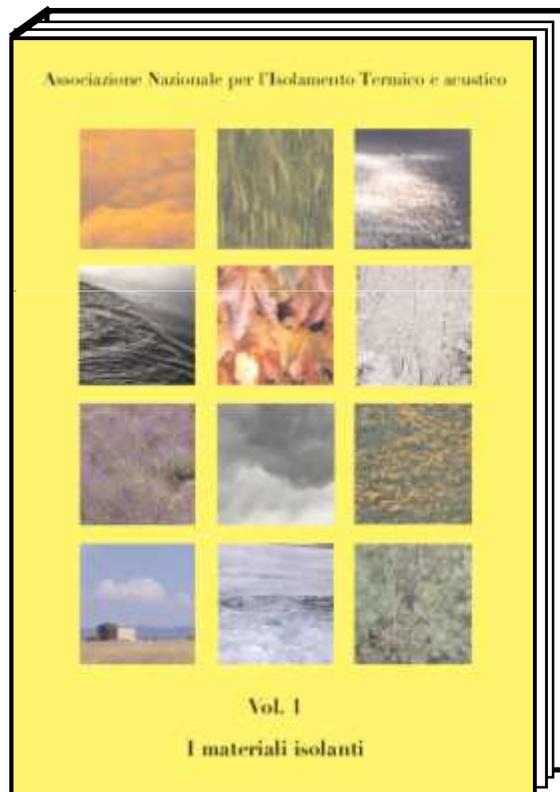




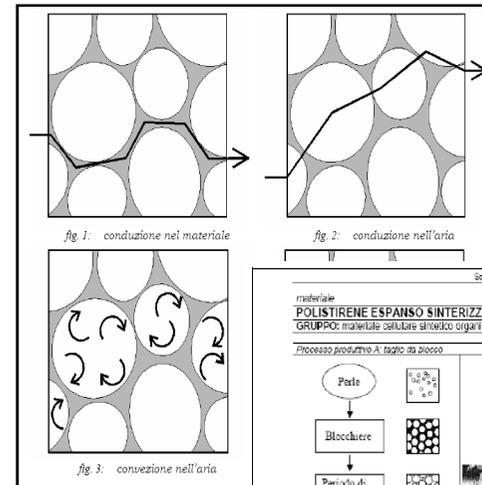
**ISOLAMENTO TERMICO DI EDIFICI  
NUOVI ED ADEGUAMENTO  
ENERGETICO DELL'ESISTENTE:**

# COLLANA ANIT: L'ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO

## VOL.1: I MATERIALI ISOLANTI



Meccanismi di trasmissione del calore



Schede di tutti i materiali isolanti

Schede materiali: POLISTIRENE ESPANSO

materiale: POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO codice: EPS

GRUPPO: materiale cellulare sintetico organico

Processo produttivo A: taglio da blocco

Le perle contenenti vengono portate a stampo (bloccano) loro espansione a v loro numero sintetizz. I blocchi vengono a stagionati per alcuni giorni o stagionati. E' possibile l'inserto sanitarie che meglio appaiono del modo proprieta' / rifletti.

Presentazione: Il polistirene espanso copole, prodotti in pannelli possono impermeabilizzanti, i pannelli possono e

Schede materiali: POLISTIRENE ESPANSO

Caratteristiche principali del materiale

	Valori vari	UNI 10321	prEN 12524	
Conducivita' termica $\lambda$	0,034 - 0,048	0,040 - 0,056	-	[W/mK]
Variaz. di assorbimento a interruzione che porta a 10% di deformazione	20 - 500	-	-	[N/m <sup>2</sup> ]
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo $\mu$	20 - 130	21 - 107	60	[-]
Umidita' $u$	15 - 40	20 - 30	10 - 50	[g/m <sup>3</sup> ]
Coefficiente di dilatazione termica lineare	0,05	-	-	[1/m <sup>3</sup> K]
Calore specifico $c_p$	1,25	-	1,45	[kJ/kgC]
Reazione al fuoco	E	-	-	[classif.]

Norma di riferimento, specifiche di prodotto: UNI EN 13163 - "Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polistirene espanso ottenuti in Sikkulosa - Specificazione" versione 2010

Classificazione dei prodotti EPS: I prodotti EPS sono generalmente classificati in base al valore della resistenza sollecitazione a compressione al 10% di deformazione es. EPS 050 oppure della lettera T se possiedono specifici requisiti da isolamento acustico (es. EPS T).

Requisiti:

Per tutte le applicazioni: X

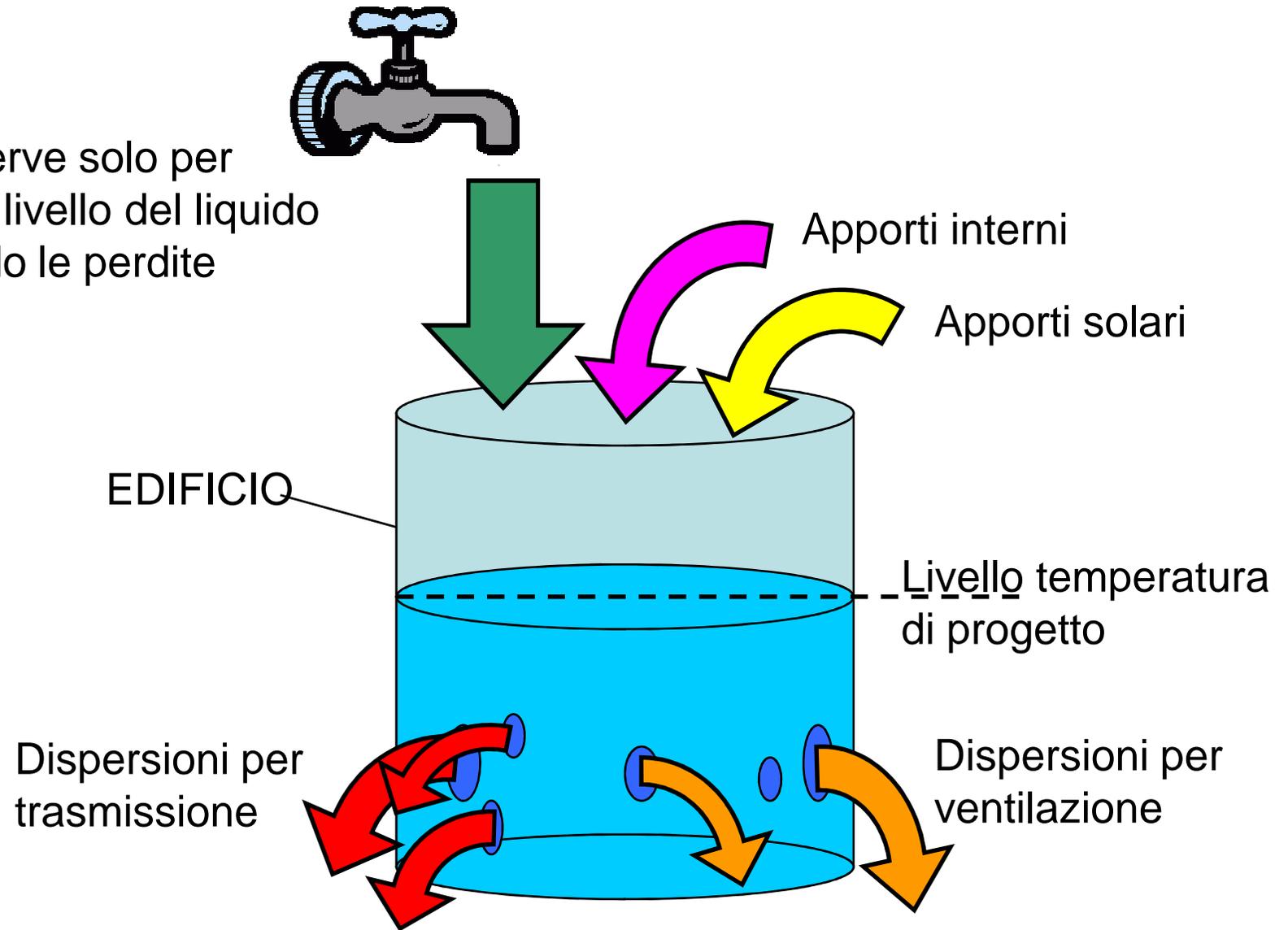
Per applicazioni specifiche: S

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
										S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35					
X	X	X	X																

Il numero di riferimento alle tabelle 10 e 11 a pagina 43-47.

Caratteristiche tecniche dei vari materiali

L'impianto serve solo per mantenere il livello del liquido compensando le perdite



## GRANDEZZE E UNITÀ DI MISURA

$$\lambda \left[ \frac{W}{mK} \right]$$

Conducibilità (conduttività) termica – caratteristica di un materiale omogeneo

$$R_t \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Resistenza termica

$$U \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

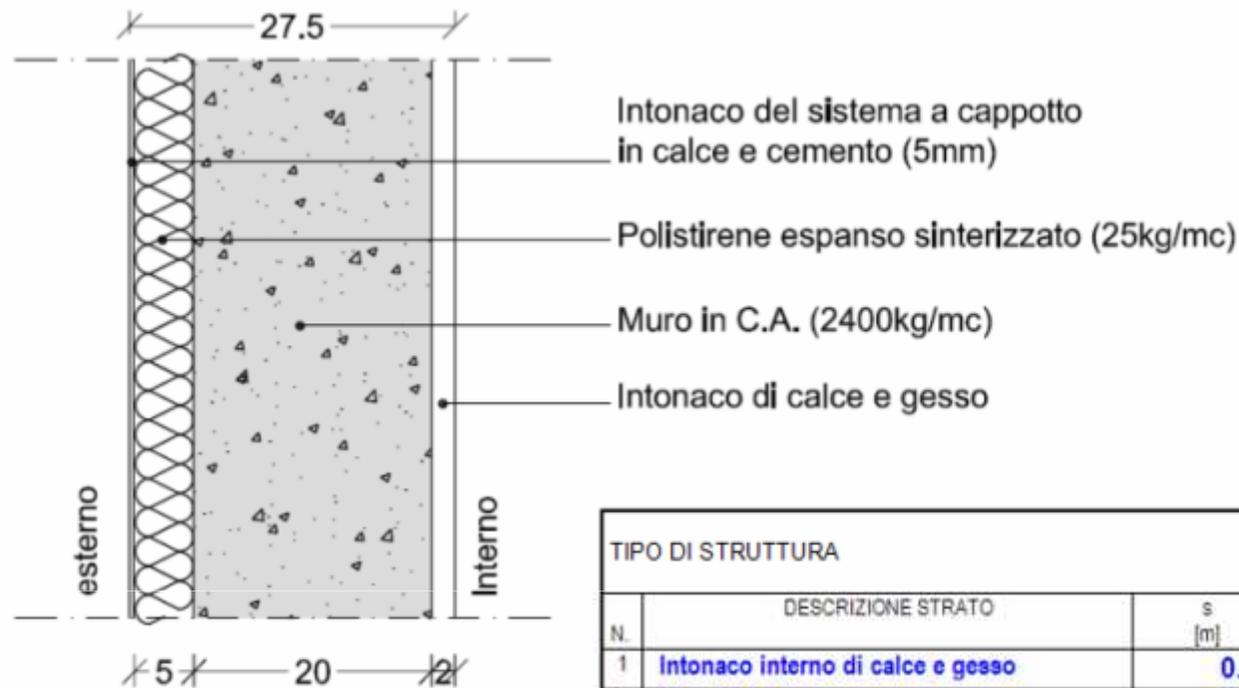
Trasmittanza termica

$$H \left[ \frac{W}{K} \right]$$

Coefficienti di dispersione

$$Q [MJ]$$

Dispersioni energetiche  
Apporti energetici  
Fabbisogno energetico



TIPO DI STRUTTURA					
N.	DESCRIZIONE STRATO	s [m]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	R [m <sup>2</sup> K/ W]
1	Intonaco interno di calce e gesso	0.02	0.700	1400	0.028
2	Muro in C.A.	0.20	1.910	2400	0.105
3	Pannello di EPS	0.05	0.040	25	1.250
4	Intonaco esterno in calce e cemento	0.005	0.900	1800	0.006
5					
6					
7					
Resistenza superficiale interna (R <sub>si</sub> )					0.130
Resistenza superficiale esterna (R <sub>se</sub> )					0.040

Resistenza termica totale ( $\Sigma R$ )	(m <sup>2</sup> K/W)	<b>1.559</b>
Trasmittanza termica U	(W/m <sup>2</sup> K)	<b>0.641</b>

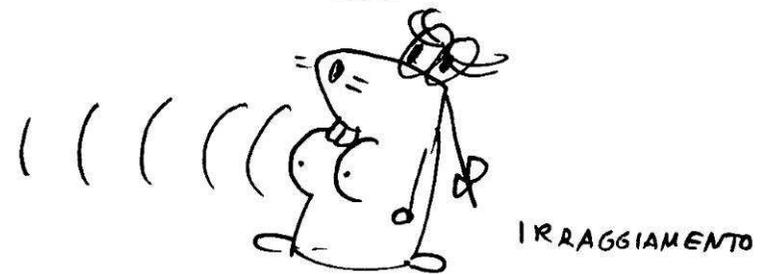
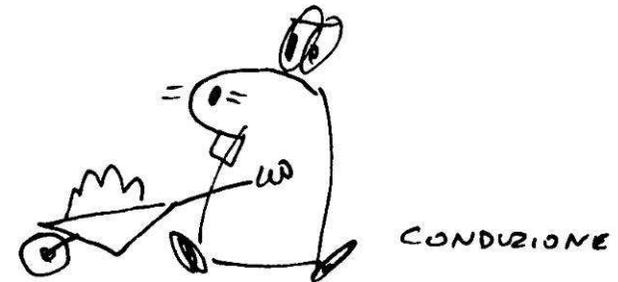
# 1. La trasmissione del calore

**MECCANISMI DI TRASMISSIONE DEL CALORE:**

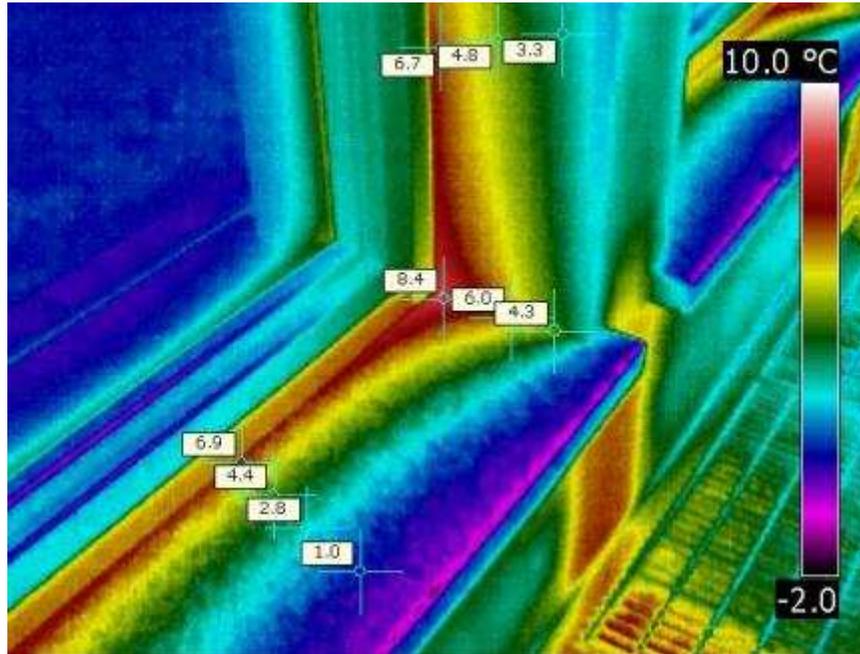
**CONDUZIONE**

**CONVEZIONE**

**IRRAGGIAMENTO**

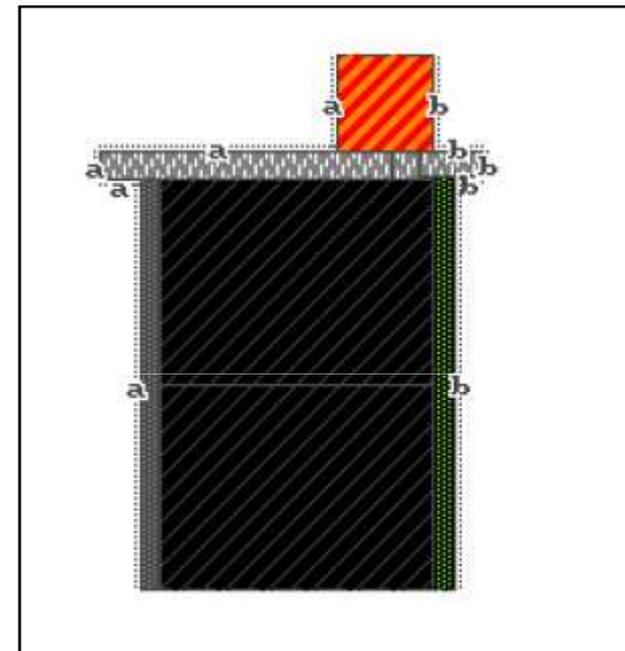
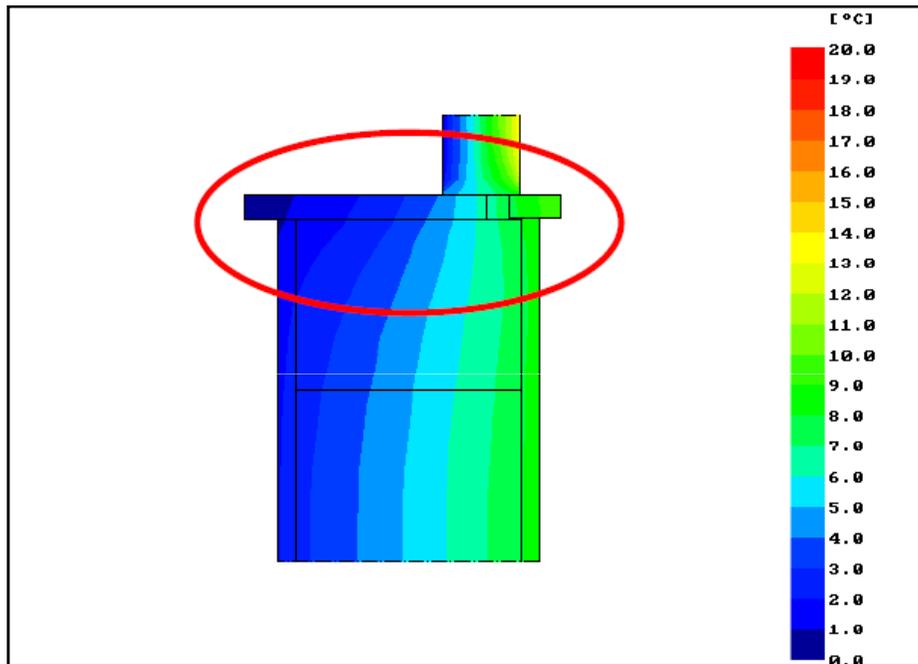


## CONDUZIONE



Termografia con esempio di meccanismo di trasmissione del calore conduttivo in atto in materiale molto conduttivo come il davanzale:  $\lambda = 2.5 \text{ W/mK}$

# CONDUZIONE



Termogramma di riferimento

**CONDUZIONE**

è la modalità di trasmissione del calore tra due regioni aventi temperature differenti dello stesso mezzo o fra mezzi diversi a contatto tra loro, senza che si abbia trasporto di materia. (Fourier)

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{d\vartheta}{dn} S$$

$\frac{dQ}{dt}$  è la quantità di calore che attraversa la superficie  $dS$  nell'intervallo di tempo  $dt$

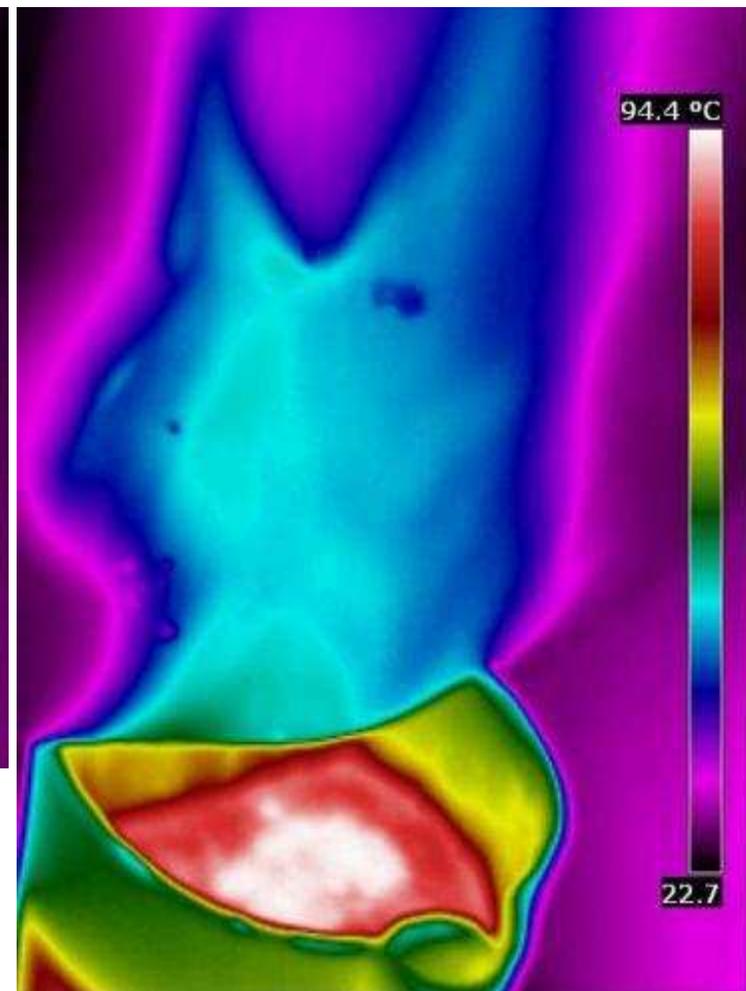
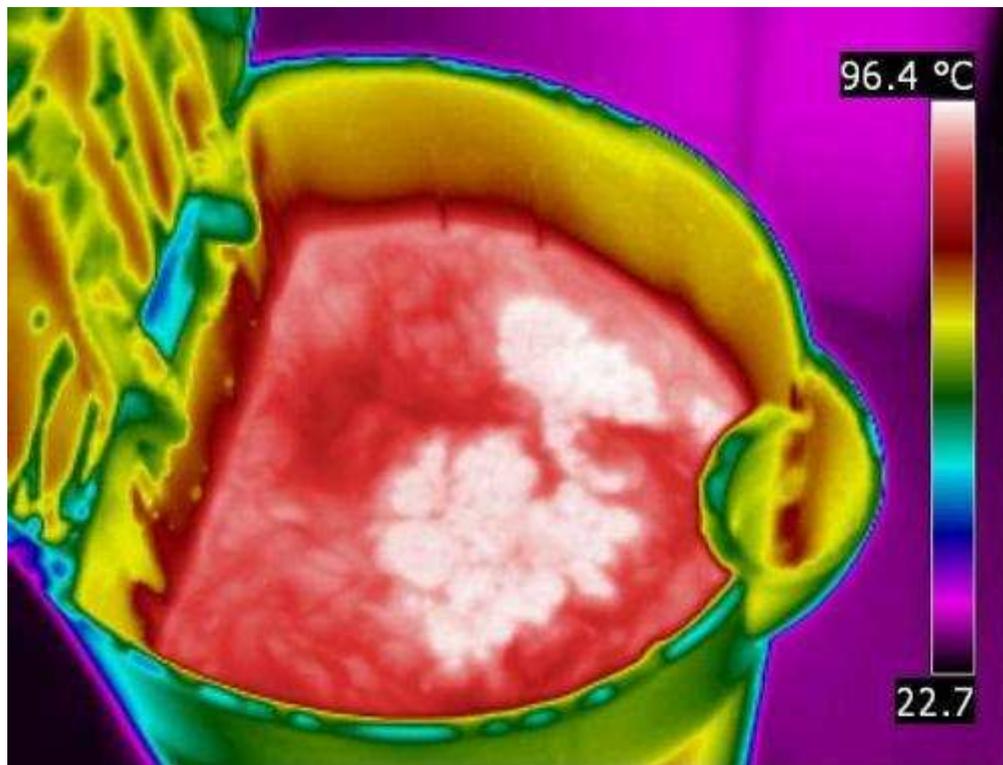
$\lambda$  è la conduttività termica del materiale

$\frac{d\vartheta}{dn}$  è la variazione della temperatura lungo la direzione normale alla superficie  $S$

**CONDUZIONE**

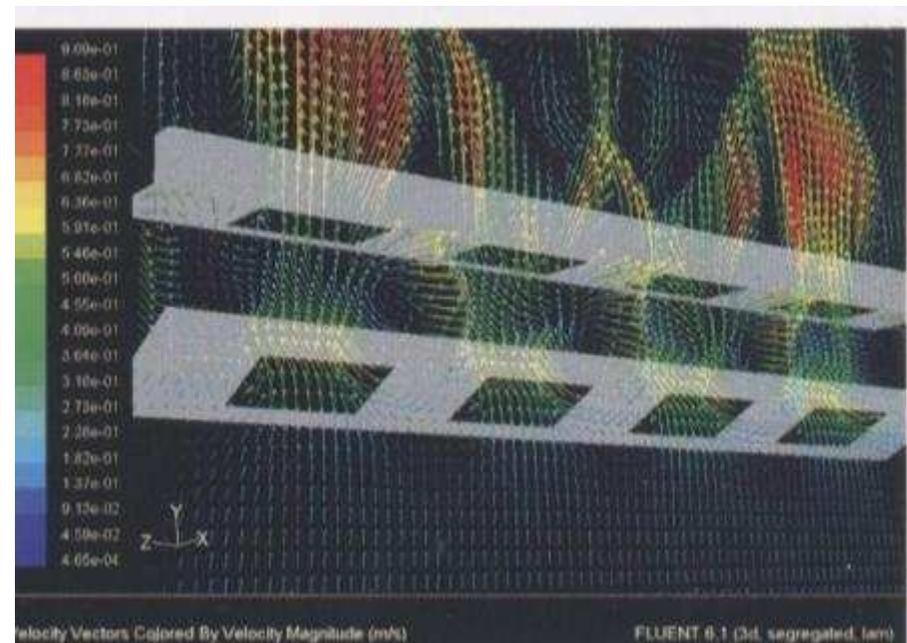
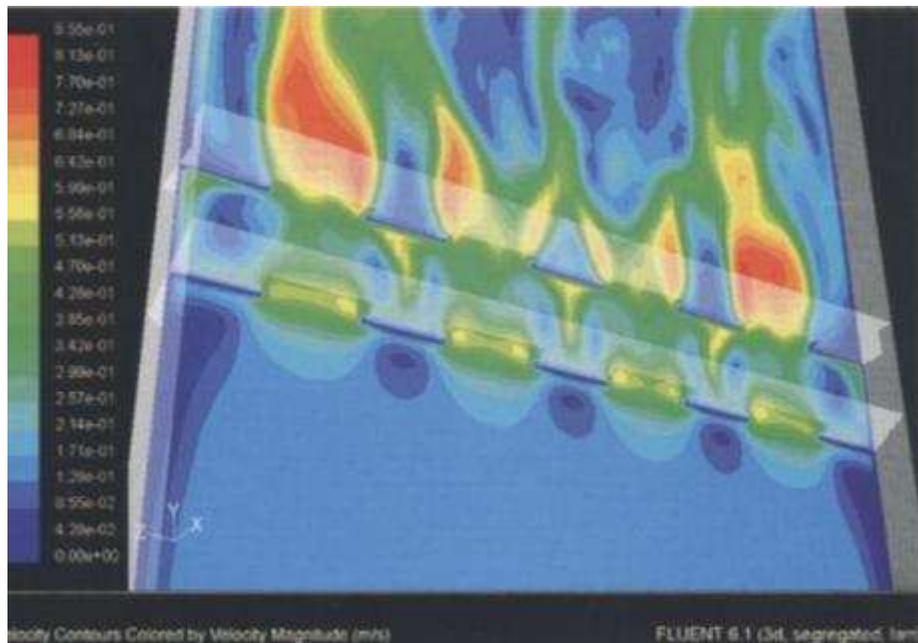
<b>Materiale</b>	<b>Conducibilità termica [W/mK]</b>
Rame	401
Alluminio	237
Vetro	0.78
Acqua	0.613
Pelle umana	0.37

## CONVEZIONE



Termografia con esempio di meccanismo di trasmissione del calore convettivo in atto

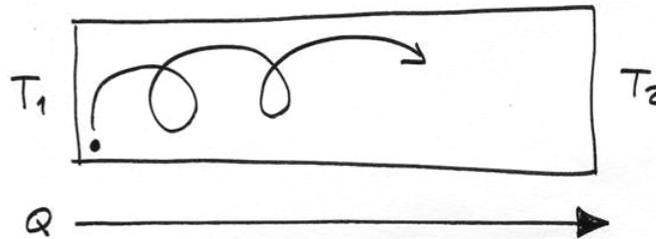
## CONVEZIONE



Analisi numerica con esempio di meccanismo di trasmissione del calore convettivo in atto

## CONVEZIONE

è la modalità di trasmissione del calore nei fluidi per mezzo di trasporto di massa



Trasmissione del calore fra solido e fluido legge di Newton:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \cdot t$$

$T_1$  = temperatura del fluido misurata ad una certa distanza della superficie

$T_2$  = temperatura superficiale della parete

$S$  = superficie della parete

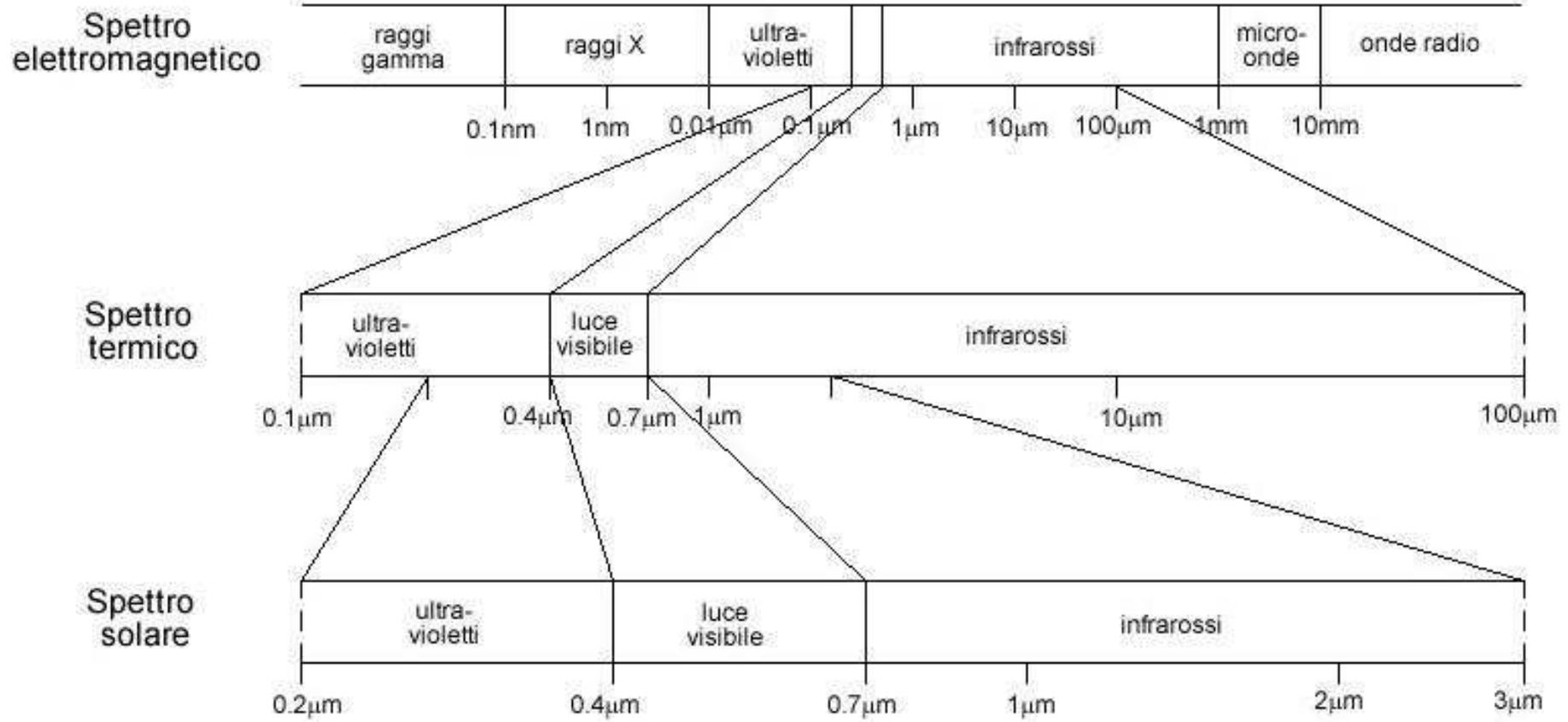
$t$  = tempo

$\alpha$  = coefficiente di adduzione

# IRRAGGIAMENTO

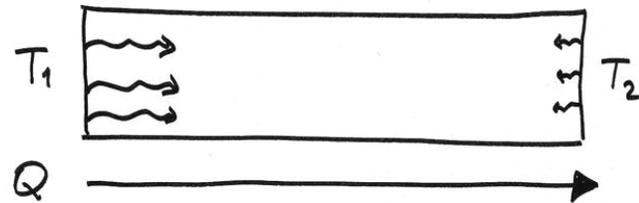


# SPETTRI DI RADIAZIONI



## IRRAGGIAMENTO

è lo scambio energetico che avviene tra due corpi a differente temperatura, senza che vi sia alcun contatto diretto



Legge di Stefan- Boltzman: scambio energetico tra due corpi a differente temperatura, senza alcun contatto diretto

$$q = \varepsilon T^4 = K \varepsilon^0 T^4$$

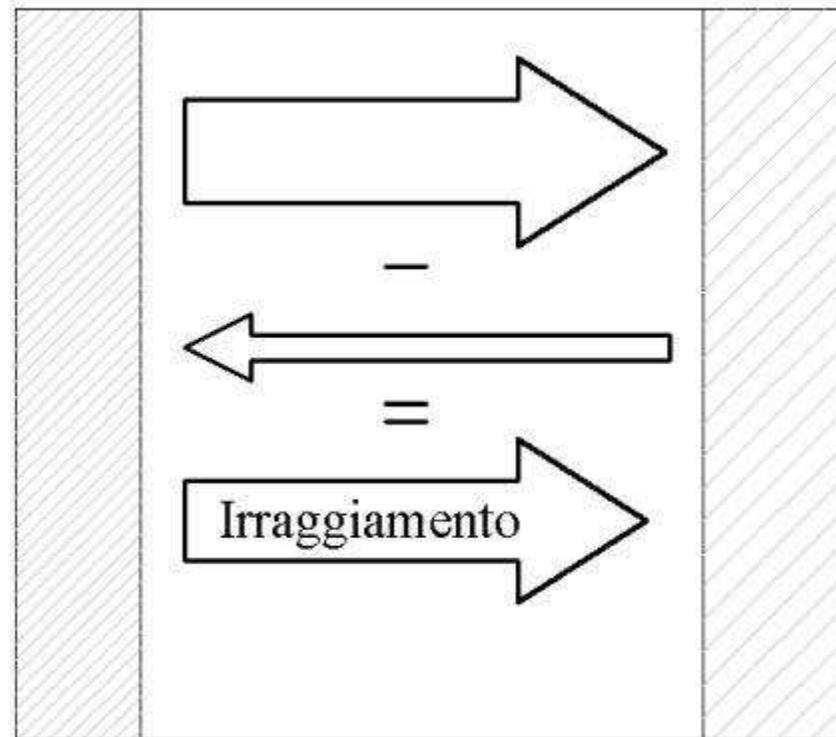
$\varepsilon$  = emissività del corpo

$\varepsilon^0$  = emissività del corpo nero =  $4,88 \times 10^{-8}$  [kcal/h m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>]

K = potere emissivo del corpo

T = temperatura assoluta del corpo [K]

## Esempio di un'intercapedine delimitata da due muri



Se nell'intercapedine ci fosse il vuoto, l'unico meccanismo di trasmissione sarebbe l'irraggiamento

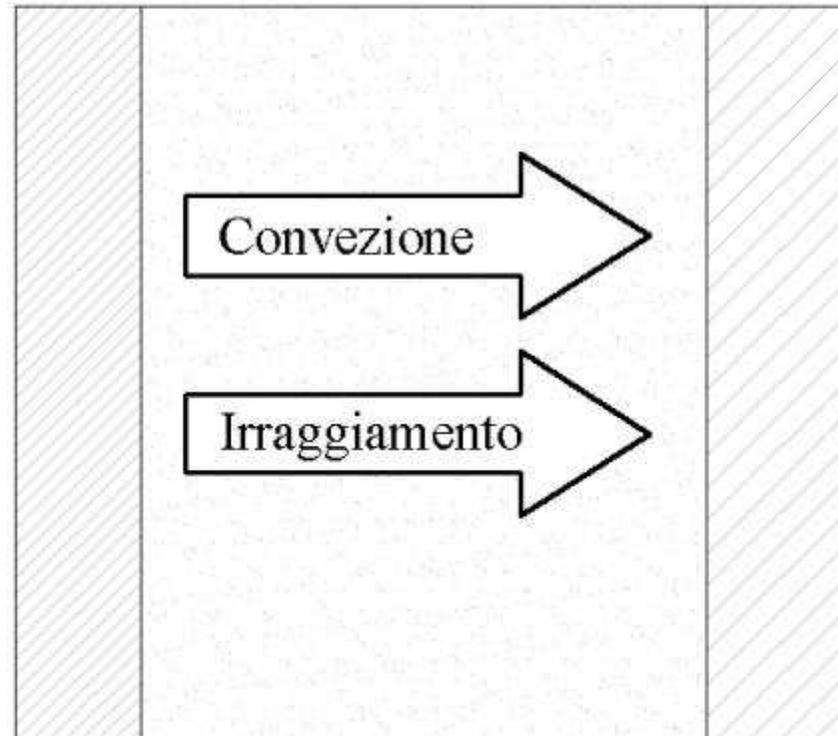
## Irraggiamento e vuoto



*Fonte TEP srl*

collettori solari sottovuoto

## Esempio di un'intercapedine delimitata da due muri



Se nell'intercapedine ci fosse aria, i meccanismi di trasmissione sarebbero irraggiamento e convezione

## Intercapedini d'aria in strutture opache

Ipotesi della norma UNI EN ISO 6946 per le resistenze termiche:

- 1) Superficie parallele e con direzione del flusso perpendicolare
- 2) Emissività delle superfici  $>0.8$
- 3) Spessore  $< 30$  cm

Conducibilità termica aria "ferma"  
 $\lambda = 0.026$  W/mK in quiete a 293 K

**INTERCAPEDINI D'ARIA**

Resistenza termica (in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ) di intercapedini d'aria non ventilate: superfici ad alta emissività

Spessore intercapedine d'aria mm	Senso del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Nota - I valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

Fonte UNI EN ISO 6946

## INTERCAPEDINI D'ARIA IN STRUTTURE VETRATE

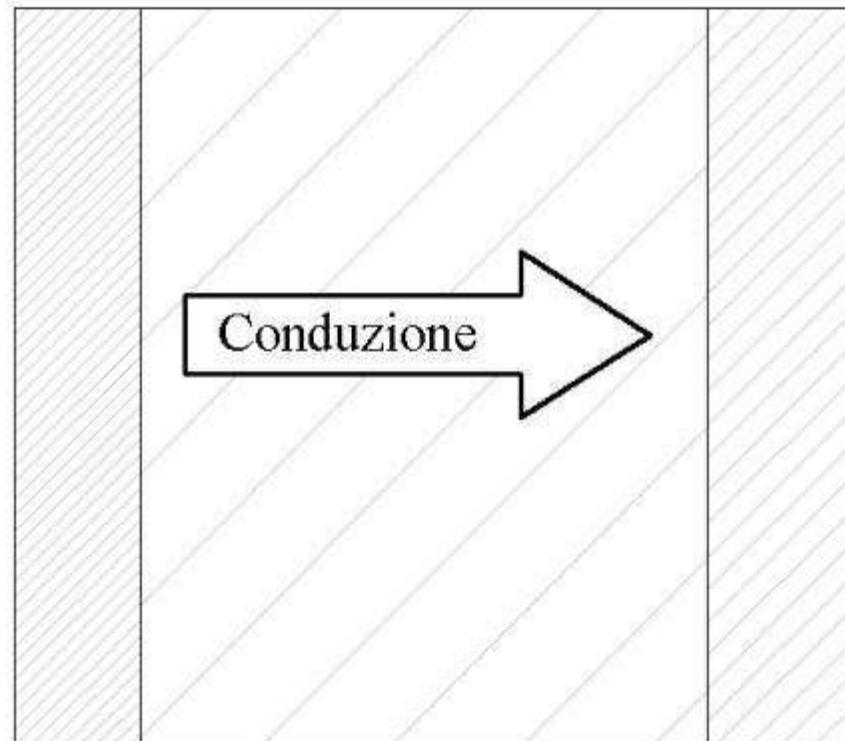
Resistenza termica  $R_s$  di intercapedini d'aria non ventilate, in  $m^2 \cdot K/W$ , per finestre doppie e accoppiate

Spessore dell'intercapedine d'aria mm	Una sola superficie trattata con emissività normale di				Entrambe le superfici non trattate
	0,1	0,2	0,4	0,8	
6	0,211	0,190	0,163	0,132	0,127
9	0,298	0,259	0,211	0,162	0,154
12	0,376	0,316	0,247	0,182	0,173
15	0,446	0,363	0,276	0,197	0,186
50	0,406	0,335	0,260	0,189	0,179
100	0,376	0,315	0,247	0,182	0,173
300	0,333	0,284	0,228	0,171	0,163

Le caratteristiche principali sono l'emissività e lo spessore

Fonte UNI EN 10077-1

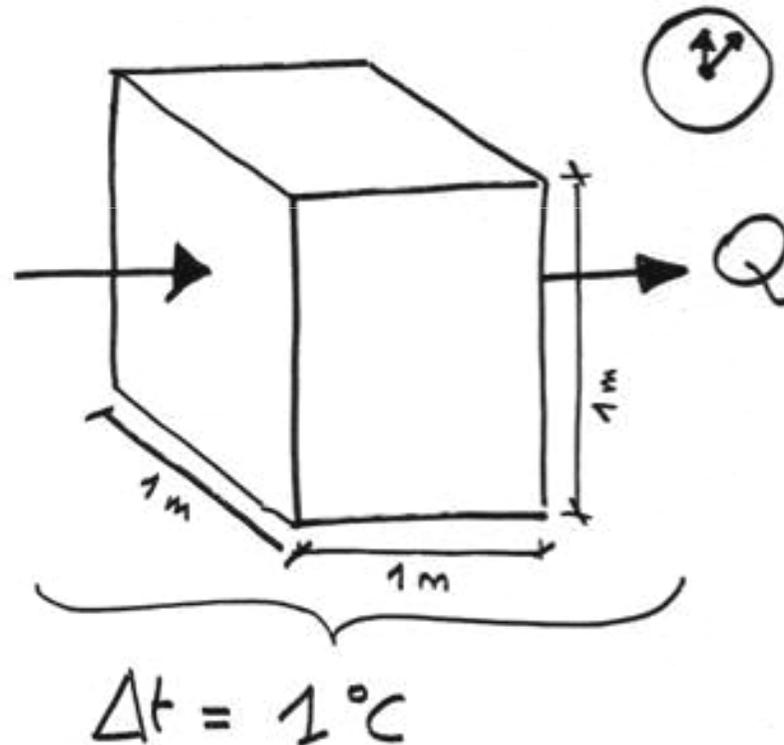
## ESEMPIO DI UN'INTERCAPEDINE DELIMITATA DA DUE MURI



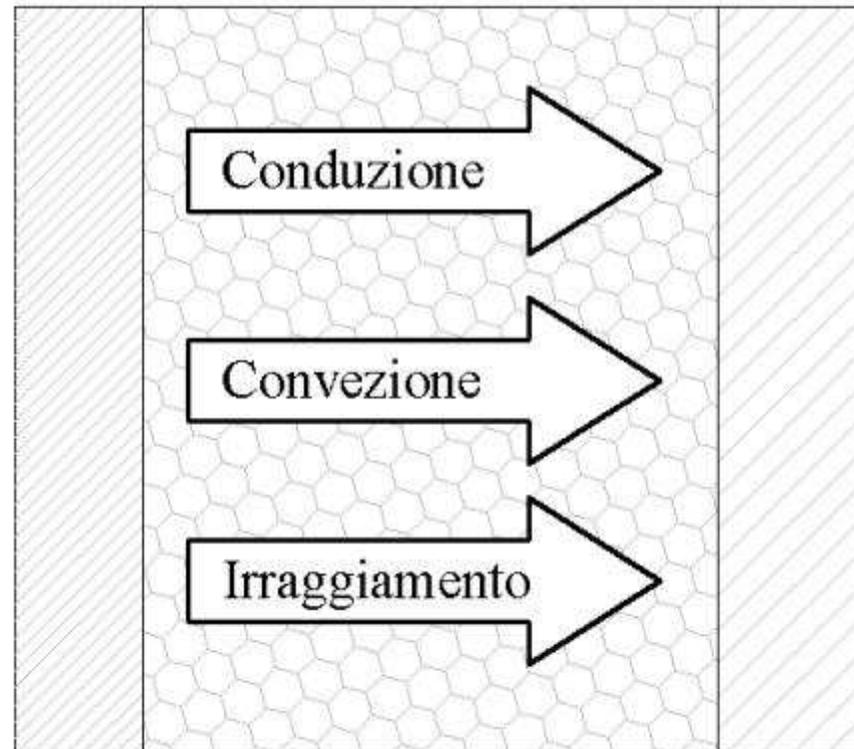
Se nell'intercapedine ci fosse un materiale omogeneo, solido e compatto, il meccanismo di trasmissione sarebbe la conduzione – conducibilità termica ferro  $\lambda = 80.2 \text{ W/mK}$

## CONDUTTIVITÀ TERMICA

La conduttività  $\lambda$  rappresenta la quantità di calore trasmesso in un secondo attraverso una superficie di 1 mq da un materiale avente spessore di 1m e salto termico di 1°C – esperienze di Fourier

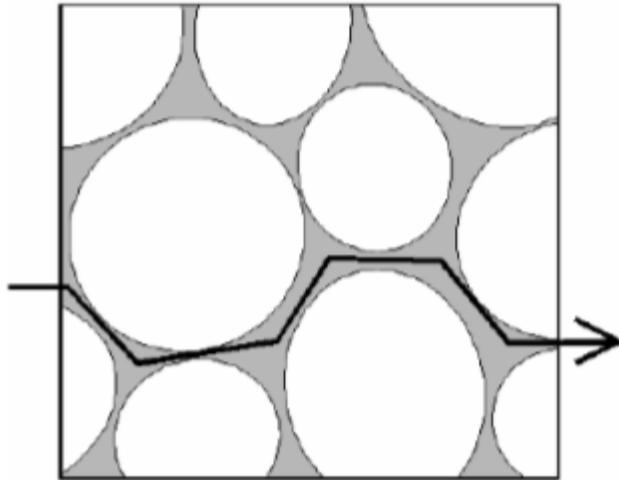


## ESEMPIO DI UN'INTERCAPEDINE DELIMITATA DA DUE MURI

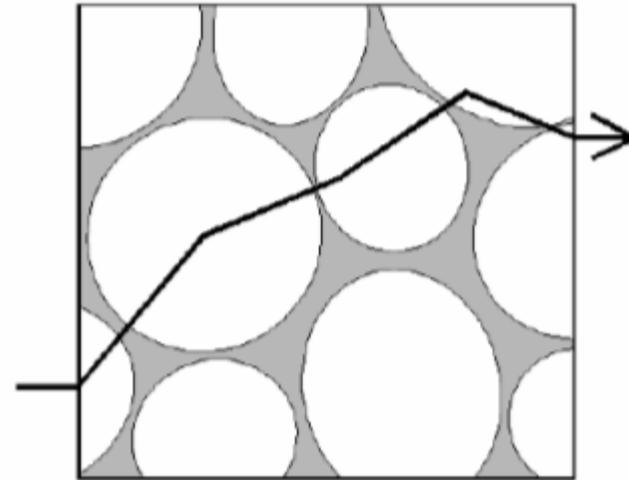


Con l'inserimento del materiale isolante sono presenti tutti i meccanismi di trasmissione del calore; i materiali isolanti riescono ad agire su tutti i meccanismi di trasmissione in atto

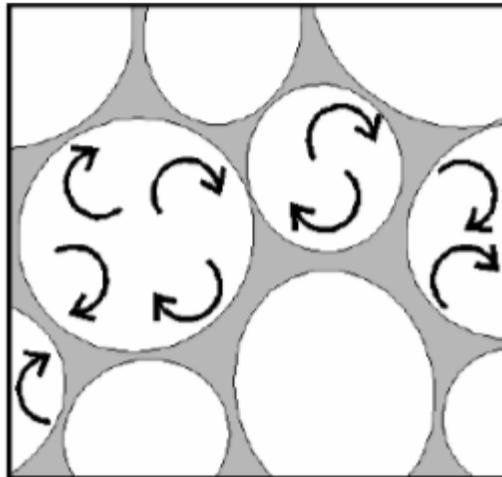
## AZIONE CONTEMPORANEA DEI TRE MECCANISMI IN MATERIALE



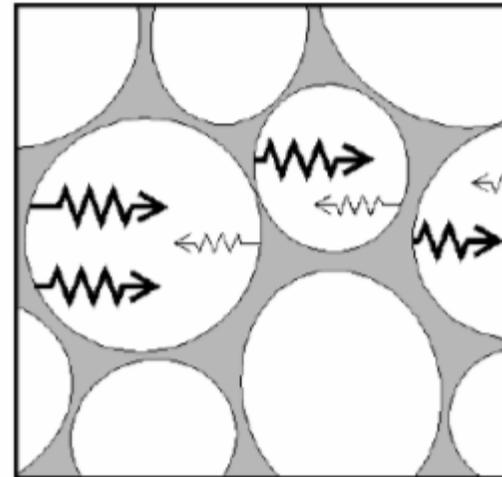
Conduzione nel materiale



Conduzione nell'aria



Convezione nell'aria



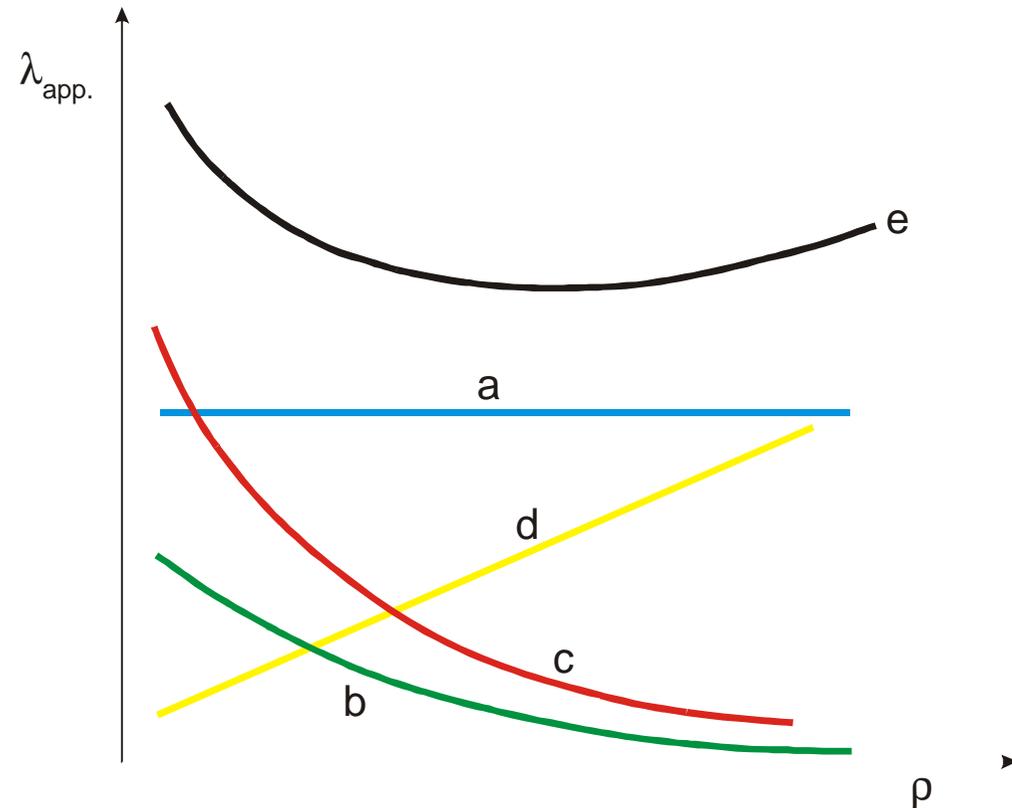
Irraggiamento

(fonte: Vol1 "I materiali isolanti" pubblicazione ANIT)

## I CONTRIBUTI DELLA CONDUTTIVITÀ APPARENTE

I materiali isolanti hanno un ridotto valore di conduttività termica definito apparente perché considera tutti i meccanismi di trasmissione del calore:

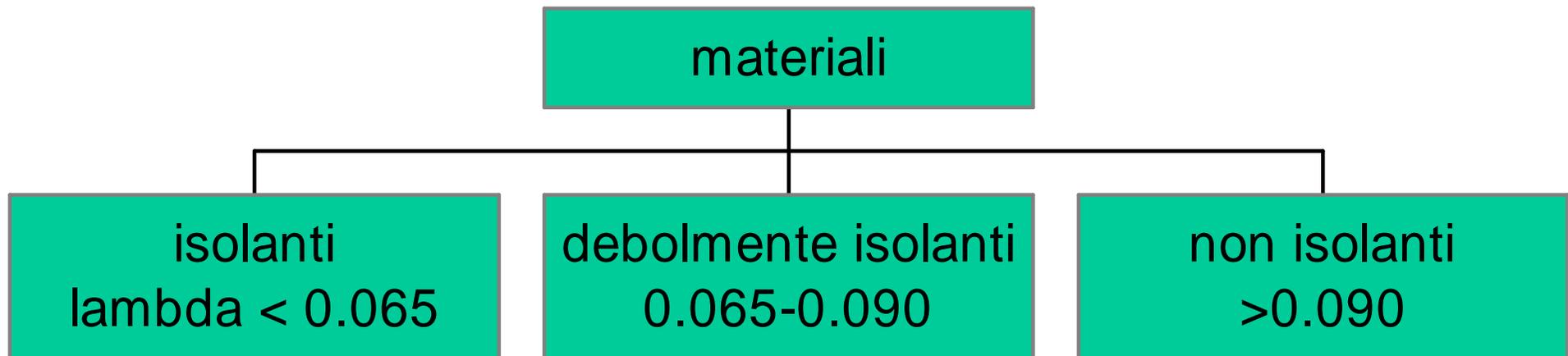
- Conduzione
- Convezione
- Irraggiamento



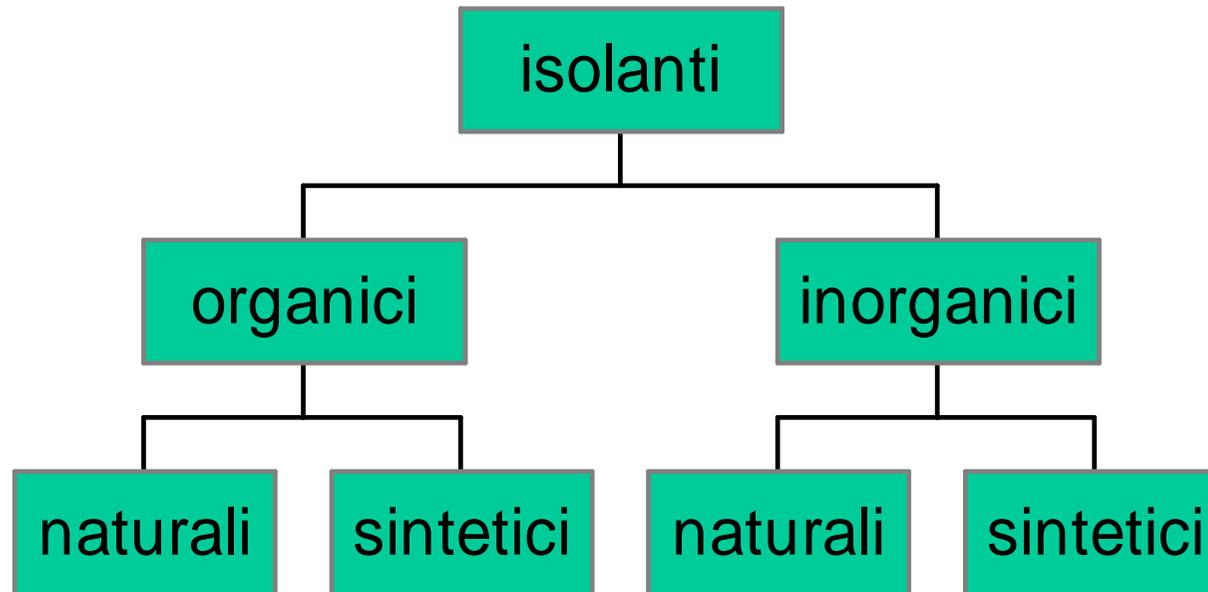
a = conduzione nel fluido  
b = convezione  
c = irraggiamento  
d = conduzione nella fase solida  
e = trasmissione del calore complessiva

# La classificazione dei materiali isolanti

**QUANDO UN MATERIALE È CONSIDERABILE ISOLANTE?**



## ORIGINE E TRATTAMENTO DEI MATERIALI ISOLANTI



## STRUTTURA DEI MATERIALI ISOLANTI

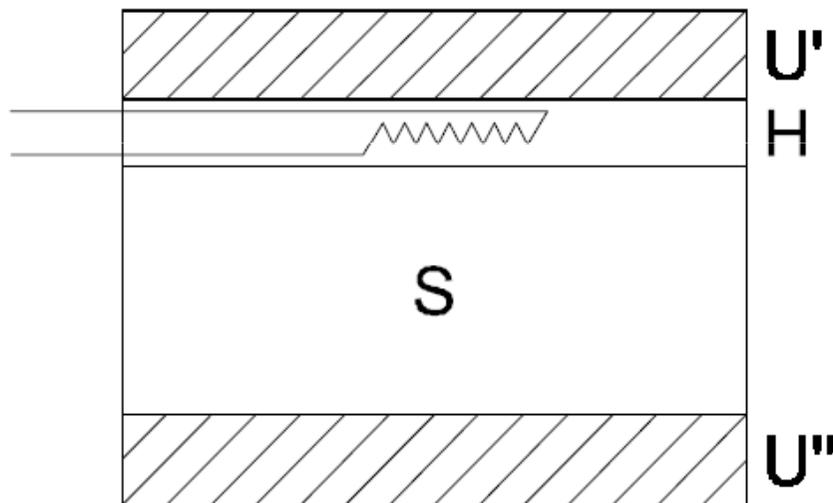
**fibrosi**

**cellulari**

**porosi**

## PROVE DI CONDUCEBILITÀ TERMICA

Norma UNI EN 12667 – Determinazione della resistenza termica per prodotti con elevata resistenza termica



Errori di misura massimi del 2%  
Misura indiretta attraverso la valutazione del flusso termico e della temperature superficiali



fonte: Enco srl

## CONDUTTIVITÀ TERMICA APPARENTE

La **conduttività termica**, calcolata alla temperatura di esercizio, è determinata in base alla curva  $\lambda = f(t)$  della conduttività in funzione della temperatura media per ciascun materiale isolante. Il valore della conduttività è ottenuto per interpolazione utilizzando l'espressione:

$$\lambda = \frac{\int_{t_f}^{t_c} f(t) dt}{t_c - t_f}$$

dove  $t_c$  e  $t_f$  sono rispettivamente le temperature del alto caldo e del lato freddo della coibentazione nelle reali condizioni d'uso.

## CONDUTTIVITÀ TERMICA: DIPENDENZA DA TEMPERATURA

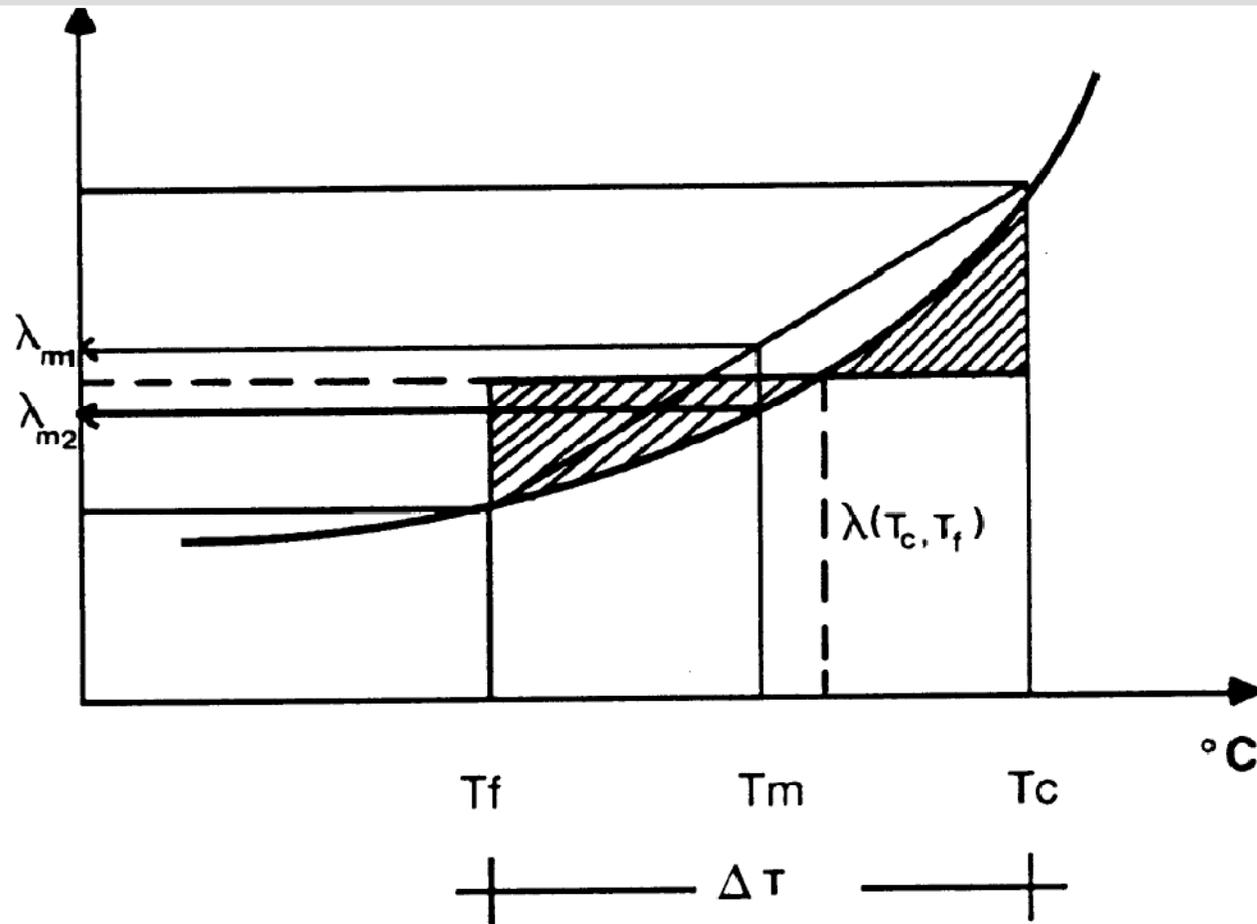
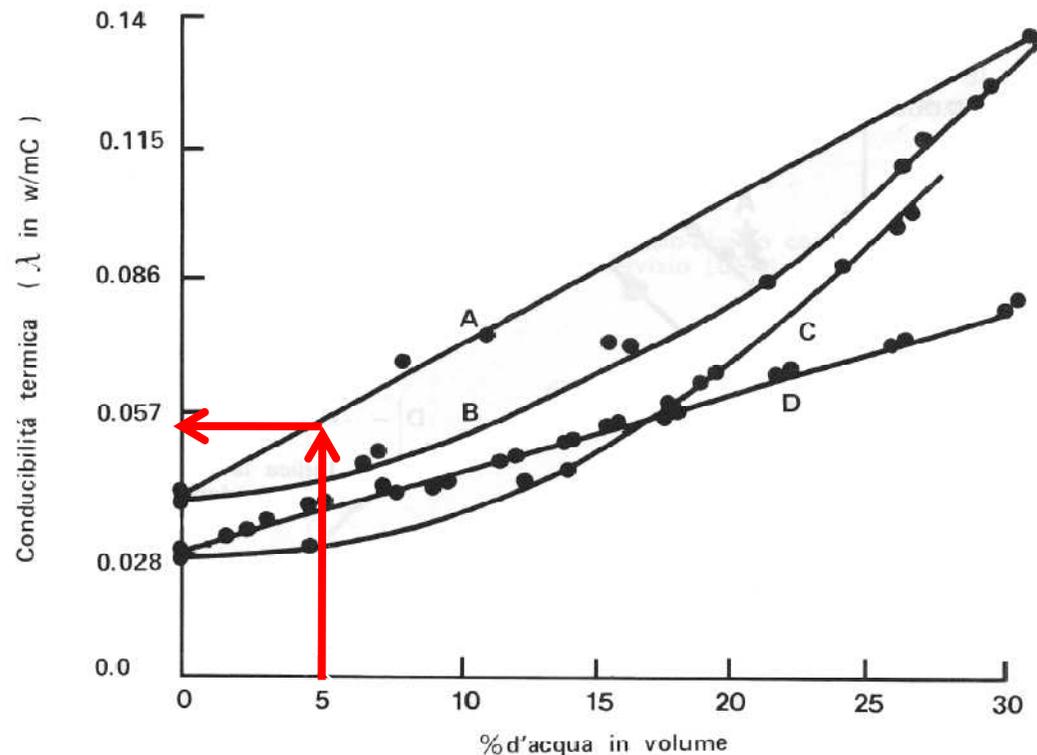


grafico 4: andamento della conduttività in funzione della temperatura  
 $T_f$  = lato freddo del materiale isolante,  $T_c$  = lato caldo del materiale isolante

## LA CONDUTTIVITÀ FUNZIONE DELL'UMIDITÀ RELATIVA



Sostituzione di  
aria con acqua

conducibilità  
termica acqua  
 $\lambda = 0.613 \text{ W/mK}$

grafico 10: effetto dell'umidità assorbita sulla conducibilità termica di alcuni materiali

- A- Fibra di vetro con cartonfeltro su una faccia 2,3 cm,  $235 \text{ kg/m}^3$
- B- Polistirene espanso granulare 3,5 cm,  $21 \text{ kg/m}^3$
- C- Poliuretano 2,4 cm,  $28,5 \text{ kg/m}^3$
- D- Polistirene espanso estruso 2,5 cm,  $33 \text{ kg/m}^3$

## LA VALUTAZIONE DELLA CONDUTTIVITÀ DI PROGETTO UNI EN ISO 10456

$$\lambda_1 = \lambda_2 \cdot F_t \cdot F_m$$

$$F_t = e^{ft \cdot (T_2 - T_1)} \quad \text{fattore di conversione temperatura}$$

$$F_m = e^{fu \cdot (U_2 - U_1)} \quad \text{fattore di conversione umidità}$$

## LA VALUTAZIONE DELLA CONDUTTIVITÀ DI PROGETTO

Tabella 9: coefficienti di conversione temperatura e umidità per alcuni materiali isolanti, Appendice A – ISO 10456

materiale	Conduttività [W/mK]	ft (1/K)	Contenuto di umidità (kg/kg)	f <sub>u</sub> (kg/kg)	Contenuto di umidità (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	f <sub>ψ</sub> (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
Fibre minerali						
Matasse, feltri e fibre sciolte	0.035	0.0046			<0,15	4
	0,040	0,0056				
	0.045	0.0062				
	0.050	0.0069				
pannelli	0.032	0.0038			<0,15	4
	0.034	0.0043				
	0.036	0.0048				
	0.038	0.0053				
Panelli rigidi	0.030	0.0035			<0,15	4
	0.033	0.0035				
	0.035	0.0031				

## LA VALUTAZIONE DELLA CONDUTTIVITÀ DI PROGETTO

$$\lambda_1 = \lambda_2 \cdot F_a$$

$F_a$  fattore di conversione invecchiamento

Tabella 8: Incrementi per il calcolo del valore di conduttività termica invecchiato

Agente espansione	Incremento della conduttività [W/mK]			
	Tipo di rivestimento			
	Nessuno oppure permeabile alla diffusione			Impermeabile alla diffusione
	Spessore nominale			
	dn < 80 mm	dn < 120 mm dn > 80 mm	dn > 120 mm	
Pentano	0.0058	0.0048	0.0038	0.0015
HCFC's	0.0067	0.0057	0.0047	0.0020
HFC	a)	a)	a)	0.0025
CO <sub>2</sub>	0.0100	0.0100	0.0100	0.0060
a) da determinare				

## CONDUTTIVITÀ DICHIARATA

$\lambda_{90,90} = \lambda_m + k s_\lambda$   $\lambda$  = conducibilità termica dichiarata  
(90% frattile con livello di confidenza del 90%),

$R_{90,90} = d_n / \lambda_{90,90}$  = resistenza termica dichiarata  
(90% frattile con livello di confidenza del 90%),

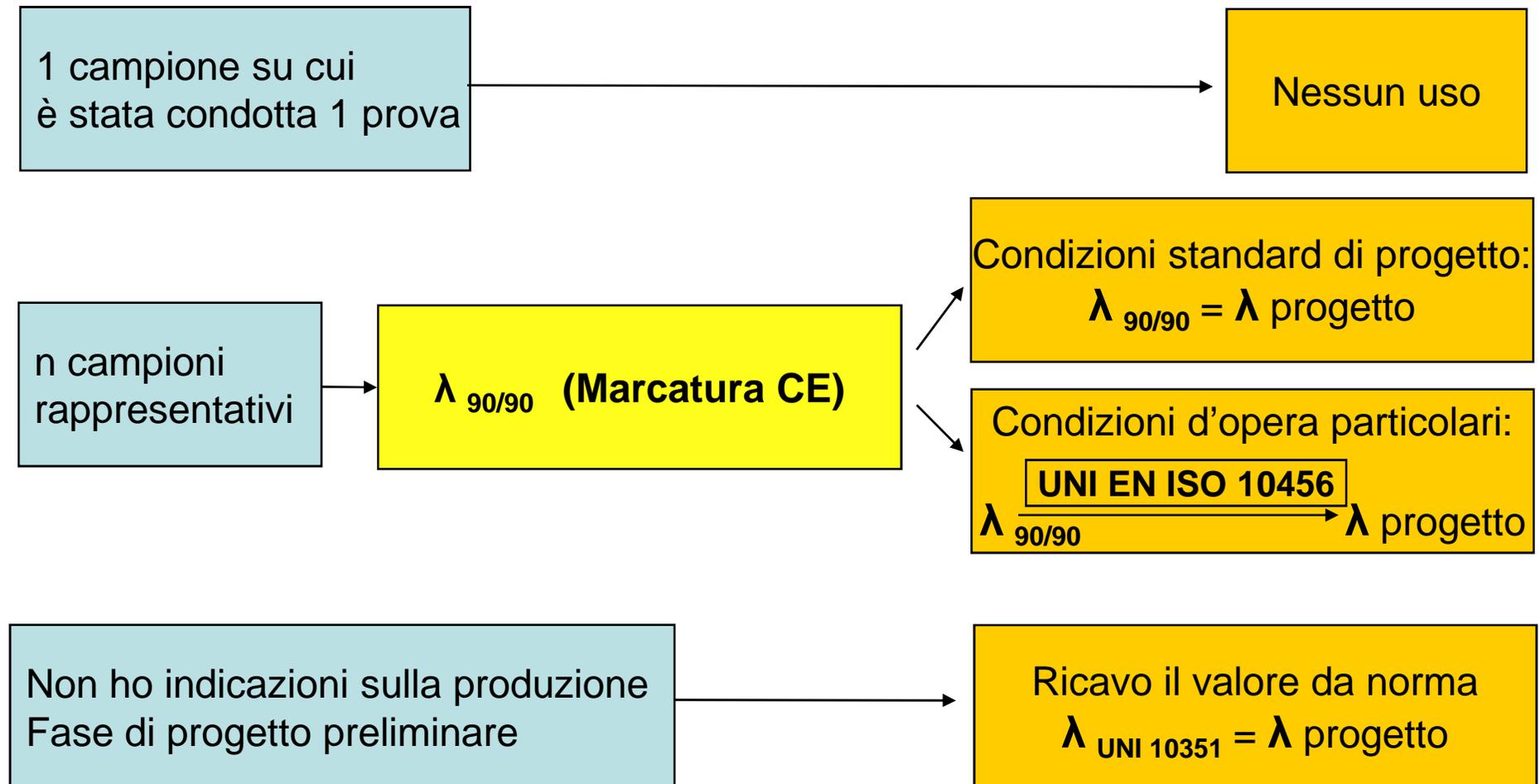
$d_n$  = spessore nominale del prodotto,

$\lambda_m$  = conducibilità termica media dei valori misurati,

$k$  = fattore funzionale del numero  $n$  di misurazioni disponibili,

$s_\lambda$  = deviazione standard delle  $n$  misurazioni disponibili:

## CONDUTTIVITÀ TERMICA PER LA PROGETTAZIONE



# Il comportamento al fuoco

## IL REQUISITO DI SICUREZZA ANTINCENDIO

*costituisce parte essenziale della normativa sulle opere da costruzione ed è relativo alla configurazione degli edifici, alle prestazioni strutturali, ai componenti e ai materiali.*

*Il **DM 9 marzo 2007** recepisce gli obiettivi fondamentali delle strategie antincendio riportati nell'allegato I della Direttiva Europea 89/106, che stabilisce che le opere da costruzione devono essere progettate e costruite in modo tale che in caso di incendio:*

- la capacità portante dell'edificio possa essere garantita per un periodo di tempo determinato;*
- la produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere siano limitate;*
  - la propagazione del fuoco ad opere vicine sia limitata;*
  - gli occupanti possano lasciare l'opera o essere soccorsi altrimenti;*
  - sia presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.*

## RIFERIMENTI LEGISLATIVI

*DM 26/06/84:*

*Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi.*

*i prodotti venivano definiti in base al loro impiego e alla loro posa in opera*

*DM 10/03/05:*

*Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso di incendio*

*è considerato materiale da costruzione qualsiasi prodotto fabbricato al fine di essere permanentemente incorporato in opere di costruzione che comprendono gli edifici e le opere d'ingegneria civile*

*ART. 10 del DM 26/06/84:*

*Materiali già in opera, materiali per usi specifici o per uso limitato nel tempo e materiali di limitata produzione*

*E' ANCORA VALIDO PER LE CERTIFICAZIONI AD HOC*

## DM 10 marzo 2005

modificato dal DM 25 ottobre 2007, recepisce le Euroclassi e le relative decisioni della Commissione riportando quanto già previsto nella norma tecnica di riferimento EN 13501-1 .

*La UNI EN 13501 fornisce la procedura di classificazione di reazione al fuoco di tutti i prodotti da costruzione, inclusi i prodotti incorporati negli elementi da costruzione. I prodotti sono considerati in relazione alla loro condizione di applicazione finale.*

*due categorie :*

- prodotti da costruzione esclusi i pavimenti*
- Pavimenti*

*La classificazione europea di riferimento definisce 7 classi :*

***A1, A2, B, C, D, E, F.***

*La determinazione delle classi deriva dal risultato di determinati metodi di prova normati.*

*La norma prevede oltre le classi principali ulteriori criteri di classificazione legati alla produzione di fumi e alla produzione di gocce e particelle infiammate.*

<b>Contributo energetico al fuoco</b> <b>D</b>		<b>Rilascio di fumi</b> <b>s1, s2, s3</b>	<b>Gocciolamento di materiale incandescente</b> <b>d0-d1-d2</b>
<b>A1</b>	<b>Non combustibile</b>	<b>Nessun test necessario</b>	<b>Nessun test necessario</b>
<b>A2</b>	Non combustibile In seguito a un attacco prolungato di fiammelle e singoli oggetti, resiste alla combustione, in entrambi i casi con limitazione della propagazione delle fiamme.	s1 	d0 
<b>B</b>	In seguito a un breve attacco di fiammelle e singoli oggetti, resiste alla combustione, in entrambi i casi con limitazione della propagazione delle fiamme.	s2 	d1 
<b>C</b>	Resiste a un breve attacco di fiammelle, con limitazione della propagazione delle fiamme e combustione di singoli oggetti	s3 	d2 
<b>D</b>	<b>Un breve attacco di fiammelle con limitazione della propagazione delle fiamme</b>	<b>E</b>	<b>E</b>
<b>E</b>	<b>Nessuna prestazione dichiarata</b>	<b>Nessun test</b>	<b>Nessuna indicazione o d2</b>
<b>F</b>			

- Le Euroclassi A2, B, e D prevedono anche indicazioni sul rilascio di fumi e il gocciolamento di materiale incandescente
- L'Euroclasse E può apparire con l'indicazione d2

*(DM 25 ottobre 2007: ALLEGATO 1, tabella 1)*

Classe	Metodi di prova
A1	UNI EN ISO 1182 e
	EN ISO 1716
A2	UNI EN ISO 1182 o
	UNI EN ISO 1716 e
	UNI EN 13823 (SBI)
B	UNI EN 13823 (SBI) e
	UNI EN ISO11925-2 Esposizione = 30s
C	UNI EN 13823 (SBI) e
	UNI EN ISO11925-2 Esposizione = 30s
D	UNI EN 13823 (SBI) e
	UNI EN ISO11925-2 Esposizione = 30s
E	UNI EN ISO11925-2 Esposizione = 15s
F	Reazione non determinata

*Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione ad eccezione dei pavimenti, dei prodotti di forma lineare destinati all'isolamento termico, dei cavi elettrici)*

*Il DM riporta inoltre un elenco di prodotti che possono essere considerati come appartenenti alle classi A1 e A1fl di reazione al fuoco di cui alla decisione 2000/147/CE senza dover essere sottoposti a prove, se composti da uno o più dei materiali riportati nella tabella*

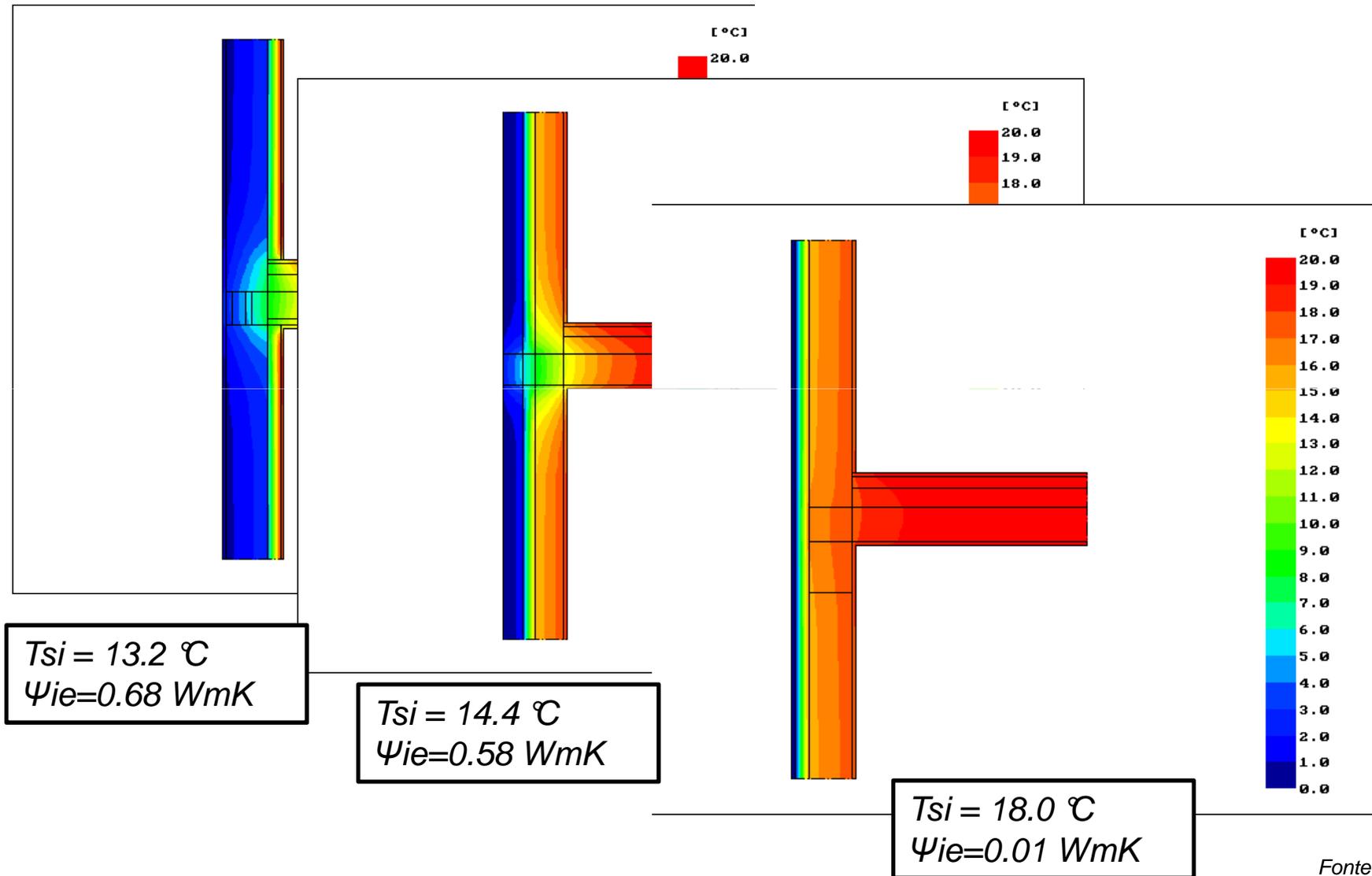
- 1. Prova di non combustibilità (EN ISO 1182)*
- 2. Potere calorifico superiore (EN ISO 1716)*
- 3. Prova su un singolo elemento- SBI ( EN 13823)*
- 4. Prova di accendibilità (EN ISO 11925-2)*

*Valuta l'accendibilità di un prodotto esposto ad una piccola fiamma.*

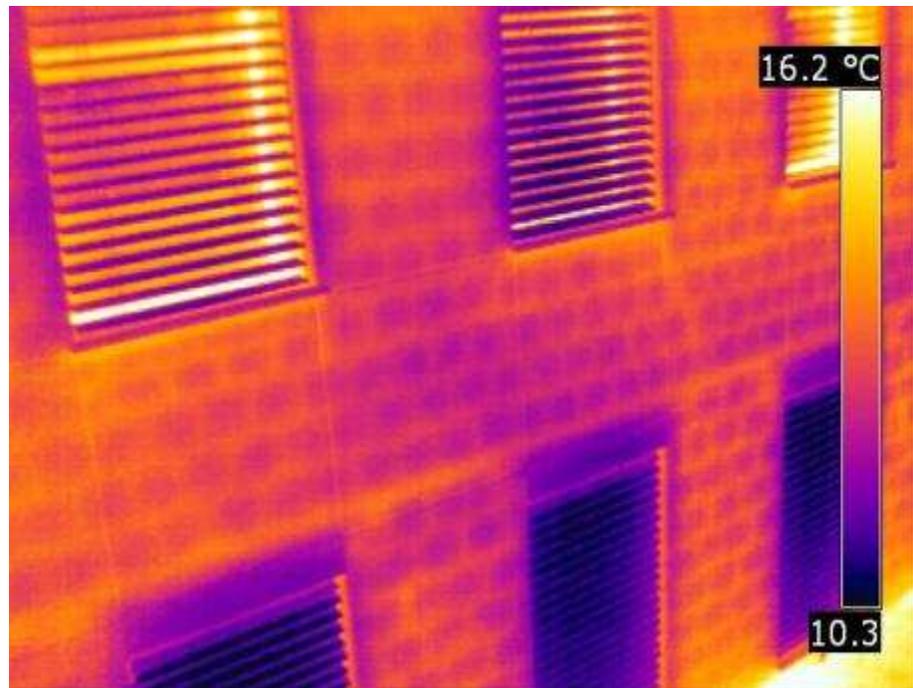
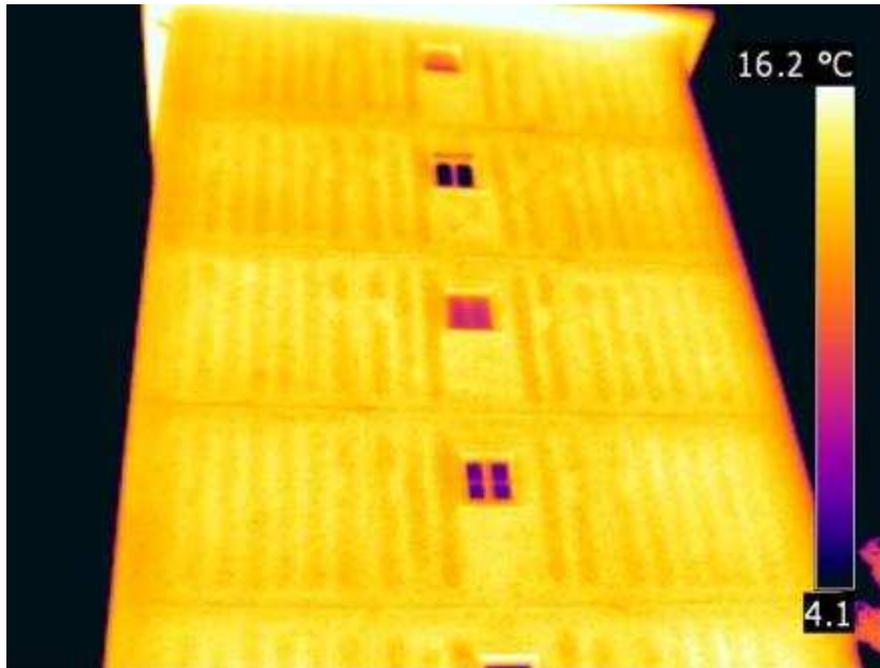
- 5. Valutazione del comportamento al fuoco con l'utilizzo di una fonte di calore radiante (EN ISO 9239)*

**Isolamento termico a cappotto:  
Isolare senza difetti  
La scelta dell'isolamento**

## Risoluzione dei ponti termici diffusi e puntuali

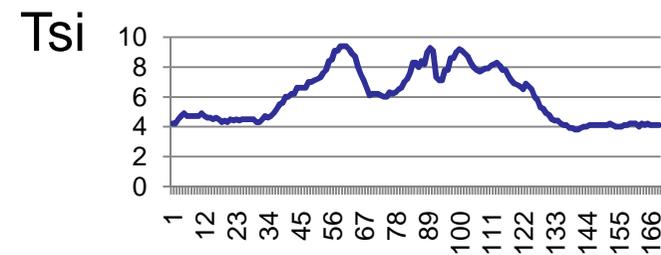
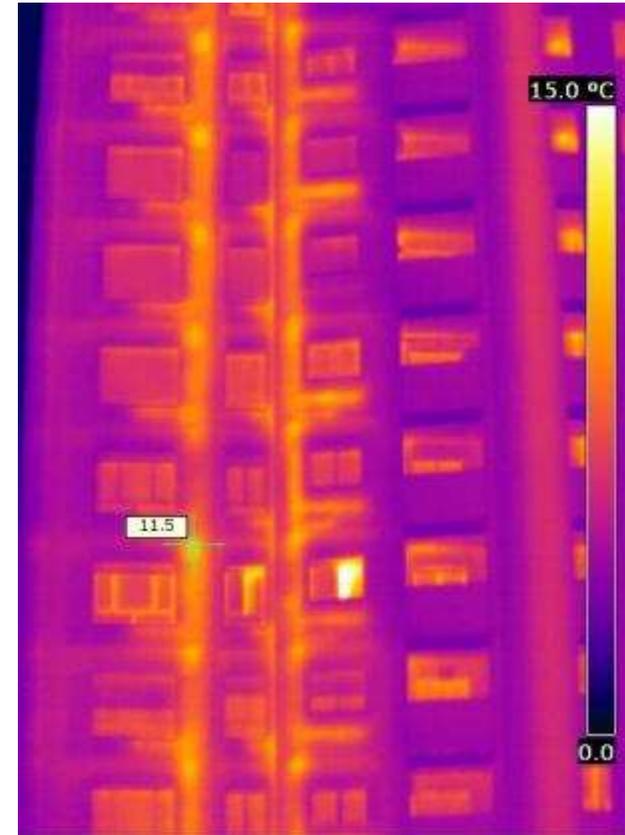
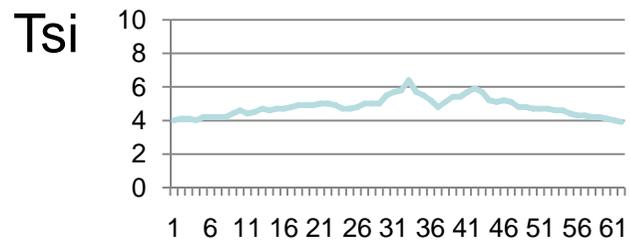


## Risoluzione dei ponti termici diffusi e puntuali



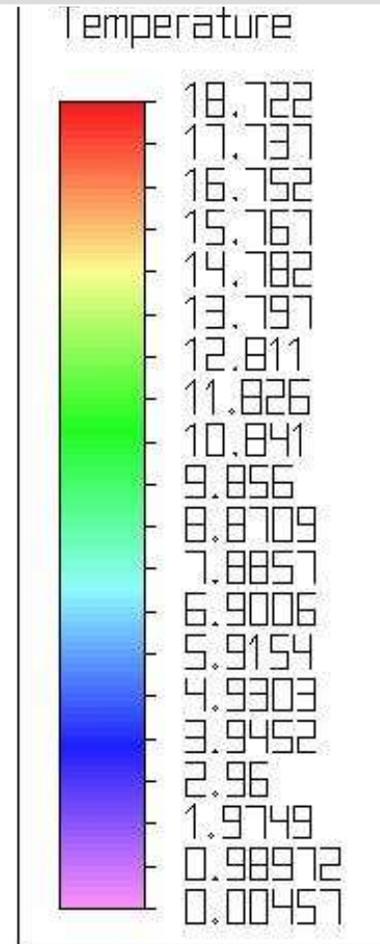
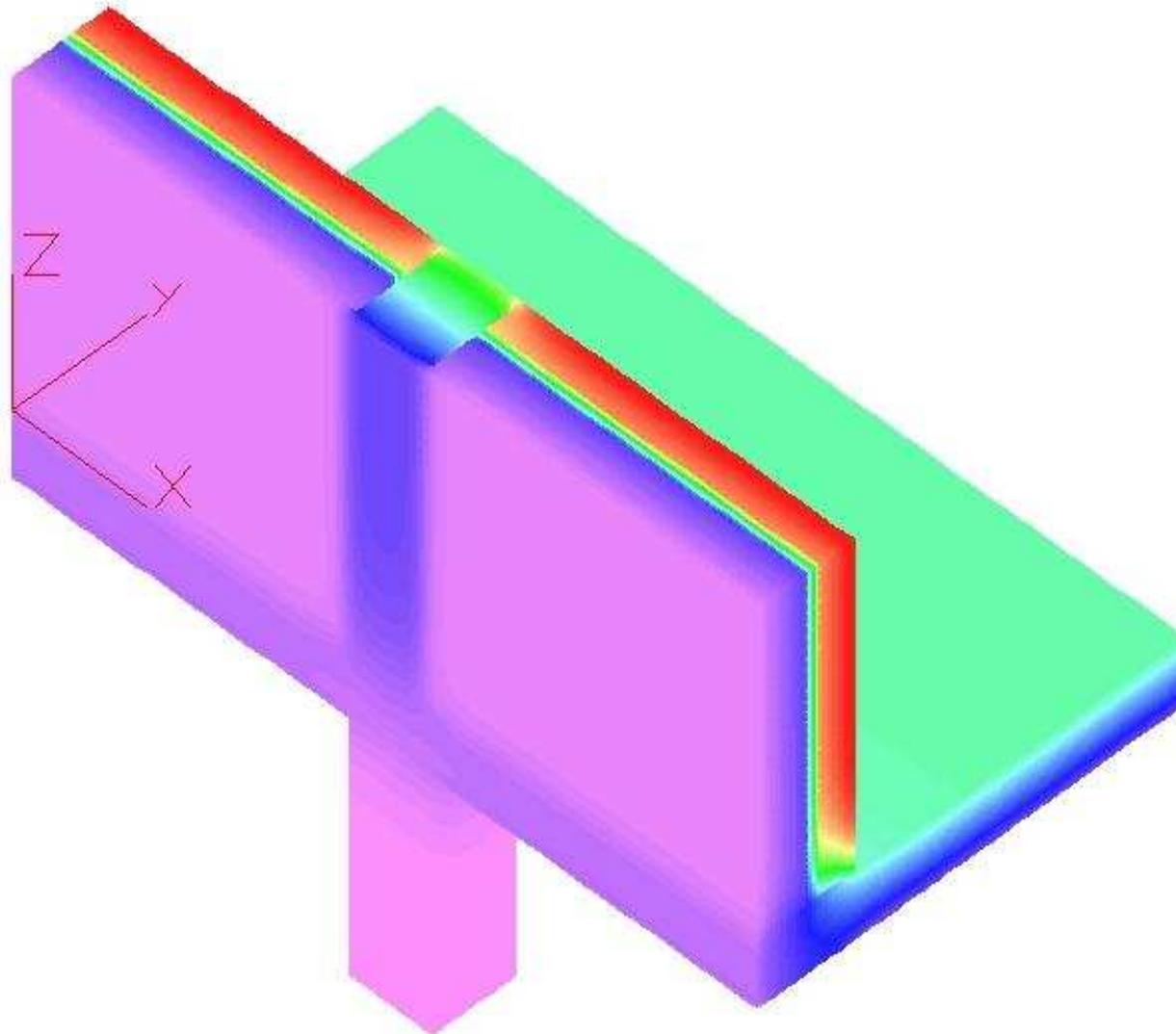
Fonte: TEP srl

## Risoluzione dei ponti termici diffusi e puntuali



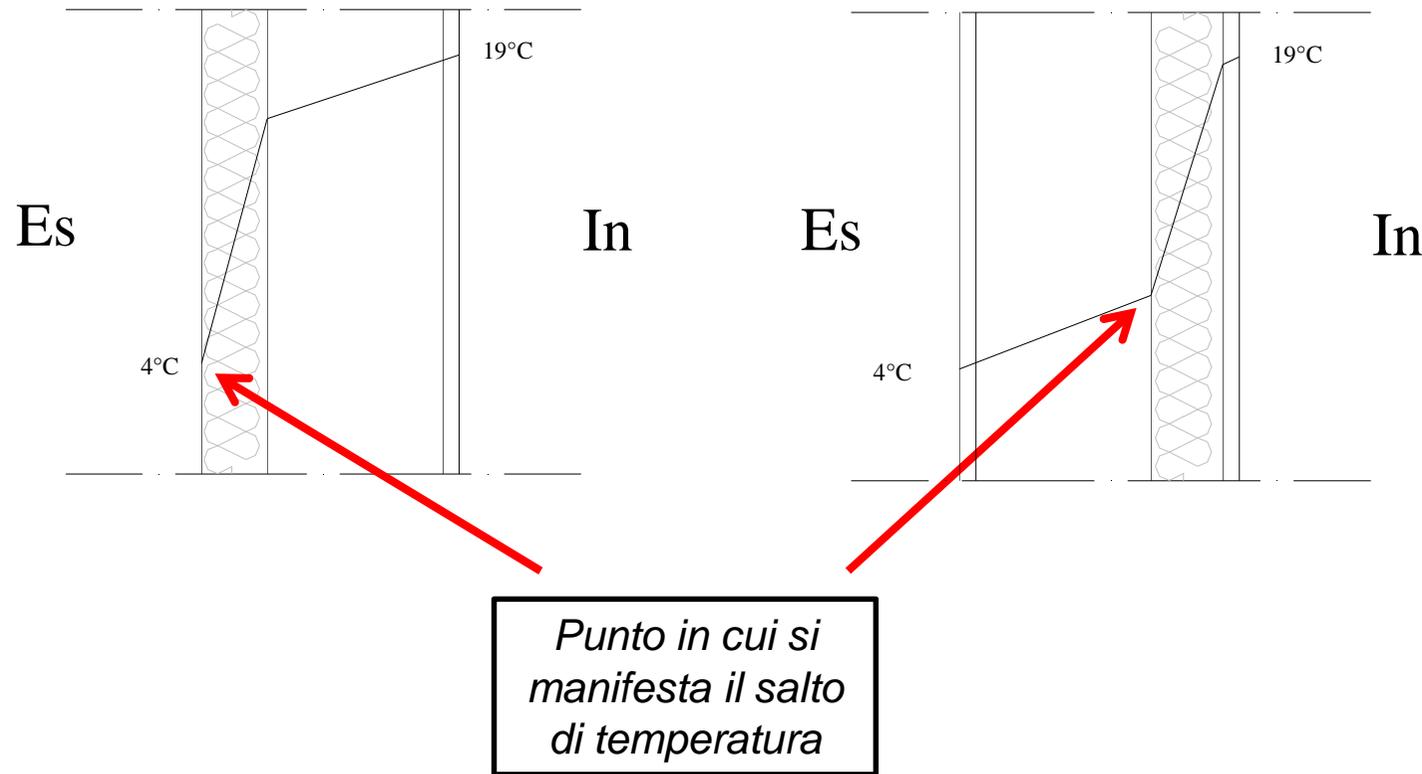
Fonte: TEP srl

### Risoluzione dei ponti termici



## Fenomeni di condensazione interstiziale

Il posizionamento e il tipo di materiale isolante influenzano



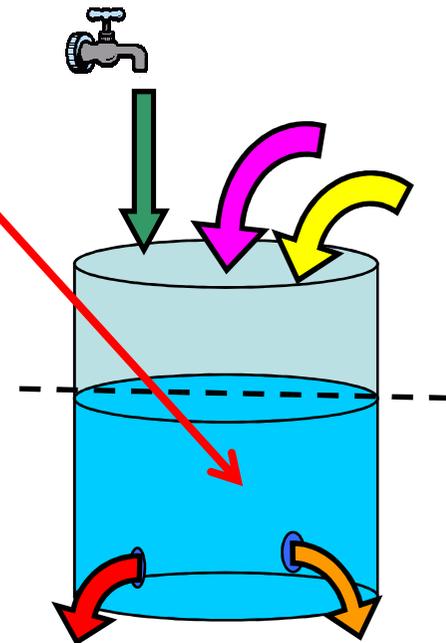
## Le caratteristiche termiche “inerziali”

Il posizionamento e il tipo di materiale isolante influenzano la **capacità termica interna dell'edificio**.

La capacità inerziale dell'edificio in termini di accumulo e rilascio di energia – la costante di tempo dell'edificio

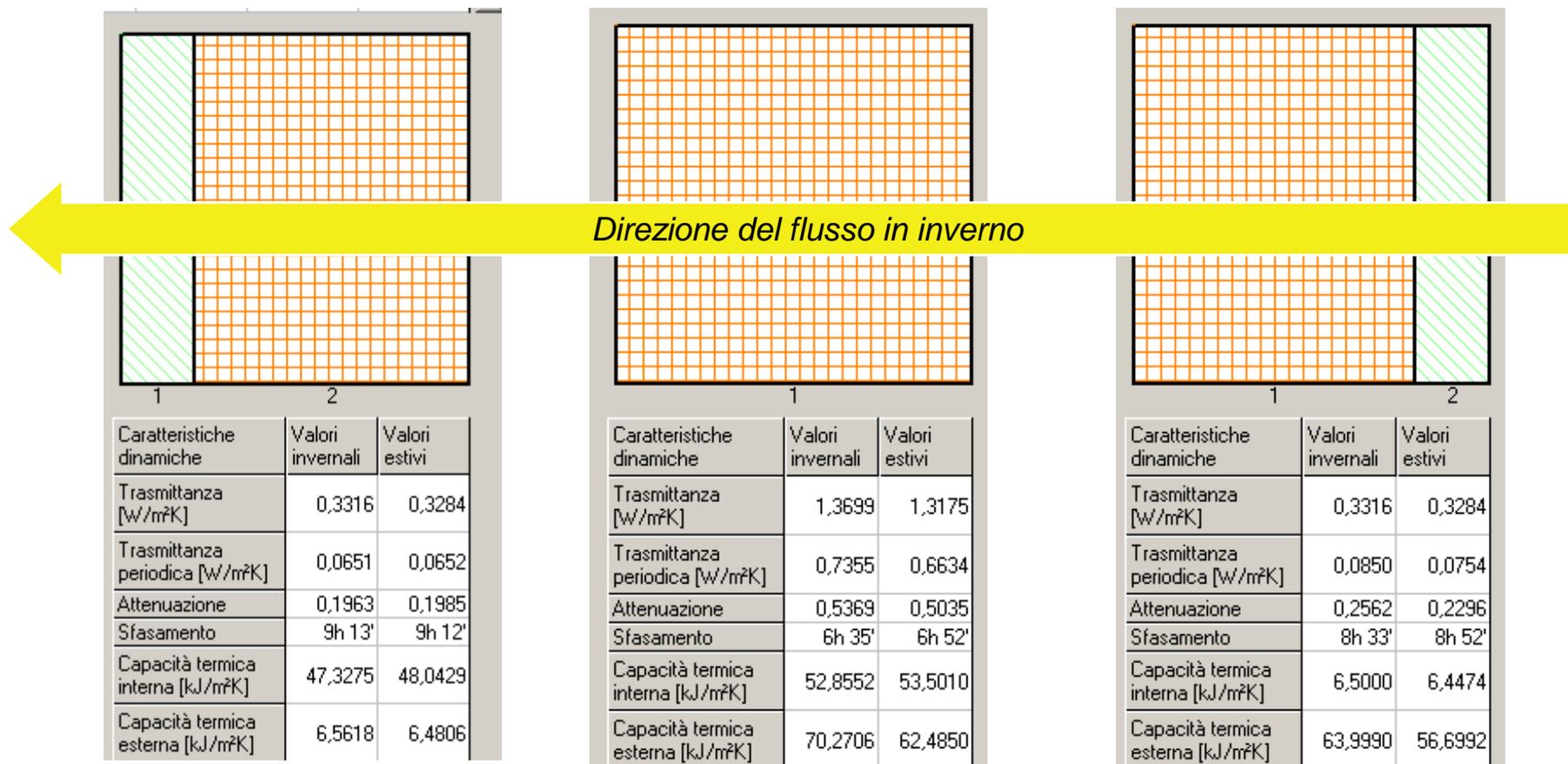
Quanto è capiente il serbatoio?

$$C_{\text{int}} = \left[ \text{kJm}^2 / \text{K} \right]$$



## Le caratteristiche termiche “inerziali”

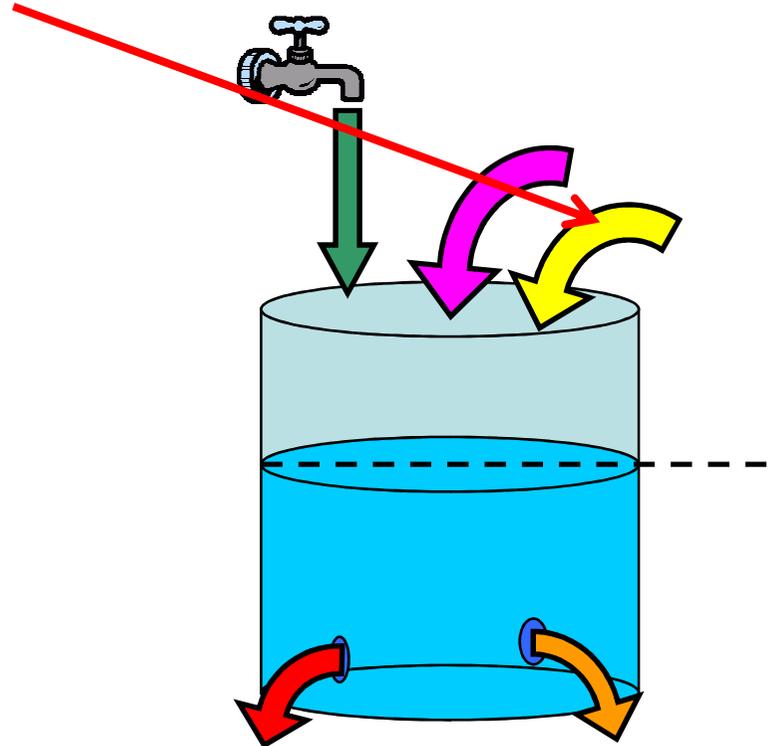
Il posizionamento del materiale isolante influenza la capacità termica interna delle pareti:



## Le caratteristiche termiche “inerziali”

Il posizionamento e il tipo di materiale isolante influenzano lo sfasamento e attenuazione delle strutture opache.

Quanta energia entra nel serbatoio in estate?



# Esempio di degrado

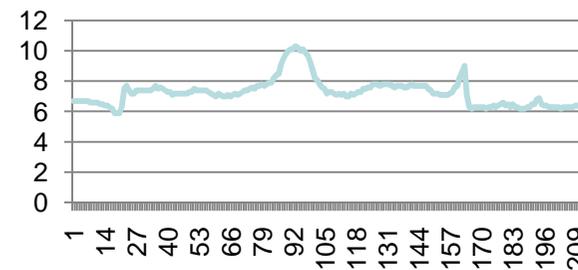
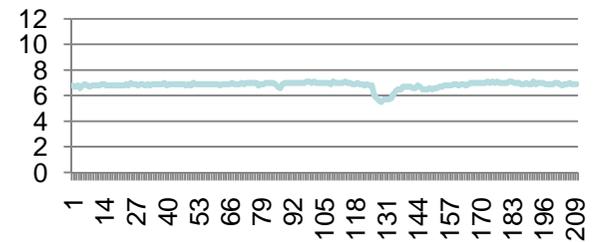
## Sistema di rivestimento



## Sistema di incollaggio



## Sistema di incollaggio





[info@anit.it](mailto:info@anit.it)

Tel 02 89415126