

# I VANTAGGI

DELL'ISOLAMENTO  
DALL'ESTERNO  
A CAPPOTTO

Q U A D E R N O   T E C N I C O   W A L E R

AZIENDA CON SISTEMA QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV  
=UNI EN ISO 9001/2000=

 **Waler**<sup>®</sup>

# SOMMARIO

PREMESSA	<b>1</b>
TRASMISSIONE DEL CALORE IN REGIME STAZIONARIO	<b>1</b>
DIFFUSIONE DEL VAPORE ALL'INTERNO DELLE PARETI	<b>4</b>
IL BENESSERE ABITATIVO	<b>7</b>
SFASAMENTO E SMORZAMENTO DELL'ONDA TERMICA	<b>11</b>
ACCUMULO	<b>13</b>
INFLUENZA DELLA MASSA MURARIA	<b>15</b>
CONSIDERAZIONI FINALI	<b>17</b>
CALCOLO DEL COMPORTAMENTO IGROTERMICO DI UNA PARETE CON IL DIAGRAMMA DI GLASER	<b>19</b>
CONFRONTO FRA I DUE CASI PRESI IN ESAME	<b>23</b>
TABELLA 1 - Pressione di saturazione del vapor acqueo in funzione della temperatura	<b>25</b>
TABELLA 2 - Coefficienti di conduttività termica e di resistenza alla diffusione del vapor acqueo di materiali ed elementi costruttivi secondo la Norma UNI 10251	<b>27</b>

## I VANTAGGI DELL'ISOLAMENTO DALL'ESTERNO

### ◆ PREMESSA

Come è noto, l'integrazione termica su murature nuove o esistenti può essere realizzata mediante tre tipologie di interventi:

- ✦ Applicazione dello strato isolante sulla superficie esterna del sistema murario
- ✦ Applicazione dello strato isolante nell'intercapedine del sistema murario
- ✦ Applicazione dello strato isolante sulla superficie interna del sistema murario

Questi interventi, apparentemente semplici, presentano in pratica una serie di effetti collaterali che debbono essere tenuti in debita considerazione.

Inoltre, per una corretta analisi del problema è necessario considerare ed approfondire alcuni aspetti tecnici di particolare importanza:

- ✦ Studio della trasmissione del calore in regime stazionario, cioè con temperatura interna ed esterna costanti
- ✦ Controllo della condensazione nella massa muraria
- ✦ Controllo delle variazioni di temperatura in regime stazionario riferite ad estate ed inverno
- ✦ Isolamento acustico
- ✦ Permeabilità al vapor acqueo
- ✦ Tenuta all'acqua e alla neve

Il controllo dell'isolamento termico, della condensazione, della temperatura e dell'umidità superficiale può essere effettuato in sede teorica mediante la costruzione grafico-analitica di **Glaser**; le variazioni di temperatura in regime non stazionario possono essere definite sempre teoricamente mediante il calcolo dello **sfasamento e smorzamento** di un'onda termica.

### ◆ TRASMISSIONE DEL CALORE IN REGIME STAZIONARIO

Viene definita **resistenza termica (R)** di una parete la capacità della stessa di opporsi al passaggio del calore dall'ambiente più caldo a quello più freddo.

L'inverso della resistenza termica prende il nome di **trasmissione** o di **coefficiente di trasmissione termica globale (K)**: questa grandezza misura la quantità di calore che passa attraverso una parete per ogni ora, per ogni metro quadrato di superficie e per ogni grado di differenza di temperatura fra un

ambiente e l'altro e si esprime in  $W/m^2 K$ .

*n.b.: 1 watt = 0,862 Kcal/h e quindi 1 Kcal/h = 1,16 watt*

La **conduttività termica** ( $\lambda$ ) è il flusso termico, cioè la quantità di calore per unità di tempo, che passa attraverso l'unità di superficie del materiale di spessore unitario per un grado di differenza di temperatura. Questo valore è caratteristico di ogni materiale e si esprime in  $W/m K$ .

La resistenza al passaggio del calore di uno strato omogeneo, cioè costituito da uno specifico materiale, è direttamente proporzionale allo spessore ed inversamente proporzionale alla conduttività termica del materiale:

$$R = \frac{\text{spessore in ml}}{\lambda \text{ materiale}}$$

La resistenza termica di una parete risulta dalla la somma delle resistenze dei singoli strati ( $s_i/\lambda$ ) più la somma delle resistenze liminari interna ed esterna:

$$R_t = \alpha_i + \sum \frac{S}{\lambda} + \alpha_e$$

dove  $\alpha_i$  e  $\alpha_e$  sono le resistenze liminari interna ed esterna.

L'inverso della resistenza termica è la trasmittanza unitaria (K):

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{\alpha_i + \sum \frac{S}{\lambda} + \alpha_e}$$

Per il calcolo della trasmissione di calore in regime stazionario prendiamo in considerazione due tipologie di parete, con la stessa composizione di materiali, ma differenti per la disposizione degli stessi:

- la parete 1 (Tab.A) è costituita da uno strato portante in blocchi di cemento armato vibrocompresso con modulo 20 K , da uno strato isolante di polistirene espanso di spessore 4 cm posto all'interno e accoppiato con gesso rivestito di spessore 13 mm;

- la parete 2 (Tab.B) è identica alla precedente salvo la posizione dello strato isolante e dell'intonaco posti all'esterno.

Il calcolo della trasmittanza delle due pareti è riportato nelle seguenti tabelle:

E' bene evitare che all'interno del sistema murario sia presente acqua in specie nello strato isolante in esso presente.

Ciò comporta il deterioramento di uno o più componenti della struttura e nello

strato isolante la diminuzione della resistenza termica e quindi del grado di isolamento della parete.

In pratica è come se, in corrispondenza di zone umide dell'isolante, si formassero dei ponti termici con conseguenze deleterie facilmente immaginabili.

TAB. A - PARETE 1 - Elemento strutturale in c.a. vibrocompresso con modulo standard 20K + strato isolante interno

Strato	Materiale	Spessore	$\lambda$	R
1	Intonaco interno in gesso	0,013	0,45	0,028
2	Polistirene espanso (PSE)	0,04	0,03	1,334
3	Blocco 20K	0,20	0,90	0,223
4	Intonaco esterno	0,015	0,75	0,020
Resistenza della parete				1,605
Resistenza termica liminare ( $1/\alpha_i + 1/\alpha_e$ )				0,193
Resistenza termica totale				1,798
Coefficiente globale di trasmissione (K) W/m <sup>2</sup> h				0,556

TAB. B - PARETE 2 - Elemento strutturale in c.a. vibrocompresso con modulo standard 20K + strato isolante esterno

Strato	Materiale	Spessore	$\lambda$	R
1	Intonaco interno in gesso	0,01	0,45	0,023
2	Blocco 20K	0,20	0,90	0,223
3	Polistirene espanso (PSE)	0,04	0,03	1,334
4	Stucco + Rete	0,005	1,20	0,006
Resistenza della parete				1,586
Resistenza termica liminare ( $1/\alpha_i + 1/\alpha_e$ )				0,193
Resistenza termica totale				1,779
Coefficiente globale di trasmissione (K) W/m <sup>2</sup> h				0,563

## ◆ DIFFUSIONE DEL VAPORE ALL'INTERNO DELLE PARETI

### DESCRIZIONE DEL FENOMENO

Nell'aria è sempre presente una certa quantità di vapore d'acqua. Per misurarla si fa riferimento al rapporto fra la quantità effettivamente presente e quella massima possibile che si avrebbe in condizioni di saturazione, cioè quando il vapore comincia a condensare formando goccioline d'acqua.

Come per ogni gas, il vapore acqueo presente nell'aria ha una propria pressione detta pressione di vapore. Quando l'aria ne è saturata si parla di pressione di vapore saturo.

Quest'ultima dipende dalla temperatura: quanto più alta è la temperatura, tanto più elevata è la pressione di saturazione, cioè tanto maggiore è la quantità d'acqua che deve essere presente nell'aria perchè si abbia condensa.

La pressione di vapore contenuto nell'aria è definita pressione reale ( $P_r$ ), mentre il suo valore massimo pressione di saturazione ( $P_s$ ).

Il rapporto  $\frac{P_r}{P_s}$ , espresso in termini percentuali, definisce il valore dell'umidità relativa (UR). Si ha cioè:  $\frac{P_r}{P_s} = UR$  da cui  $P_r = UR \times P_s$

Se, ad esempio, si prende in considerazione il caso di aria a 20°C e UR 80%, con la tabella riportata in "Appendice 2" è possibile calcolare la pressione  $P_r$ :

aria a 20°C =  $P_s$  238 Kg/m<sup>2</sup> e quindi  $P_r = \frac{80}{100} \times 238 = 190,40$  Kg/m<sup>2</sup>

Se la temperatura dell'aria si abbassa, la pressione relativa e la pressione di saturazione si avvicinano sempre di più.

Sempre dalla tabella riportata in "Appendice 2" si rileva che in corrispondenza di  $P_r = 190,40$  Kg/m<sup>2</sup> il valore di  $P_s$  coincide con la temperatura di 16,4°C (temperatura di saturazione) e che quindi a tale temperatura inizia la trasformazione di vapore in acqua (esempio tipico: la formazione di nebbia).

Ogni gas tende naturalmente ad espandersi, cioè ad andare da zone a pressione reale maggiore verso zone a minore pressione reale. E' questo il caso di abitazioni nel periodo invernale, durante il quale il vapore tende a migrare dall'interno verso l'esterno, attraversando le pareti perimetrali dell'edificio.

Quando una parete permeabile separa due ambienti a diversa temperatura si innescherà una corrente dall'ambiente più caldo, in cui la pressione reale di vapore è più elevata, verso quello più freddo dove la pressione è inferiore. Ad esempio, ciò si verifica nel caso di una parete che separa un ambiente interno riscaldato ( $T_i = 20^\circ\text{C}$  e UR = 50%) dall'esterno ( $T_e = 5^\circ\text{C}$  e UR = 80%).

Alla diffusione del vapore acqueo, provocato dalla differenza di pressione fra i due ambienti, si oppone la resistenza  $R_v$  della parete che è direttamente proporzionale allo spessore  $s$  della parete ed inversamente proporzionale alla permeabilità della stessa:

$$R_v = \frac{s}{\pi}$$

In pratica, per quantificare i fenomeni igrometrici, si usa il fattore di resistenza alla diffusione del vapore ( $\mu$ ) che indica, per un dato materiale, quante volte la sua resistenza alla diffusione del vapore è superiore a quella dell'aria, a parità di spessore e di temperatura.

Fatta questa precisazione, la resistenza al passaggio del vapore  $R_v$  di uno strato di materiale di spessore  $s$  con fattore di resistenza  $\mu$  può essere così calcolato:

$$R_v = 160.000 \mu \times s \frac{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Kg}/\text{m}^2}{\text{Kg}}$$

### METODO GRAFICO DI GLASER

Come si è accennato, ogni materiale è caratterizzato da una determinata resistenza al passaggio del vapore che si misura rapportando la resistenza del materiale stesso a quella dell'aria (considerata = 1) e si indica con il simbolo  $\mu$ .

Conoscendo i valori di temperatura e di umidità relativa interne ed esterne, si può schematizzare, mediante la costruzione del **diagramma di Glaser**, il comportamento igrotermico di una parete.

Per rappresentare visivamente questa schematizzazione si costruiscono tre curve che, per comodità verranno riprodotte come spezzate:

#### ● Curva della temperatura

Questa curva si costruisce conoscendo la conduttività termica degli strati che compongono una parete e sapendo che la differenza di temperatura fra due facce di uno strato è uguale alla resistenza dello strato diviso la resistenza totale e moltiplicata per la differenza globale di temperatura:

$$\Delta t_{\text{strato}} = \frac{R_{\text{strato}}}{\sum R_{\text{strati}}} \times \Delta t$$

#### ● Curva della pressione di saturazione

I valori della pressione di saturazione alle varie temperature sono noti, in quanto

già determinati sperimentalmente.

Conoscendo i valori delle temperature dei vari strati è quindi possibile determinare immediatamente i relativi valori delle pressioni di saturazione come si ricava dalla tabella riportata in "Appendice 2"

### ● Curva della pressione di vapore effettivo

La resistenza al vapore di uno strato è data dal prodotto del fattore  $\mu$ , resistenza alla diffusione del vapore del materiale che lo compone, per lo spessore dello strato stesso.

Questa curva pertanto si costruisce in modo analogo alla curva della temperatura, conoscendo le pressioni di vapore interne ed esterne:

$$\Delta p_{\text{strato}} = \frac{Rv_{\text{strato}}}{Rv_{\text{totale}}} \times \Delta p_{\text{totale}}$$

◆ **IL BENESSERE ABITATIVO**

Possiamo definire condizioni di benessere termico da un punto di vista fisiologico tutte quelle situazioni in cui l'attività dei meccanismi di termoregolazione del corpo umano è praticamente nulla.

CLIMA DI BENESSERE

Come è noto la temperatura dell'aria non è l'unico fattore che contribuisce a creare il cosiddetto clima di benessere all'interno di un'abitazione.

Ve ne sono altri, strettamente collegati, che vanno attentamente considerati: la temperatura superficiale delle pareti, l'umidità relativa, gli sbalzi termici repentini, lo sfasamento dell'onda termica, la resistenza alla diffusione del vapore delle murature esterne.

● Temperature superficiali delle pareti

La sensazione di caldo o di freddo dipende dalla maggiore o minore dispersione termica del corpo umano ( Fig.1). Il diagramma di Fig. 2 evidenzia che la perdita di calore del corpo umano avviene anche per radiazione infrarossa nella misura del 40% circa a 20°C.

La fisica ci insegna che lo scambio termico fra due corpi - nel nostro caso fra persone e pareti - dipende dalla differenza della quarta potenza delle temperature assolute dei corpi stessi, secondo la legge di Stefan Bolzman:

$$Q = E (T_1^4 - T_2^4)$$

dove Q = energia scambiata

E = coefficiente di trasmissione superficiale

T<sub>1</sub> = temperatura assoluta superficiale del 1° corpo

T<sub>2</sub> = temperatura assoluta superficiale del 2° corpo

Ricordiamo che la temperatura assoluta è data dalla temperatura in °C + 273,15. Di conseguenza anche la variazione di un solo °C di temperatura rappresenta una variazione importante di questa grandezza in quanto è elevata alla quarta potenza.

Considerata la temperatura del corpo umano costante a 37°C, la temperatura interna della parete esterna (temperatura superficiale interna) varia al variare della trasmittanza della parete a temperatura esterna prefissata.

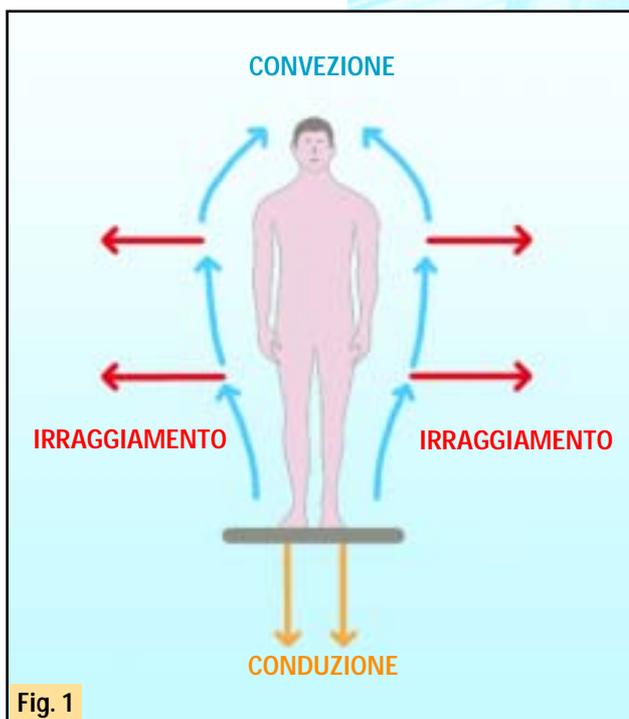


Fig. 1

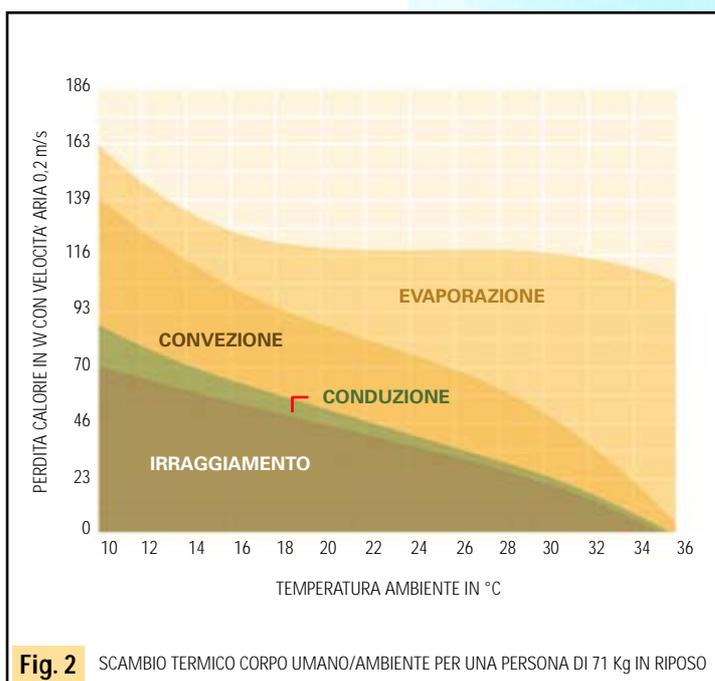


Fig. 2 SCAMBIO TERMICO CORPO UMANO/AMBIENTE PER UNA PERSONA DI 71 Kg IN RIPOSO

In pratica si verifica che nei locali più esposti e delimitati da grandi superfici esterne - e quindi con temperature superficiali interne più basse - si ha una sensazione di freddo che persisterebbe anche se si dovesse aumentare sensibilmente la temperatura ambiente, intervenendo sui corpi scaldanti e quindi attribuendo la causa ad un errato calcolo dell'impianto. In realtà in sede di progettazione non si è tenuto conto dello scambio radiante fra corpo umano e parete, problema che è risolvibile con una migliore coibentazione delle pareti.

Il diagramma di Fig. 3 definisce la curva limite che lega la temperatura ambiente alla temperatura superficiale interna della parete esterna a parità di benessere.

Si è matematicamente stabilito che, abbassando il coefficiente di trasmissione termica (k) della muratura, si ottiene un innalzamento della temperatura superficiale interna e conseguentemente la possibilità di ridurre la temperatura ambiente.

E' importante notare che, abbassando di un solo grado questo valore, si ha una riduzione della differenza termica fra interno ed esterno di circa il 5-7 % e quindi un risparmio proporzionale del calore disperso dalle murature, dai serramenti e per effetto dei ricambi d'aria.

● Sfasamento d'onda

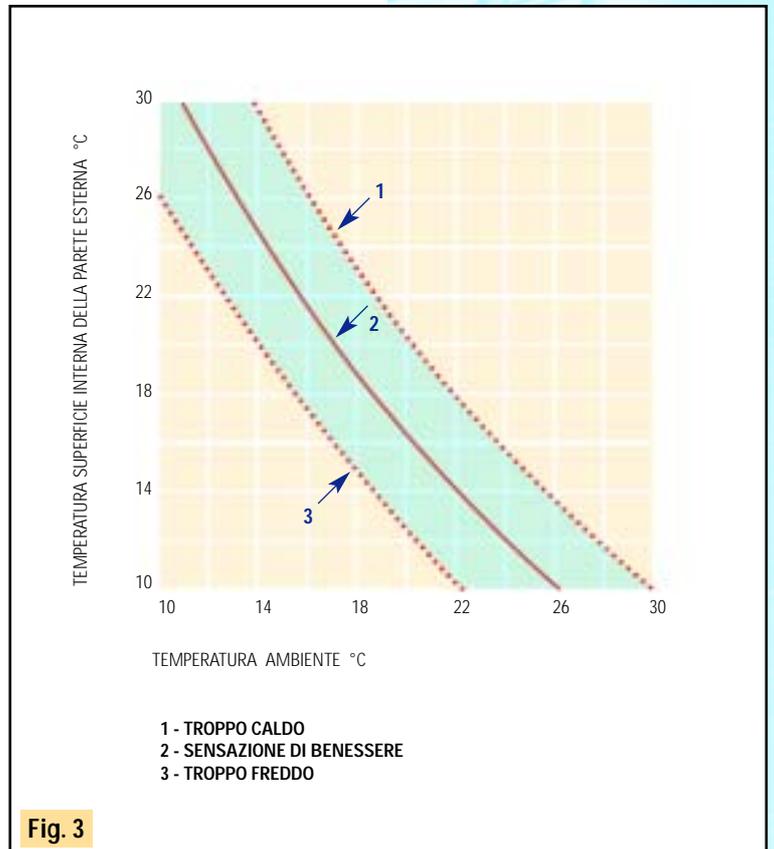
Quando in estate la superficie di una parete esterna raggiunge la temperatura massima, condizione che si verifica generalmente intorno alle ore 16.00, l'onda termica che attraversa la parete viene tanto più attenuata quanto maggiore è il grado di isolamento esterno ed è tanto più ritardata quanto maggiore è la capacità termica della parete stessa. Per una situazione ottimale tale ritardo deve essere compreso fra le 9 e le 12 ore come riportato nella Tabella A (pag.10).

Uno sfasamento troppo piccolo determinerebbe il riscaldamento dei locali interni quando all'esterno la temperatura è ancora troppo elevata e, sovrapponendosi a questo uno sfasamento troppo grande, in piena notte si avrebbe un nuovo riscaldamento proprio quando si cerca, aprendo le finestre, di avere un certo refrigerio. Tutto ciò causerebbe disagio ed un senso di malessere.

● Tempi di raffreddamento

Un elevato tempo di raffreddamento delle pareti evita che il corpo umano venga interessato da brusche variazioni di temperatura quando si verifica un'interruzione momentanea del riscaldamento o si manifestano repentine variazioni climatiche esterne dovute, ad esempio, al sorgere del sole o a variazioni del vento.

D'altra parte anche in casi di interruzioni temporanee del riscaldamento dovute a guasti



dell'impianto, l'elevato tempo di raffreddamento può limitare il disagio fisiologico che ne consegue.

Si può quindi ritenere che il controllo del tempo di raffreddamento delle pareti costituisce un elemento importante per attenuare il disagio dovuto all'interruzione notturna della erogazione del calore e della ripresa di tale erogazione al mattino.

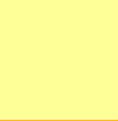
### ● Resistenza alla diffusione del vapore

All'interno di un abitazione vi è costantemente produzione di vapore dovuta all'attività umana (lavaggi, cottura di vivande, ecc.) e questo vapore si va ad aggiungere a quello derivante dall'attività metabolica di ciascun individuo.

Nella stagione fredda, quando nell'ambiente interno si ha una temperatura superiore a quella esterna ed un'umidità relativa normalmente del 50%, la pressione parziale del vapore all'interno è molto più elevata di quella esterna. Ne consegue una migrazione del vapore dall'interno verso l'esterno e lo stabilizzarsi della pressione parziale interna su valori di equilibrio dipendenti dai ricambi d'aria, ma soprattutto dalla resistenza alla diffusione del vapore della parete esterna.

Una resistenza troppo bassa favorirebbe una migrazione del vapore troppo veloce, determinando all'interno un clima molto secco che è all'origine dei tipici mal di testa degli occupanti, disagi che vengono generalmente, ma erroneamente, attribuiti ad un riscaldamento eccessivo. Al contrario, una resistenza troppo elevata, determinerebbe un clima molto umido con altri tipi di inconvenienti per gli occupanti.

TABELLA A - CRITERI DI BENESSERE

PARAMETRO DI VALUTAZIONE	U.M.	SCALA DI VALUTAZIONE				
						
SFASAMENTO ONDA	h	9-12	7-9 12-14	5,5-7 14-15,5	4-5,5 >15,5	< 4
TRASMITTANZA	W/k/m <sup>2</sup>	< 0,58	0,58 0,75	0,76 0,99	1 1,4	> 1,4
TEMPO DI RAFFREDD. PER INERZIA TERM.	h	> 150	91 150	56 90	30 55	< 39
RESISTENZA AL VAPOR ACQUEO (μ · s)	m	4-7	3-4 7-11	2-3 11-15	< 2 15-25	> 25
CAPACITA' TERMICA	kJ/ m <sup>2</sup> k	1250 1650	1000/1250 1650/1880	850/1000 1880	600 850	< 600
UMIDITA' RELATIVA	%	45-50	40-45 50-60	35-40 60-65	30-35 65-70	< 30 > 70
TEMPERATURA SUP. INTERNA (Ti = 20°C)	°C	16,5	16,5-18,4 15,8-16,5	18,4-19,3 14-15,8	19,3 12,8-14	< 12,8
TEMPERATURA SUP. INTERNA (Ti = 19°C)	°C	17,5	17,5-19 16,5-17,5	> 19 15,2-16,5	13,5-15,2	< 13,5
UMIDITA' MAX ALL'INTERNO	%	90-80	80-70	70-60	60-50	< 50

LEGENDA

	MOLTO BUONO		SCARSO
	BUONO		MOLTO SCARSO
	DISCRETO		

◆ SFASAMENTO E SMORZAMENTO DELL'ONDA TERMICA

In natura non esiste un regime stazionario delle temperature. Esiste, invece, un regime variabile delle temperature interne ed esterne quanto meno riconducibile, per quanto riguarda l'andamento climatico esterno, a rappresentazioni di tipo sinusoidale con periodo di 24 ore.

Esistono in realtà anche variazioni con periodo molto più lungo, definibili come variazioni settimanali o mensili, che possono influenzare i valori di comfort ambientale e, entro certi limiti, anche il risparmio energetico.

Come si è già accennato, il comfort di un ambiente riscaldato dipende anche dalla temperatura media radiante delle superfici interne che delimitano l'ambiente stesso.

Inoltre la parete con una elevata inerzia termica preserva, in un certo senso, chi è all'interno di un abitazione riscaldata da influenze dirette dovute alle modificazioni climatiche esterne.

A prova di quanto abbiamo appena detto, si può portare l'esempio dei muri dei castelli medioevali di considerevole spessore e quindi con un'elevata inerzia termica. Al contrario le tipiche costruzioni di cantiere generano il cosiddetto "effetto baracca", in quanto caratterizzate da una bassissima resistenza termica.

Se in diagramma cartesiano riportiamo in ascisse le ore del giorno e in ordinate le corrispondenti temperature dell'aria dell'ambiente interno e di quello esterno, si ottiene una curva sinusoidale che rappresenta, in modo aderente alla realtà, l'andamento delle temperature in funzione del tempo, come rappresentato in Fig 4 relativamente al periodo estivo. Questa curva è definita da due grandezze:

$A$  = ampiezza dell'onda       $T$  = lunghezza dell'onda

Come si vede in Fig. 6 la parete provoca uno smorzamento dell'ampiezza dell'onda nel passaggio dall'esterno all'interno e uno sfasamento fra l'onda esterna e quella interna tanto che il valore minimo si ha esternamente alle ore 3 ed internamente alle ore 15.

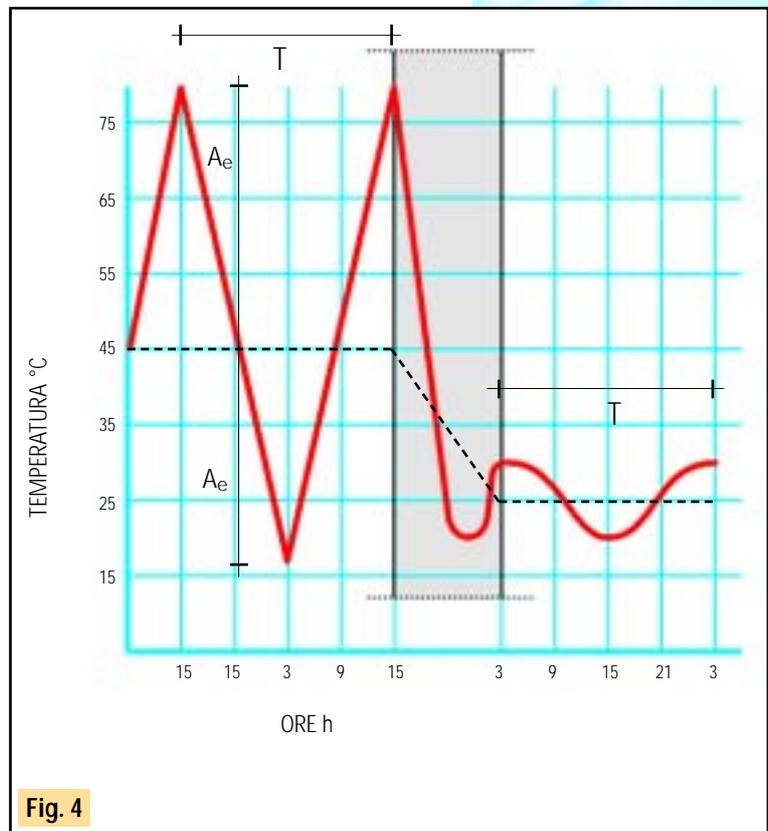


Fig. 4

Chiamiamo sfasamento di un'onda termica il tempo impiegato da una variazione di temperatura della faccia esterna di una parete ad essere rilevato dalla faccia interna. Se, ad esempio, la temperatura massima della faccia interna si manifesta alle ore 13 e quella della faccia interna alle ore 18, si dice che lo sfasamento è di 5 ore.

Lo smorzamento, invece, è determinato dal rapporto fra le ampiezze dell'onda termica esterna ed interna. Se il valore massimo dell'onda esterna si ha a 35°C ed il minimo a 15°C, l'ampiezza dell'onda termica è  $A_e = (35 - 15)/2 = 10$ .

Analogamente per l'onda interna se il valore massimo si ha a 25°C ed il valore minimo a 20°C, l'ampiezza della stessa è  $A_i = (25 - 20)/2 = 2,5$ .

Lo smorzamento quindi sarà:  $A_e/A_i = 10/2,5 = 4$ .

Gli strumenti teorici di indagine descritti permettono di evidenziare le variazioni delle condizioni igrometriche all'interno di una parete al variare della posizione dell'isolante.

Considerando due condizioni climatiche (estate ed inverno) e due posizioni di isolante (interno ed esterno) si avranno quattro combinazioni possibili.

Per le condizioni invernali si può usare la costruzione di Glaser, mentre per le estive è forse più interessante comparare pareti in regime non stazionario.

Le pareti in esame sono:

#### Parete 1

Strato esterno in c.a. da 20 cm, isolamento interno spessore 4,0 cm (= 0,035 kcal/hm°C), strato di protezione di 1,5 cm di intonaco a gesso.

#### Parete 2

Isolamento esterno tipo "cappotto" costituito da: isolante spessore = 4,0 cm, c.a. spessore = 20 cm, intonaco a gesso spessore = 1,0 cm.

Vengono calcolati:

- ◆ Sfasamento e smorzamento di un'onda termica
- ◆ Accumulo termico in condizioni estive ( $T_i = 25^\circ\text{C}$ ,  $T_e = 40^\circ\text{C}$ ) ed invernali ( $T_i = 20^\circ\text{C}$ ,  $T_e = -5^\circ\text{C}$ )

Dai calcoli, da considerarsi ancora indicativi, sia per le ipotesi usate che per i valori dei coefficienti igrotermici dei materiali, risulta che, mentre nella parete 2 (isolante dall'esterno) non c'è possibilità di condensa, nella parete 1 la zona interessata da condensa comprende, oltre alla parete di supporto, anche buona parte dello strato isolante che potrebbe essere putrescibile o almeno imbibibile.

Ritroveremo qui lo stesso tipo di fenomeni incontrati e descritti in precedenza riguardanti il notevole aumento della conducibilità termica dei materiali bagnati ed il possibile affioramento di umidità sulla faccia interna con formazione di condense superficiali e muffe.

Lo sfasamento è simile per le due pareti.

La parete 1 ha invece uno smorzamento inferiore del 50% di quello della parete 2, il che vuol dire ad esempio che in estate, se la temperatura esterna ha uno sbalzo di 40°C fra giorno e notte, sulla faccia interna tale sbalzo sarà sulla parete 1 di 2°C, mentre sulla parete 2 sarà di 1,33°C.

### ◆ **ACCUMULO**

Un altro fattore importante da considerare per una scelta corretta del sistema termoisolante è l'accumulo di una parete.

La quantità di calore accumulata viene calcolata con la seguente formula:

$$Q = C \cdot y \cdot s \cdot (T - T_a) \quad \text{dove}$$

Q = quantità di calore accumulata (Kcal/m<sup>2</sup>)

C = calore specifico del materiale (Kcal/Kg°C)

y = peso specifico (Kg/m<sup>3</sup>)

s = spessore dello strato (m)

T = temperatura media dello strato (°C)

T<sub>a</sub> = temperatura dell'ambiente verso il quale si dirige il flusso termico (°C)

Considerando la parete di supporto in calcestruzzo, la quantità C · y · s sarà sempre costante e uguale a 80 kcal/m<sup>2</sup> °C. Nel caso di una parete isolata dall'interno, in estate si avrà un accumulo complessivo di 1110 kcal/m<sup>2</sup>. La temperatura media della parete di supporto in c.a. è di 38,5°C, quindi detta parete ha un accumulo Q = (38,5 - 25) x 80 = 1080 kcal/m<sup>2</sup>. Ciò significa che in pratica tutto il calore accumulato nella parete risiede nello strato di calcestruzzo da 20 cm.

La posizione dello strato isolante rispetto alla parete di calcestruzzo influenza molto le caratteristiche di accumulo della chiusura esterna, sia per quanto riguarda la quantità che il modo in cui il calore accumulato viene restituito.

Se infatti si considerano i risultati relativi all'accumulo (tab.B pag.14), si vede che, mentre d'inverno la parete 2 tende a contrastare la diminuzione di temperatura interna cedendo calore al locale, la parete 1 esplica questo contrasto nel periodo estivo. Le conseguenze di questo uguale comportamento in condizioni stagionali opposte sono molto importanti per il comfort termico.

In inverno la parete 2 tende a mantenere elevata la temperatura superficiale interna, limitando così, anche con riscaldamento intermittente pericoli di condensa superficiale o sensazioni di malessere per bassa temperatura radiante. In estate, invece, detta parete ha di giorno un debole accumulo di calore che può essere efficacemente smaltito nel periodo notturno.

Il contrario accade per una parete con isolamento dall'interno.

TABELLA B Confronto fra la Parete 1 e la Parete 2 secondo i parametri indicati

Parametri di valutazione	Parete 1 Isolamento dall'interno	Parete 2 Isolamento dall'esterno
Possibilità di condensa	SI	NO
Sfasamento	5 ore	5 ore
Smorzamento	21	31
Temperatura esterna supporto ( $T_e = 40\text{ °C}$ )	39,44 °C	28 °C
Accumulo in estate ( $T_e = 40\text{ °C}$ ) ( $T_i = 25\text{ °C}$ )	1110 Kcal/m <sup>2</sup>	232 Kcal/m <sup>2</sup>
Temperatura esterna supporto ( $T_e = - 5\text{ °C}$ )	- 4,06 °C	15 °C
Accumulo in inverno ( $T_e = - 5\text{ °C}$ ) ( $T_i = 20\text{ °C}$ )	282 Kcal/m <sup>2</sup>	1697 Kcal/m <sup>2</sup>



## ◆ INFLUENZA DELLA MASSA MURARIA

Poichè la capacità di accumulo di calore di una parete è strettamente collegata alla sua massa, è opportuno fare alcune considerazioni sull'influenza della massa delle pareti rispetto al problema del contenimento dei consumi energetici ed al benessere abitativo.

Il dato fondamentale che consente, al di là di ogni dubbio, il confronto fra pareti leggere e pareti pesanti, e quindi la valutazione dell'effetto della massa sulla prestazione termica, è il consumo di combustibile. Questo consumo dipende dalle prestazioni dell'edificio e dal rendimento dell'impianto, in relazione alle situazioni di carico massimo e di stato d'uso e manutenzione dell'impianto stesso.

Per fare un confronto significativo fra pareti pesanti e leggere è necessario considerare edifici con le stesse caratteristiche strutturali ed identica costruzione interna, ma con diversa tipologia delle pareti esterne: una volta di tipo pesante ed una volta di tipo leggero.

E' necessario, inoltre, che la trasmittanza delle pareti ( $K$ ) sia la stessa, altrimenti entrano in gioco differenze su parametri non facilmente controllabili.

Numerosi autori, in base a calcoli molto elaborati, fanno rilevare come il rapporto fra le potenze termiche massime nei due casi presi in esame (pareti leggere e pareti pesanti) è a favore delle pareti pesanti anche se per valori non eccessivamente elevati.

Prove sperimentali sulle caratteristiche di trasmissione del calore in regime variabile di pareti di vario spessore ed isolamento hanno dimostrato che incrementi eccessivi della resistenza termica non producono vantaggi significativi sui consumi di energia.

Questi vantaggi sono invece conseguibili aumentando il peso della parete isolata con benefici riscontrabili anche in incrementi sensibili dei valori di ritardo termico (sfasamento).

Ciò influisce anche sui valori massimi dei consumi orari di energia che, nel caso di pareti isolate e più pesanti, risultano più bassi rispetto a quelli calcolati in regime stazionario.

La possibilità del sistema termico costituito dall'edificio di ridurre l'ampiezza delle sollecitazioni termiche dovute all'ambiente esterno dipende dall'inerzia termica, ovvero dalla massa del sistema stesso.

Un'inerzia termica elevata determina la riduzione delle variazioni del flusso termico scambiato fra l'ambiente esterno ed interno, con una limitazione del flusso termico stesso, e tende a portare la temperatura superficiale interna della parete ad un valore più vicino a quello della temperatura dell'ambiente interno.

Il rapporto fra l'ampiezza delle oscillazioni della temperatura dell'aria interna e quella dell'aria esterna risulta tanto minore quanto maggiore è l'inerzia termica.

In estate, una perturbazione termica spontanea si propaga all'interno in un tempo tanto maggiore quanto maggiore è l'inerzia termica. Quindi l'effetto dovuto al massimo di temperatura esterna si avverte all'interno quando ormai l'aria esterna si è raffreddata: si può ricorrere ad una semplice ventilazione del locale per mantenere adeguate condizioni di benessere.

Dal punto di vista igrometrico i materiali leggeri sono tendenzialmente poco permeabili al vapor d'acqua. Possono richiedere una protezione impermeabile per la loro limitata consistenza.

I materiali pesanti invece, generalmente porosi, sono permeabili al vapor d'acqua. Raggiungono con facilità l'equilibrio igrotermico anche nei locali dove è maggiore la produzione di vapor d'acqua, quali cucine e bagni.

## ◆ CONSIDERAZIONI FINALI

### PONTI TERMICI

Nella terminologia termotecnica corrente si suole definire "ponte termico" ogni via di fuga del calore che si determina in corrispondenza di giunti, sconnessioni fra pannelli e zone di discontinuità del materiale isolante.

I ponti termici provocano i seguenti inconvenienti:

- ✦ Aumento delle dispersioni termiche
- ✦ Sensibili abbassamenti della temperatura in alcune zone della superficie interna della parete con conseguenti formazioni di condensa

La quantità di calore che viene dispersa attraverso i ponti termici è di difficile valutazione in termini matematici.

Normalmente, nella pratica del calcolo degli impianti di riscaldamento, si tiene conto dei ponti termici moltiplicando le dispersioni termiche per un coefficiente maggiorativo.

Nella determinazione del K maggiorato non si è tenuto conto delle divergenze di flusso (Fig. 5), che, in certi casi, possono comportare un aumento delle dispersioni termiche molto più accentuato.

Il sistema di isolamento dall'esterno, oltre ad eliminare tutti i ponti termici, consente di impiegare spessori di isolanti minori rispetto alle soluzioni tradizionali e di eseguire il calcolo delle dispersioni con precisione e sicurezza senza il rischio di errori dovuti principalmente alla valutazione dei ponti termici di non semplice determinazione.

L'esperienza dimostra che l'isolamento dall'esterno è particolarmente efficace in costruzioni in c.a. con forte presenza di ponti termici, quali pilastri, travi e solai, in quanto permette di contenere le dispersioni di calore entro limiti accettabili.

### COSTI

Normalmente si ritiene che l'applicazione dell'isolamento dall'esterno comporti un aggravio dei costi di costruzione. Questo aspetto si può ritenere fondato solo nel caso in cui in sede di progettazione di edifici nuovi non venga previsto questo

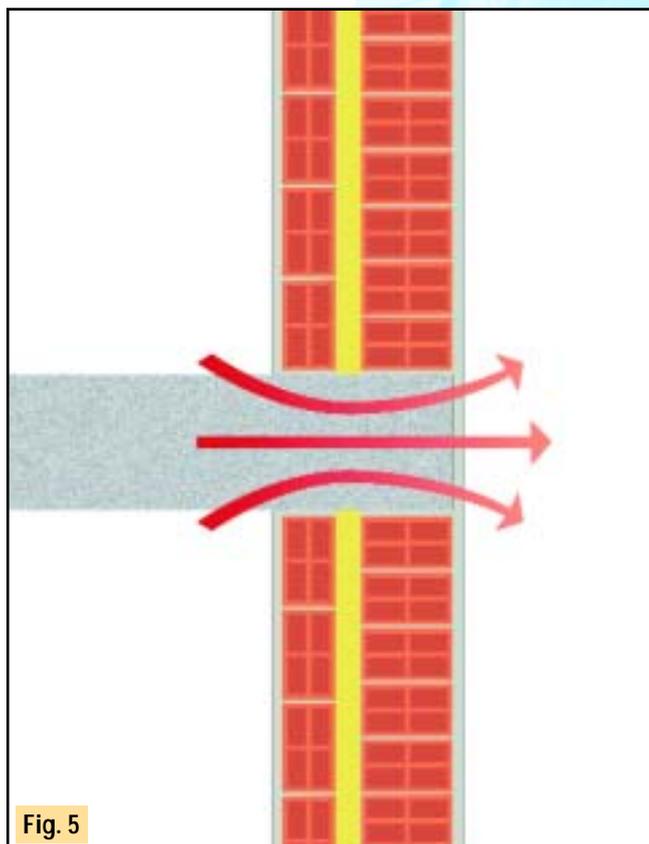


Fig. 5

tipo di intervento che, ovviamente, rispetto ad un semplice rivestimento di facciata risulta più oneroso. Tuttavia nel tempo l'isolamento dall'esterno consente il recupero dei maggiori costi di costruzione per effetto del minor consumo di combustibile da riscaldamento.

Inoltre, se consideriamo un sistema costruttivo normalmente impiegato costituito da struttura portante in c.a. con tamponamenti a doppia parete a camera d'aria o con isolante interposto, la soluzione alternativa con isolamento dall'esterno si dimostra più vantaggiosa.

Infatti, si può eliminare la doppia parete e quindi la camera d'aria o l'isolante interposto realizzando una semplice parete di tamponamento fra pilastro e pilastro in mattoni forati o blocchi di calcestruzzo anche alleggerito ed applicando quindi l'isolamento dall'esterno.

Si ottiene così un risparmio nei costi di tamponamento ed un recupero di spazio all'interno dei locali.

Il risparmio nei costi di tamponamento è compensato dal maggiore onere dovuto alla realizzazione dell'isolamento dall'esterno, fermo restando che il recupero di spazio all'interno dei locali si dimostra economicamente vantaggioso oltre che praticamente utile per la maggiore disponibilità spazio all'interno dell'abitazione.

#### VANTAGGI

Ricordiamo brevemente quali sono i vantaggi che si possono ottenere con l'isolamento dall'esterno a "cappotto":

- ❖ Aumento della temperatura superficiale interna delle pareti esterne con conseguente possibile abbassamento della temperatura ambientale e quindi con un ulteriore risparmio di energia a parità di benessere
- ❖ Aumento dell'inerzia termica con effetti positivi sul microclima interno, che si mantiene costante anche in presenza di interruzioni nell'erogazione del riscaldamento.
- ❖ Miglioramento della resistenza alla diffusione del vapore verso l'esterno, resistenza che generalmente risulta troppo bassa specialmente in edifici in c.a. con tamponamento in forati.
- ❖ Eliminazione dei ponti termici causa di formazione di condense e quindi di muffe.

◆ **CALCOLO DEL COMPORTAMENTO IGROTERMICO DI UNA PARETE CON IL DIAGRAMMA DI GLASER**

PARETE 1 - ISOLAMENTO DALL'INTERNO

Costituita da uno strato portante in blocchi di cemento armato vibrocompresso con modulo 20 K esterno, da uno strato isolante di polistirene espanso di spessore 4 cm posto all'interno e accoppiato con gesso rivestito di spessore 13 mm.

● Andamento delle resistenze termiche

Nella tabella A sono riportate:

- le resistenze termiche  $R = \frac{S}{\lambda}$  degli strati costituenti la parete 1 e la loro somma  $\Sigma R$ ;
- le resistenze al passaggio del vapore  $R_v$  ricavate utilizzando le tabelle riportate in Appendice B

TAB. A Andamento delle resistenze termiche R e delle resistenze al passaggio del vapore  $R_v$

N.	STRATO	SPESS.	$\lambda$	$\mu$	R	$R_v$
1	Aria interna	-	-	-	0,143	-
2	Gesso rivestito	0,013	0,45	10	0,028	0,13
3	Isolante PSE	0,04	0,03	40	1,334	1,60
4	Parete con 20K	0,20	0,90	20	0,223	4,00
5	Intonaco esterno	0,015	0,75	15	0,020	0,225
6	Aria esterna	-	-	-	0,050	-
RESISTENZE TOTALI					1,798	5,928

● Andamento delle temperature all'interno della parete

Il salto termico di progetto  $\Delta t = t_i - t_e$  si ripartisce in salti parziali  $\Delta t_1, \Delta t_2$  ecc. dati rispettivamente da:

$$\Delta t_1 = \frac{R_1}{\Sigma R} \cdot \Delta t \quad \Delta t_2 = \frac{R_2}{\Sigma R} \cdot \Delta t \quad \text{ecc.}$$

dove:  $\Sigma R$  è la resistenza termica totale della parete  
 $R_1, R_2,$  ecc. sono le resistenze termiche parziali dei vari strati

Dalle differenze di temperatura parziali  $\Delta t_1, \Delta t_2,$  ecc. è possibile ricavare le temperature superficiali  $t_1, t_2,$  ecc. dei vari strati con le formule:

$$t_1 = t_i - \frac{R_1}{\Sigma R} \cdot \Delta t \quad t_2 = t_1 - \frac{R_2}{\Sigma R} \cdot \Delta t \quad t_3 = t_2 - \frac{R_3}{\Sigma R} \cdot \Delta t \quad \text{ecc.}$$

Con riferimento alla parete 1 considerata (isolamento dall'interno), tenendo conto dei valori ipotizzati di  $t_i = 20^\circ\text{C}$  e  $t_e = -5^\circ\text{C}$ , il salto termico risulta  $\Delta t = 25^\circ\text{C}$ .

Pertanto le temperature superficiali dei vari strati saranno quelli indicati nella tabella B di seguito riportata.

TAB. B Andamento delle temperature superficiali degli strati costituenti la parete 1		
<b><math>t_i</math></b> temperatura aria interna		20°C
<b><math>t_1</math></b> dovuta alla resistenza liminare interna	$t_1 = t_i - \frac{R_1}{\Sigma R} \cdot \Delta t$	18°C
<b><math>t_2</math></b> dovuta all'intonaco di gesso interno	$t_2 = t_1 - \frac{R_2}{\Sigma R} \cdot \Delta t$	17,7°C
<b><math>t_3</math></b> dovuta al polistirolo	$t_3 = t_2 - \frac{R_3}{\Sigma R} \cdot \Delta t$	-0,9°C
<b><math>t_4</math></b> dovuta alla parete K20	$t_4 = t_3 - \frac{R_4}{\Sigma R} \cdot \Delta t$	-4,1°C
<b><math>t_5</math></b> dovuta all'intonaco esterno	$t_5 = t_4 - \frac{R_5}{\Sigma R} \cdot \Delta t$	-4,4°C
<b><math>t_e</math></b> temperatura aria esterna		-5°C

### ● Andamento delle pressioni di saturazione del vapor acqueo

Con riferimento alle temperature superficiali di cui alla tabella B ed alla tabella riportata in Appendice si ricavano le pressioni di saturazione del vapor acqueo relative a ciascun strato come riportato nella seguente tabella C.

TAB. C Andamento delle pressioni di saturazione del vapor acqueo ( $t_i = 20^\circ\text{C}$ , $t_e = -5^\circ\text{C}$ )	
Temperature superficiali interne	Pressioni di saturazione
$t_1 = 18^\circ\text{C}$	$Ps_1 = 210 \text{ Kg/m}^2$
$t_2 = 17,7^\circ\text{C}$	$Ps_2 = 207 \text{ Kg/m}^2$
$t_3 = -0,9^\circ\text{C}$	$Ps_3 = 58 \text{ Kg/m}^2$
$t_4 = -4,1^\circ\text{C}$	$Ps_4 = 44 \text{ Kg/m}^2$
$t_5 = -4,4^\circ\text{C}$	$Ps_5 = 43 \text{ Kg/m}^2$

● Andamento delle pressioni effettive del vapor acqueo

Ricordando che  $Pr = UR \times Ps$  si avrà per le pressioni effettive interne ed esterne:

$$Pr_i = \frac{50}{100} \times 238 = 119 \text{ Kg/m}^2 \quad Pr_e = \frac{80}{100} \times 41 = 32,8 \text{ Kg/m}^2$$

Per determinare le pressioni effettive  $Pr_1, Pr_2, Pr_3$ , ecc. si segue il procedimento identico a quello utilizzato per le temperature superficiali.

TAB. D Andamento delle pressioni effettive del vapor acqueo

<b>Pr<sub>1</sub></b>	$Pr_1 = Pr_i - \frac{(\Delta t \ Pr) \times Rv_1}{\sum Rv}$	119 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Pr<sub>2</sub></b>	$Pr_2 = Pr_1 - \frac{(\Delta t \ Pr) \times Rv_2}{\sum Rv}$	117,545 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Pr<sub>3</sub></b>	$Pr_3 = Pr_2 - \frac{(\Delta t \ Pr) \times Rv_3}{\sum Rv}$	94,267 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Pr<sub>4</sub></b>	$Pr_4 = Pr_3 - \frac{(\Delta t \ Pr) \times Rv_4}{\sum Rv}$	36,072 Kg/m <sup>2</sup>
<b>Pr<sub>5</sub></b>	$Pr_5 = Pr_4 - \frac{(\Delta t \ Pr) \times Rv_5}{\sum Rv}$	32,798 Kg/m <sup>2</sup>

PARETE 2 - ISOLAMENTO DALL'ESTERNO

Costituita da .uno strato portante in blocchi di cemento armato vibrocompresso con modulo 20 K esterno, da uno strato isolante di polistirene espanso di spessore 4 cm posto all'esterno rivestito con strato di malta +rete.

● Andamento delle resistenze termiche

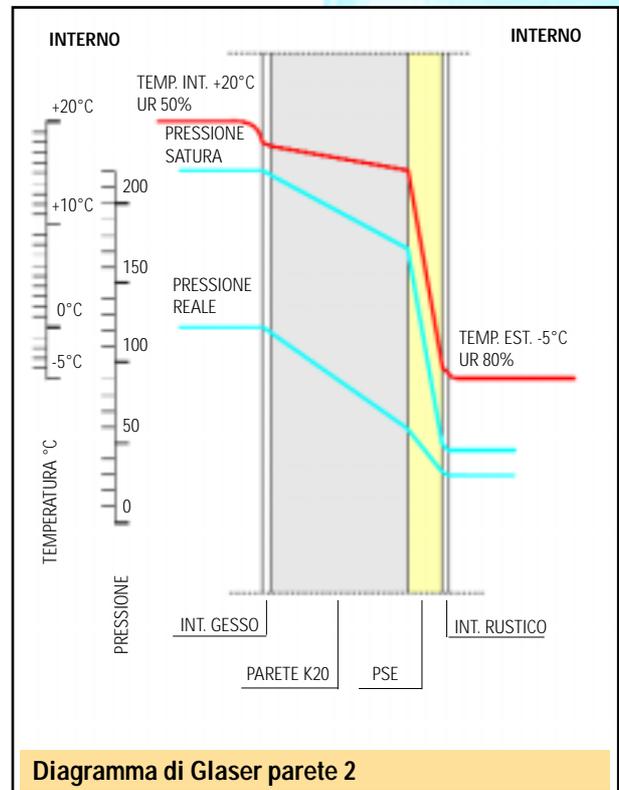
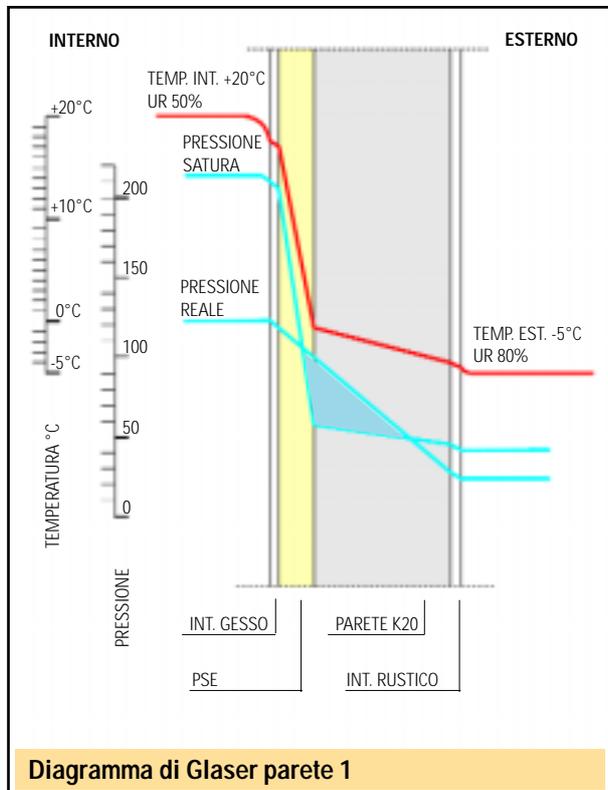
TAB. E Andamento delle resistenze termiche R e delle resistenze al passaggio del vapore Rv

N.	STRATO	SPESS.	λ	μ	R	Rv
1	Aria interna	-	-	-	0,143	-
2	Intonaco in gesso	0,01	0,45	10	0,023	0,10
3	Parete con 20K	0,20	0,90	20	0,223	4,00
4	Isolante PSE	0,04	0,03	40	1,334	1,60
5	Intonaco esterno + rete	0,005	1,20	15	0,005	0,075
6	Aria esterna	-	-	-	0,050	-
RESISTENZE TOTALI					1,779	5,775

● Andamento delle temperature, della pressione satura e della pressione effettiva

TAB. F Andamento delle temperature, pressione satura e pressione effettiva

Temperature	Pressione satura	Pressione effettiva
$t_i = 20^\circ\text{C}$		
$t_1 = 18^\circ\text{C}$	$Ps_1 = 210 \text{ Kg/m}^2$	$Pr_1 = 119 \text{ Kg/m}^2$
$t_2 = 17,7^\circ\text{C}$	$Ps_2 = 207 \text{ Kg/m}^2$	$Pr_2 = 117,507 \text{ Kg/m}^2$
$t_3 = 14,6^\circ\text{C}$	$Ps_3 = 170 \text{ Kg/m}^2$	$Pr_3 = 57,801 \text{ Kg/m}^2$
$t_4 = - 4,2^\circ\text{C}$	$Ps_4 = 44 \text{ Kg/m}^2$	$Pr_4 = 33,918 \text{ Kg/m}^2$
$t_5 = - 4,3^\circ\text{C}$	$Ps_5 = 43 \text{ Kg/m}^2$	$Pr_5 = 32,798 \text{ Kg/m}^2$
$t_e = -5^\circ\text{C}$		



## ◆ CONFRONTO FRA I DUE CASI PRESI IN ESAME

E' bene precisare che la costruzione del diagramma di Glaser permette di determinare valori più che altro indicativi, in quanto il calcolo viene effettuato in regime stazionario.

Inoltre, nel caso in cui si verifichi condensa all'interno di una parete nel diagramma la curva delle pressioni effettive sale al di sopra della curva delle pressioni sature, il che costituisce un assurdo dal punto di vista fisico. Nella realtà la pressione effettiva e quella satura coincidono, in quanto l'eccesso di vapore viene smaltito sottoforma di condensa.

Dal confronto delle due pareti appare subito evidente che in una si verifica condensa mentre nell'altra questo fenomeno è del tutto assente.

Infatti la parete 2 (isolamento dall'esterno) non presenta condensa, in quanto mantiene elevate le temperature all'interno degli strati interni con elevati valori di pressione di vapore effettiva.

La parete 1 (isolamento dall'interno), presenta condensa negli strati componenti, ma in particolare anche nello strato isolante.

Ciò comporta un possibile deterioramento del materiale isolante che, comunque, essendo umido perde notevolmente la sua capacità di coibenza, determinando un aumento della zona di condensa.

Questo fenomeno, progredendo nel tempo, si verificherà anche sulla superficie della parete interna con conseguenti manifestazioni di muffe.

### BARRIERA AL VAPORE

Per evitare la formazione di condensa è necessario eseguire uno studio igrotermico accurato, oppure ricorrere all'impiego di prodotti in grado di realizzare le cosiddette "barriere al vapore".

In generale questi prodotti sono costituiti da materiale impermeabile al vapore, ma il loro impiego può essere controproducente o dimostrarsi inefficace se non si rispettano alcune condizioni:

- continuità della superficie di posa senza buchi o giunzioni aperte, che funzionerebbero da punti di accumulazione del vapore.

- posizione corretta rispetto al punto di rugiada e quindi applicazione sulla parete calda che se d'inverno impedisce che il vapore in uscita incontri lo strato isolante d'estate invece, procedendo il flusso di vapore dall'esterno verso l'interno, porta a far funzionare la barriera al vapore come accumulo contro lo strato isolante

- effetti penalizzanti dovuti al fatto che il rivestimento impermeabile su tutto l'edificio comporta un accumulo possibile di vapore nell'ambiente interno che, se

non viene smaltito provvedendo alla ventilazione dei locali, da luogo a nuove formazioni di condensa.

Anche applicando barriere al vapore non totalmente impermeabili ma caratterizzate da specifiche resistenze al passaggio del vapore la scelta del tipo di barriera non risulta facile e risolutiva, in quanto il diagramma di Glaser, essendo una schematizzazione teorica in regime stazionario, non rappresenta compiutamente la realtà del fenomeno igrotermico.



**TABELLA 1** PRESSIONE DI SATURAZIONE DEL VAPORE ACQUEO (Kg/m<sup>2</sup>) IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA \*

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
30	433	435	438	440	443	445	448	450	453	456
29	408	411	413	416	418	420	423	425	428	430
28	385	388	390	392	395	397	399	402	404	406
27	364	366	368	370	372	374	377	379	381	383
26	343	345	347	349	351	353	355	357	359	361
25	323	325	327	329	331	333	335	337	339	341
24	304	306	308	310	312	314	316	317	319	321
23	286	288	290	292	294	295	297	299	301	302
22	270	271	273	275	276	278	280	281	283	285
21	254	255	257	258	260	262	263	265	266	268
20	238	240	242	243	244	246	248	249	250	252
19	224	226	227	228	230	231	233	234	236	237
18	210	212	213	215	216	217	219	220	221	223
17	198	199	200	201	203	204	205	207	208	209
16	185	186	188	189	190	191	193	194	195	196
15	174	175	176	177	178	180	181	182	183	184
14	163	164	165	166	167	168	170	171	172	173
13	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162
12	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152
11	134	135	136	137	138	138	139	140	141	142
10	125	126	127	128	129	130	130	131	132	133
9	117	118	119	119	120	121	122	123	123	124
8	109	110	111	112	112	113	114	115	116	116
7	102	103	104	104	105	106	106	107	108	109
6	95	96	97	97	98	99	99	100	101	101
5	89	90	90	91	91	92	92	93	94	94
4	83	84	84	85	85	86	86	87	88	88
3	77	78	78	79	80	80	81	81	82	82
2	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77
1	67	68	68	68	69	70	70	70	71	71
0	62	63	63	64	64	65	65	66	66	67

\* Per temperature da 0 a + 30 °C

**TABELLA 1** PRESSIONE DI SATURAZIONE DEL VAPORE ACQUEO (Kg/m<sup>2</sup>) IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA \*

°C	-0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
0	62	62	61	61	60	60	59	59	58	58
-1	57	57	56	56	55	55	54	54	54	53
-2	53	52	52	52	51	51	50	50	49	49
-3	48	48	48	47	47	46	46	46	45	45
-4	44	44	44	43	43	43	42	42	42	41
-5	41	41	40	40	40	39	39	39	38	38
-6	38	37	37	37	36	36	36	35	35	35
-7	34	34	34	34	33	33	33	32	32	32
-8	32	31	31	31	30	30	30	30	29	29
-9	29	29	28	28	28	28	27	27	27	27
-10	26									

\* Per temperature da 0 a -10 °C

**TABELLA 2** COEFFICIENTI DI CONDUTTIVITA' TERMICA E DI RESISTENZA ALLA DIFFUSIONE DEL VAPOR ACQUEO DI MATERIALI ED ELEMENTI COSTRUTTIVI

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m°C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
<b>● INTONACI, MALTE, MATERIALI PER PAVIMENTI</b>			
Malta di calce e di calce e cemento	1800	0,90	25
Malta di cemento	2000	1,40	35
Intonaco di calce e gesso	1400	0,70	18
Intonaco di gesso senza cariche	1200	0,35	10
<b>● COMPONENTI DI GRANDE DIMENSIONE</b>			
Calcestruzzo di ghiaia o pietrisco a struttura chiusa e cemento armato	2400	1,91	70/150
Calcestruzzo leggero a struttura aperta:			
> Con inerti non porosi, ad esempio ghiaia	1600	0,73	3/10
	1800	0,93	3/10
	2000	1,06	5/10
> Con inerti porosi senza sabbia silicea	600	0,18	5/15
	700	0,21	5/15
	800	0,24	5/15
	1000	0,31	5/15
	1200	0,33	5/15
	1400	0,42	5/15
	1600	0,65	5/15
	1800	0,93	5/15
	2000	1,10	5/15

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m°C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
Calcestruzzo leggero e calcestruzzo leggero armato a struttura chiusa:			
> Prodotto con inerti a struttura porosa in generale	1000	0,47	70/150
	1200	0,59	70/150
	1400	0,72	70/150
	1600	0,87	70/150
	1800	0,99	70/150
	2000	1,20	70/150
> Prodotto esclusivamente con argilla espansa, scisto espanso, pomice, esente da sabbia silicea, per produzioni sottoposte a controllo di qualità	800	0,30	70/100
	900	0,35	70/100
	1000	0,38	70/100
	1100	0,44	70/100
	1200	0,50	70/100
	1300	0,56	70/100
	1400	0,62	70/100
	1500	0,67	70/100
	1600	0,73	70/100
Calcestruzzo poroso (gasbeton)	400	0,14	5/10
	500	0,16	5/10
	600	0,19	5/10
	700	0,21	5/10
	800	0,23	5/10

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> °C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
● PANNELLI			
Pannelli di calcestruzzo leggero	800	0,29	5/10
	900	0,32	5/10
	1000	0,35	5/10
	1200	0,47	5/10
	1400	0,58	5/10
Pannelli di calcestruzzo poroso non armato:			
➤ Con giunti di spessore normale	500	0,22	5/10
	600	0,24	5/10
	700	0,27	5/10
	800	0,29	5/10
➤ Con giunti sottili	500	0,19	5/10
	600	0,22	5/10
	700	0,24	5/10
	800	0,27	5/10
Pannelli di gesso, anche porosi, con cavità e cariche	600	0,29	5/10
	750	0,35	5/10
	900	0,41	5/10
	1000	0,47	5/10
	1200	0,58	5/10
Lastre in gesso rivestito	900	0,21	8
Lastre in cemento amianto	2000	0,58	20/50

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> °C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
● MURATURE COMPRESI I GIUNTI DI MALTA			
Murature di mattoni:			
➤ Klinker pieno	2000	1,00	100
➤ Klinker forato	1800	0,79	100
➤ Mattoni pieni, mattoni forati, mattoni leggeri, mattoni ad alta resistenza	600	0,35	5/10
	700	0,38	5/10
	800	0,41	5/10
	1000	0,47	5/10
	1200	0,52	5/10
	1400	0,60	5/10
	1600	0,70	5/10
	1800	0,79	5/10
	2000	1,00	5/10
Murature di arenaria calcarea	1000	0,50	5/10
	1200	0,56	5/10
	1400	0,70	5/10
	1600	0,79	5/10
	1800	0,99	15/25
	2000	1,10	15/25
	2200	1,30	15/25
Murature di blocchi a base di scorie di altoforno	1000	0,47	70/100
	1200	0,52	70/100
	1400	0,58	70/100
	1600	0,64	70/100
	1800	0,70	70/100
	2000	0,76	70/100

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m <sup>2</sup> °C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
Murature di blocchi di cemento:			
➤ Blocchi cavi di calcestruzzo leggero di piccolo formato	600	0,35	5/10
	700	0,40	5/10
	800	0,47	5/10
	900	0,56	5/10
	1000	0,65	5/10
	1200	0,77	5/10
	1400	0,91	5/10
	1600	1,00	5/10
➤ Blocchi cavi di calcestruzzo leggero con inerti porosi, senza sabbia silicea:			
➤➤ a 2 ordini di camere larghezza ≤ 240 mm	500	0,30	5/10
➤➤ a 3 ordini di camere larghezza ≤ 300 mm	600	0,33	5/10
	700	0,36	5/10
➤➤ a 4 ordini di camere larghezza ≤ 365 mm	800	0,40	5/10
	900	0,45	5/10
	1000	0,52	5/10
	1200	0,61	5/10
	1400	0,73	5/10
➤➤ a 2 ordini di camere larghezza = 300 mm	500	0,30	5/10
➤➤ a 3 ordini di camere larghezza = 365 mm	600	0,35	5/10
	700	0,40	5/10
	800	0,47	5/10
	900	0,56	5/10
	1000	0,65	5/10
	1200	0,77	5/10
	1400	0,91	5/10

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m°C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
> Blocchi pieni di calcestruzzo leggero	500	0,33	5/10
	600	0,35	5/10
	700	0,38	5/10
	800	0,41	5/10
	900	0,44	5/10
	1000	0,47	5/10
	1200	0,52	5/10
	1400	0,64	5/10
	1600	0,79	5/10
	1800	0,88	10/15
	2000	1,00	10/15
	> Blocchi cavi di calcestruzzo normale a struttura chiusa: >> a 2 ordini di camere larghezza $\leq 240$ mm >> a 3 ordini di camere larghezza $\leq 300$ mm >> a 4 ordini di camere larghezza $\leq 365$ mm  >> a 2 ordini di camere larghezza = 300 mm >> a 3 ordini di camere larghezza = 365 mm	$\leq 1800$	0,92
$\leq 1800$		0,92	10/15
$\leq 1800$		0,92	10/15
$\leq 1800$		1,30	10/15
$\leq 1800$		1,30	10/15
Murature di blocchi di calcestruzzo poroso	500	0,22	5/10
	600	0,24	5/10
	700	0,27	5/10
	800	0,29	5/10

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m°C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
● ISOLANTI TERMICI			
➤ Materiali isolanti a base di fibre minerali o vegetali	30	0,045	5
	35	0,044	5
	40	0,042	5
	100	0,038	5
➤➤ A fibre orientate	90	0,038	7
➤ Materiali isolanti a base di sughero			
➤➤ Espanso puro	130	0,045	10
➤➤ Espanso con leganti	90	0,043	10
	130	0,045	10
	200	0,052	10
➤ Materiali plastici espansi			
➤➤ Polistirene espanso sinterizzato	15	0,045	40
	20	0,041	40
	25	0,040	40
➤➤ Polistirene espanso estruso	30	0,036	70
	35	0,035	70
➤➤ Poliuretano espanso	25	0,034	30
	32	0,032	30
	40	0,032	30
	50	0,030	30

MATERIALI O ELEMENTI COSTRUTTIVI	DENSITA' (Kg/m <sup>3</sup> )	CONDUTTIVITA' TERMICA $\lambda$ (W/m°C)	RESISTENZA AL VAPOR A. $\mu$
Espansi rigidi di resine fenoliche	35	0,041	30/50
	60	0,044	30/50
	80	0,046	30/50
Espansi plastici prodotti in luogo: > Poliuretano espanso in luogo > Resine ureiche espanse in luogo	37	0,035	30
	8	0,057	1/3
	12	0,054	1/3
	15	0,051	1/3
	30	0,048	1/3
Vetro espanso	110	0,050	
	130	0,055	
	150	0,060	
Pannelli leggeri in lana di legno	400	0,093	2/5

Bibliografia

- Norma di riferimento UNI 10351 - Conduttività termica e permeabilità al vapore
  - Norma di riferimento DIN 4108 - Wärmeschutz im Hochbau
- I libri di Aipe - Be-Ma Editrice

---

Le indicazioni tecniche da noi fornite sono esemplificative. Il cliente è tenuto ad appurare l'idoneità dei prodotti acquistati in funzione del loro uso.

Quaderno Tecnico Waler 2 - Edizione 2003  
Testi ed immagini sono di proprietà della Waler.  
E' vietata la loro riproduzione.

Editing: Polis Immagine Coordinata - Milano  
Realizzazione testi e disegni: Arch. Roberto Ugo Nucci

IMTE s.r.l.  
Via Leonardo da Vinci, 5  
20020 Solaro (Milano)  
Tel. 02/9690167 - Fax 02/9691827  
[www.waler.it](http://www.waler.it)

 **Waler**<sup>®</sup>

W.QT2.00 - MAR. 2003