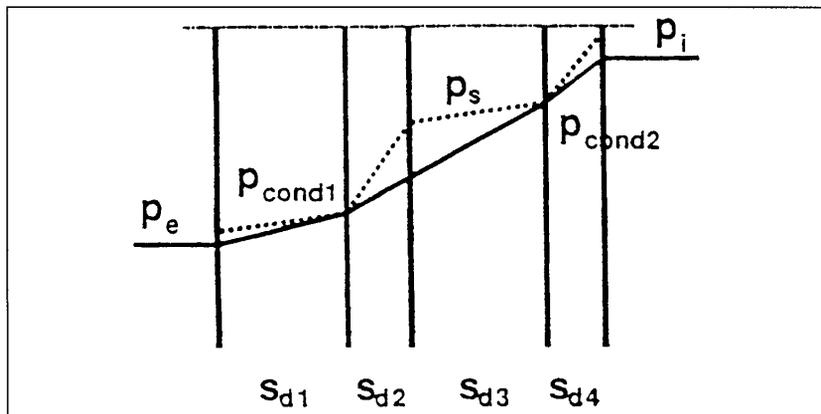
Una volta definite le zone in cui c'è saturazione, si calcola la quantità di vapore condensata o evaporata durante ciascun mese e si aggiunge o si sottrae a quella accumulata durante il mese precedente.



Nel caso di condensazione entro una zona (Fig.4), la portata di vapore che condensa è pari a:

$$g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(p_i - p_{\text{cond},2})}{s_{d2}} - \frac{(p_{\text{cond},1} - p_e)}{s_{d1}} \right) \quad (8)$$

In un componente con più piani o zone di condensazione (Fig.5) la portata di vapore che condensa in ogni zona è pari a:



tra la zona 1 e 2

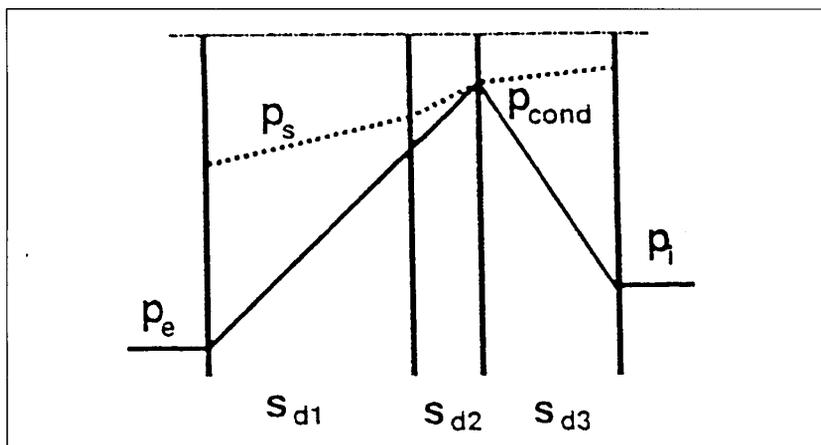
$$g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(p_{\text{cond},2} - p_{\text{cond},1})}{s_{d2} + s_{d3}} - \frac{(p_{\text{cond},1} - p_e)}{s_{d1}} \right) \quad (9)$$

tra la zona 3 e 4

$$g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(p_i - p_{\text{cond},2})}{s_{d4}} - \frac{(p_{\text{cond},2} - p_{\text{cond},1})}{s_{d2} + s_{d3}} \right)$$

### Evaporazione

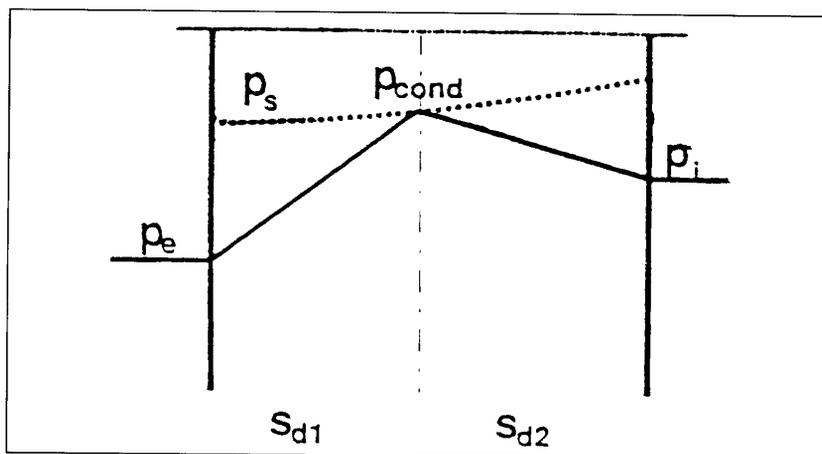
Appena c'è del condensato in corrispondenza di uno o più piani, la pressione del vapore sarà uguale a quella di saturazione e la linea del profilo della pressione del vapore sarà rappresentata da un segmento che unisce i valori che rappresentano la pressione del vapore all'interno, il piano di condensazione e la pressione del vapore esterna (Fig.5). Se la linea del profilo del vapore incrocia la curva di saturazione, la linea della pressione del vapore sarà disegnata come riportata nella Fig.5.



La portata di condensato che evapora è determinata come:

$$g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(P_i - P_{\text{cond}})}{S_{d3}} - \frac{(P_{\text{cond}} - P_e)}{S_{d1} + S_{d2}} \right) \quad (10)$$

Se in un componente c'è condensazione in una zona (Fig.6), si assume che l'evaporazione avvenga dal piano centrale della zona. Se la zona di condensazione contiene una interfaccia, si assume che l'evaporazione cominci dall'interfaccia stessa.



La portata di condensato che evapora è determinata come:

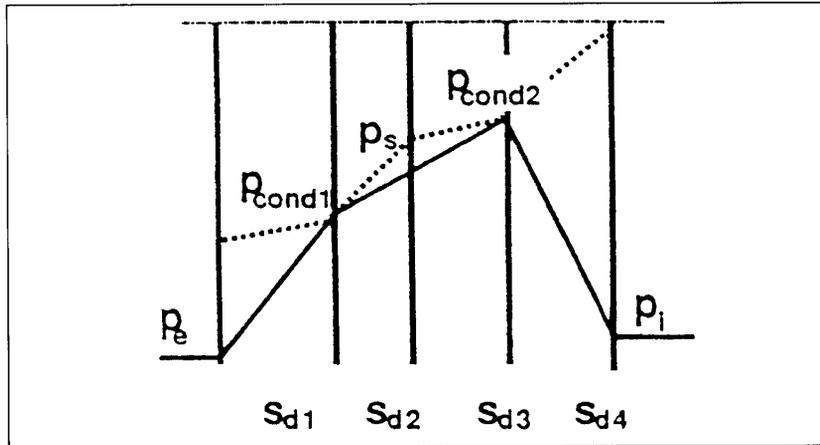
$$g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(P_i - P_{\text{cond}})}{S_{d2}} - \frac{(P_{\text{cond}} - P_e)}{S_{d1}} \right) \quad (11)$$

In un componente nel quale la condensazione avviene su più piani o zone, la quantità di condensato che evapora viene calcolato per ciascun piano o zona separatamente (Fig.7). La portata di condensa che evapora che in ogni zona e pari a:

$$\text{tra la zona 1 e 2} \quad g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(P_{\text{cond},2} - P_{\text{cond},1})}{S_{d2} + S_{d3}} - \frac{(P_{\text{cond},1} - P_e)}{S_{d1}} \right)$$

$$\text{tra la zona 3 e 4} \quad g = \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(P_i - P_{\text{cond},2})}{S_{d4}} - \frac{(P_{\text{cond},2} - P_{\text{cond},1})}{S_{d2} + S_{d3}} \right) \quad (12)$$

Se la quantità di condensato alla fine del mese diventa negativa questo significa che la possibile quantità evaporata durante il mese supera quella accumulata. Il calcolo deve essere pertanto rifatto dividendo il mese in due periodi: il primo che coincide con quello per il quale si ha la completa evaporazione della quantità accumulata, il secondo nel quale si parte da materiale perfettamente secco. La lunghezza del primo periodo si determina come rapporto tra quantità di vapore accumulato sotto forma di condensa e quantità evaporabile nel mese:



$$t_{\text{periodo}} = \frac{W}{\sum g_{\text{evap}}} \quad (13)$$

dove:

$t$  è la lunghezza del primo periodo

$W$  è la quantità di condensa presente nel piano o zona

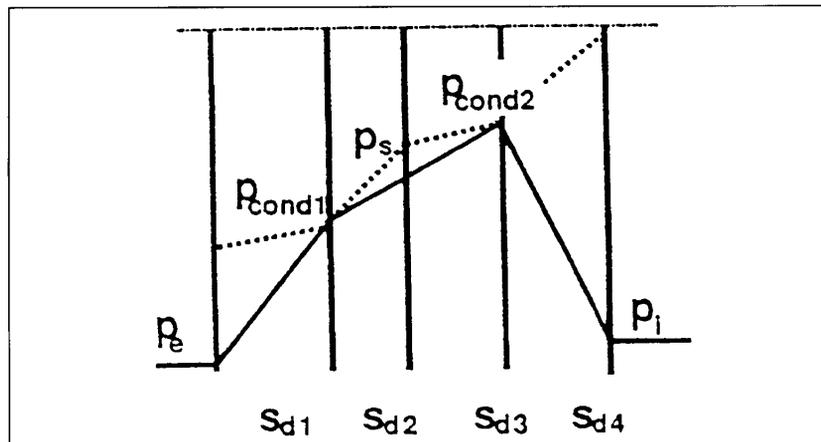
$\sum g_{\text{evap}}$  è la quantità di condensa evaporata nel piano o zona

#### Evaporazione/condensazione

In un componente con una o più piano o zona di condensazione, potrebbero esserci dei mesi in cui si ha condensazione in un piano ed evaporazione in un altro (Fig.8).

La quantità di condensato o evaporato è calcolato per ciascun piano separatamente:

$$\begin{aligned} \text{condensazione tra la zona 1 e 2} \quad g &= \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(p_{\text{cond},2} - p_{\text{cond},1})}{s_{d2} + s_{d3}} - \frac{(p_{\text{cond},1} - p_e)}{s_{d1}} \right) \\ \text{condensazione tra la zona 3 e 4} \quad g &= \delta_p^{\text{air}} \cdot \left( \frac{(p_i - p_{\text{cond},2})}{s_{d4}} - \frac{(p_{\text{cond},2} - p_{\text{cond},1})}{s_{d2} + s_{d3}} \right) \end{aligned} \quad (14)$$



---

## 4.2 Quantità da determinare

Dall'analisi dei dati sopra riportati bisogna evidenziare le seguenti quantità:

- a) la quantità di vapore che condensa durante il periodo invernale
- b) la quantità di condensa che evapora durante il periodo estivo
- c) la massima quantità di condensa che è accumulata in un componente edilizio

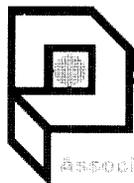
Per soddisfare gli adempimenti richiesti dal D.M: del 13/12/93 e necessario che la quantità calcolata in a) risulti inferiore o al massimo uguale a quella calcolata in b). Talvolta risulta limitata anche la quantità massima accumulabile nel componente. In questo caso il valore determinato in c) deve risultare inferiore al valore limite imposto.

### Riferimenti bibliografici

[1] Comitato Termotecnico Italiano, Gruppo di lavoro 5 del SCl, coordinatore prof. C. Isetti, Progetto di Norma 1/122, 1993.

[2] CEN/TC89/WG10 " Building components and building elements - calculation of surface temperature to avoid critical surface humidity and calculation of interstitial condensation" Marzo 1995.

[3] L.Agnolotto, P. Romagnoni, O. Saro, "Ventilazione degli edifici: qualità degli ambienti e consumi energetici" Convegno ATI Perugia 1994.



# AIPE

Associazione Italiana Polistirolo Espanso

L'AIPE - Associazione Italiana Polistirolo Espanso - è una associazione senza fini di lucro costituita nel 1984 al fine di tutelare l'immagine del polistirene espanso sinterizzato (o EPS) di qualità e di svilupparne l'impiego.

Le aziende associate appartengono sia al settore della produzione delle lastre per isolamento termico AIPOR munite di Marchio UNI - IIP di conformità alla norma UNI 7819 che a quello della produzione di manufatti destinati all'edilizia e all'imballaggio.

Dal maggio 1994, a sottolineare l'impegno dell'associazione per una sempre maggiore rappresentatività sul mercato, è in vigore il nuovo statuto che apre l'adesione all'AIPE a tutti i produttori di semilavorati e manufatti in polistirene espanso, anche se non ancora dotati di marchi di qualità certificata.

Fanno pure parte dell'AIPE le aziende produttrici della materia prima, il polistirene espandibile, fra le quali figurano le più importanti industrie chimiche europee.

Un ultimo gruppo di soci è costituito dalle aziende fabbricanti di attrezzature per la lavorazione del polistirene espanso sinterizzato.

L'AIPE, con la collaborazione delle aziende associate, ha creato una rete che provvede alla raccolta e al riciclo di imballi e scarti di polistirene espanso. A livello internazionale l'AIPE rappresenta l'Italia in seno all'EUMEPS - European Manufacturers of Expanded Polystyrene -, associazione europea che raggruppa le associazioni nazionali dei produttori di EPS.

L'AIPE, che opera secondo il principio fondamentale della qualità dei prodotti, fornisce agli utilizzatori una informazione seria ed obiettiva sulle caratteristiche e prestazioni dei semilavorati e manufatti in polistirene espanso sinterizzato di qualità.

**AIPE - ASSOCIAZIONE ITALIANA POLISTIROLO ESPANSO**

**Via Marcantonio Colonna, n° 43 - 20149 Milano**

**Telefono: 02/33002101 - Telefax: 02/39210531**

Finito di stampare  
nel mese di giugno 1996