



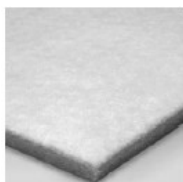
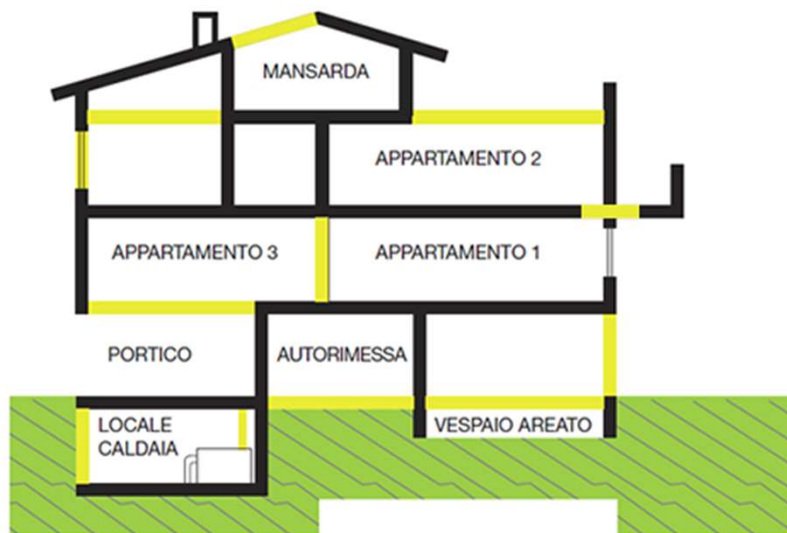
ASSOCIAZIONE NAZIONALE
PER L'ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO

NANOTECNOLOGIA ED EFFICIENZA ENERGETICA

**Come i materiali possono o non possono contribuire
all'efficienza energetica**

- **Meccanismi di trasmissione del calore e materiali isolanti.**
- **Proprietà termiche dei materiali isolanti: come valutarle e dichiararle correttamente.**

Isolanti e isolamento



λ_D

Definizione

Isolante termico: Materiale che ha lo scopo di ridurre lo scambio di calore le cui proprietà dipendono dalla sua natura chimica e/o dalla sua struttura fisica.

Nota: Ai fini del presente rapporto tecnico (*ndr UNI TR 11936*) è possibile considerare isolanti termici i materiali con conduttività inferiore a $0,09 \text{ W/(mK)}$ e contemporaneamente resistenza termica superiore a $0,5 \text{ (m}^2\text{K)/W}$.

Isolanti e isolamento

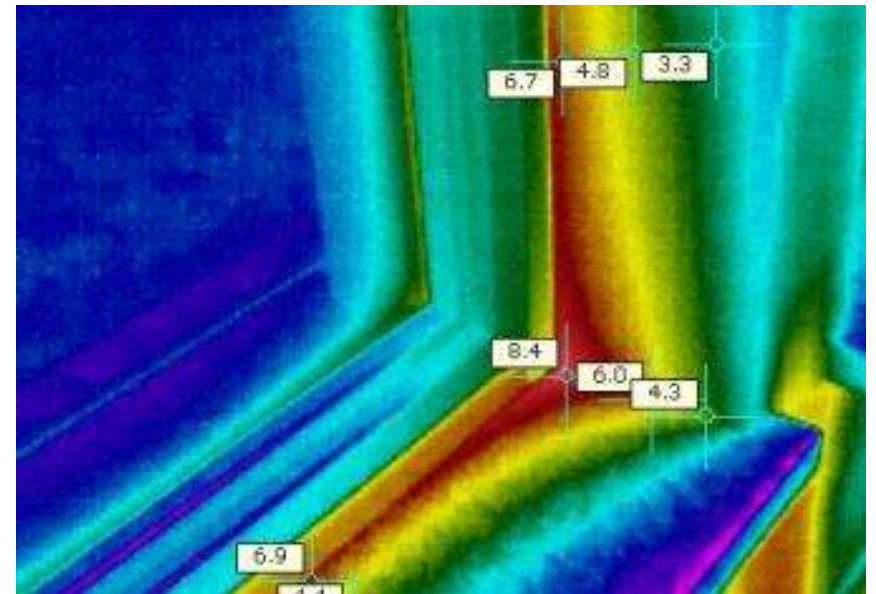
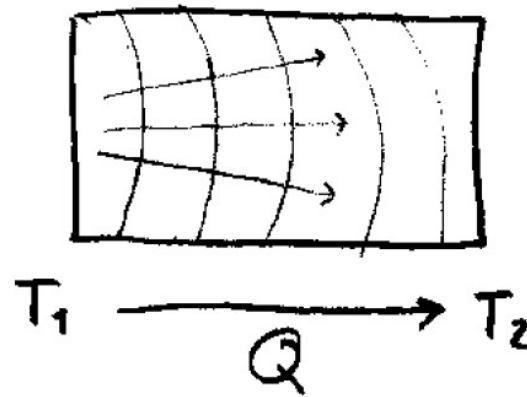
La conduzione

È la modalità di trasmissione del calore che avviene in un mezzo solido, liquido o gassoso dalle zone a temperatura maggiore verso quelle a temperatura minore.

La conduzione è causata dal trasferimento di energia tra molecole vicine **senza trasporto di materia**.

Il fenomeno della conduzione è descritto in termini matematici dall'**equazione di Fourier**:

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



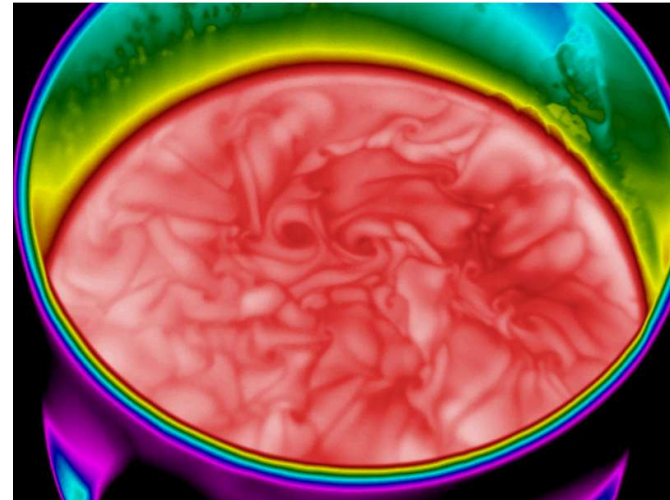
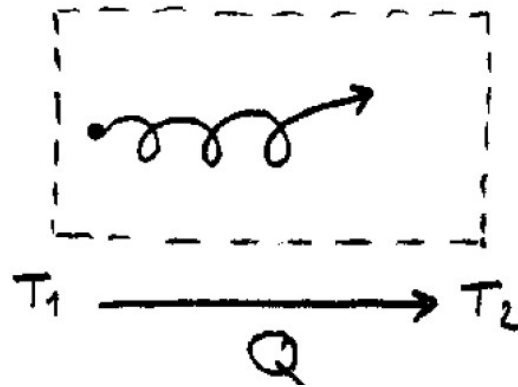
Isolanti e isolamento

La convezione

È la modalità di trasmissione del calore tipica dei fluidi (liquidi e gas) causato dal **movimento delle molecole**. Il calore è trasportato attraverso una corrente “calda” del fluido, come ad esempio avviene nel caso di aria calda che sale lungo un camino.

La relazione che consente di determinare il calore trasmesso per convezione da una superficie a un fluido è definita dalla **legge di Newton**:

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



Isolanti e isolamento

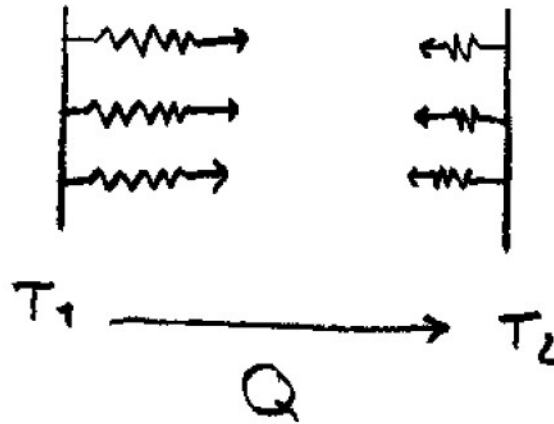
L'irraggiamento

È la modalità di trasmissione del calore **per mezzo di onde elettromagnetiche**. Ogni corpo con una temperatura superiore a 0 K (lo zero assoluto) emette calore per irraggiamento; l'intensità dell'irraggiamento emesso dipende dalla temperatura del corpo stesso e dalla natura della sua superficie.

La quantità di calore emessa da un corpo a temperatura T , per unità di superficie e di tempo è descritta dalla **legge di Stefan - Boltzmann**:

$$\frac{Q(T)}{t} = \varepsilon(T) \cdot \sigma \cdot T^4$$

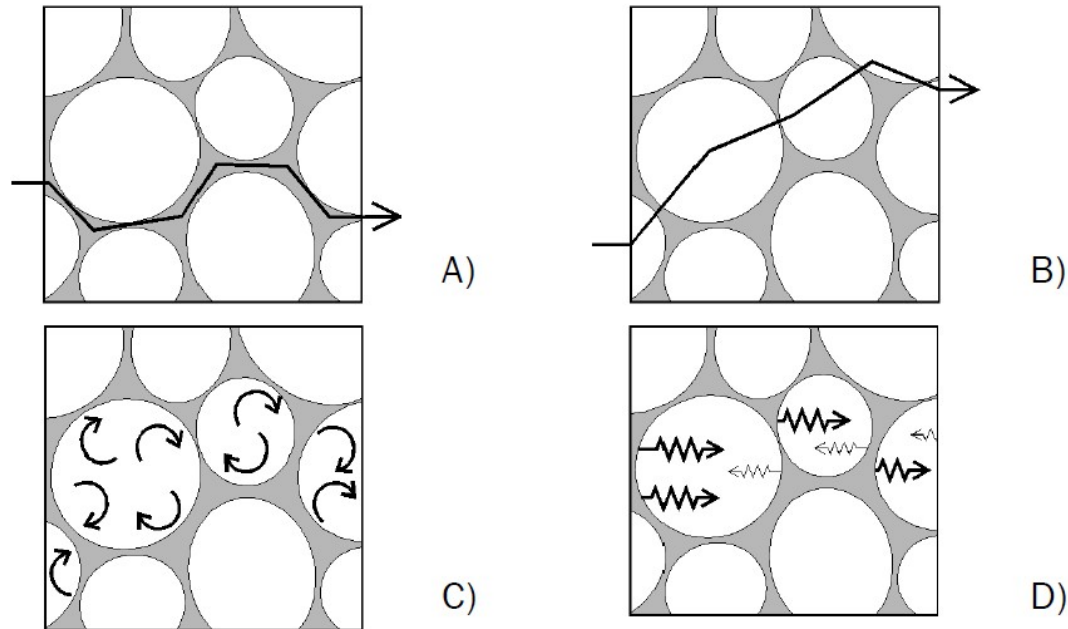
↓ ↓
Emissività Costante di Stefan - Boltzmann
 $5,6 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$



Isolanti e isolamento

All'interno di un materiale

λ



Meccanismi di trasmissione del calore in un materiale poroso:

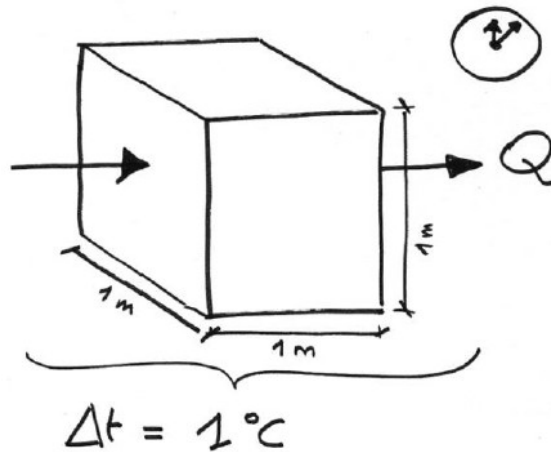
- A) conduzione attraverso la matrice del legante;
- B) conduzione attraverso le molecole d'aria intrappolate nelle bolle di porosità;
- C) convezione nell'aria;
- D) irraggiamento tra le pareti degli spazi vuoti.

Isolanti e isolamento

Conduttività termica apparente

La conduttività termica è definita come:

“Il flusso di calore che in condizioni di regime stazionario attraversa in 1 secondo la superficie di 1 m^2 di un cubo di materiale omogeneo avente lo spessore di 1 m , e con differenza di temperatura tra le due facce opposte parallele di 1°C .”



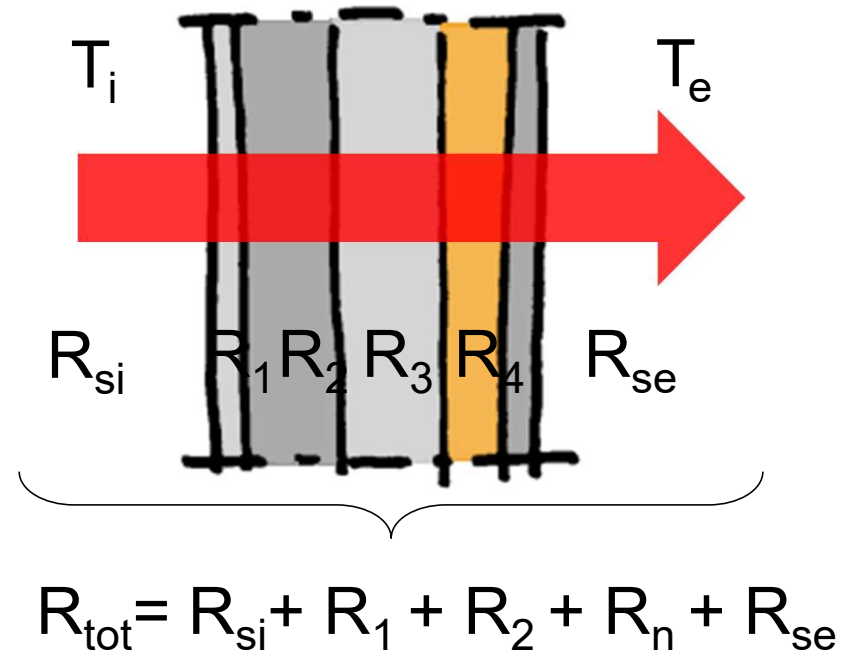
A livello macroscopico la risultante di tutti i meccanismi di trasmissione descritti viene indicata per semplicità come conduttività termica del materiale. In realtà bisognerebbe parlare più propriamente di **conduttività apparente** visto che il calore migra sfruttando anche vie convettive e radiative.

Isolanti e isolamento

$$R = \frac{s}{\lambda_D}$$

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}}$$

$$Q_{\text{tr}} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$$

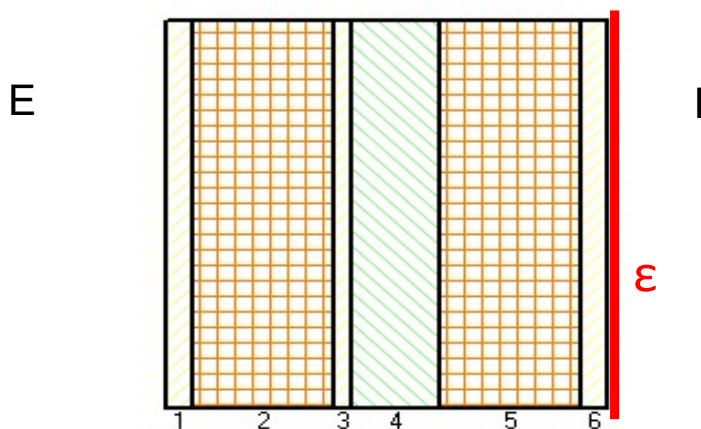


MATERIALE E SPESSORE

Isolanti e isolamento

Nota sull'emissività delle superfici

E' possibile tener conto dell'emissività della superficie interna secondo la norma UNI EN ISO 6946, correggendo il valore di R_{si} , ossia di resistenza termica dello strato d'aria immediatamente adiacente la struttura.



IL VALORE INCIDE SOLO SU R_{si}

Il valore di R_{si} proposto dalla UNI EN ISO 6946 (0,13 m²K/W) è riferito ad un'emissività superficiale pari a 0,9

Esempi di R_{si} con diverse emissività superficiali:

ϵ superficiale	R_{si} (a parità di altre condizioni) (m ² K/W)
0,9	0,13
0,7	0,15
0,5	0,19

Isolanti e isolamento

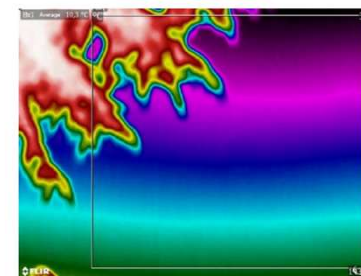
ϵ superficiale	R_{si} (a parità di altre condizioni) (m^2K/W)
0,9	0,13
0,7	0,15
0,5	0,19



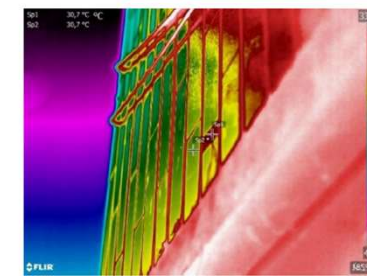
Acquisitore sonda a contatto e igrometro



Sonda a contatto su piastrella



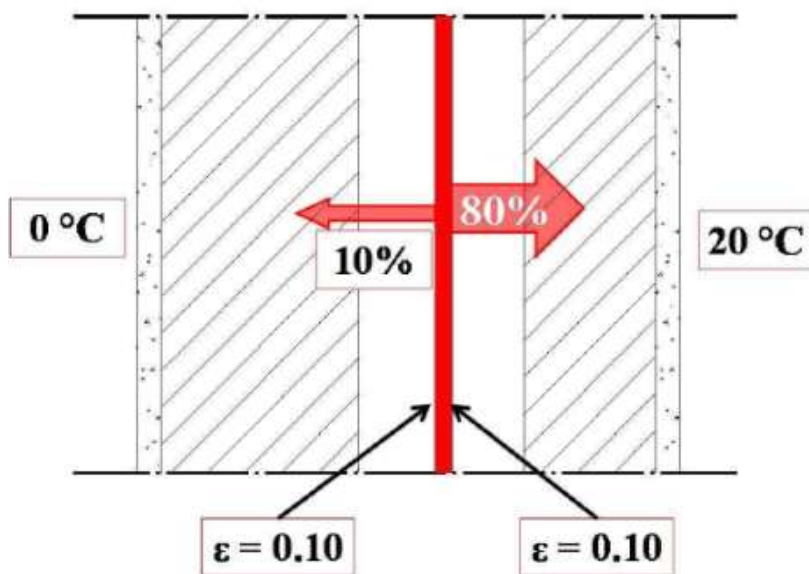
Valutazione temperatura riflessa calotta



Valutazione emissività – GR 10251

Se le superfici hanno caratteristiche di non alta emissività ($<0,90$, ad esempio il vetro $0,8$ o il clinker $0,67$) sono facilmente individuabili con le indagini termografiche.

Isolanti e isolamento



I materiali isolanti riflettenti si basano sull'emissività molto bassa delle superfici dei materiali che li compongono e sull'aumento delle resistenza termica dell'aria delle intercapedini (che devono essere presenti)



Nel software Pan è possibile modellare il contributo di un'intercapedine di spessore variabile e di emissività variabile

Isolanti e isolamento

NB

Per i sistemi isolanti riflettenti la norma di riferimento è la **UNI EN 22097 (2023)** che sostituisce la precedente **UNI EN 16012**, riprendendone in larga parte i contenuti.

Le caratteristiche termiche di questi sistemi devono essere determinate in coerenza con queste norme.
Deve essere dichiarato R del «core» e R del sistema (materiale + intercapedini)

2012



2012



2015



2020

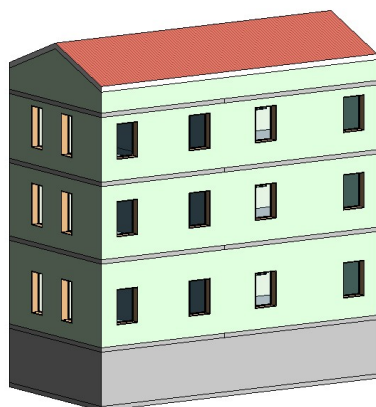
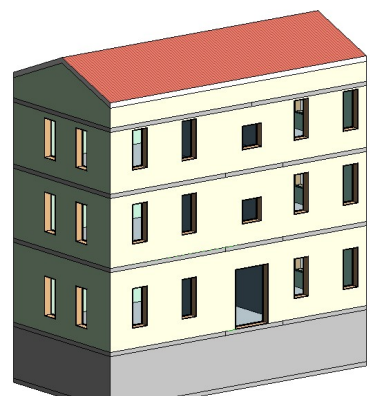


2023

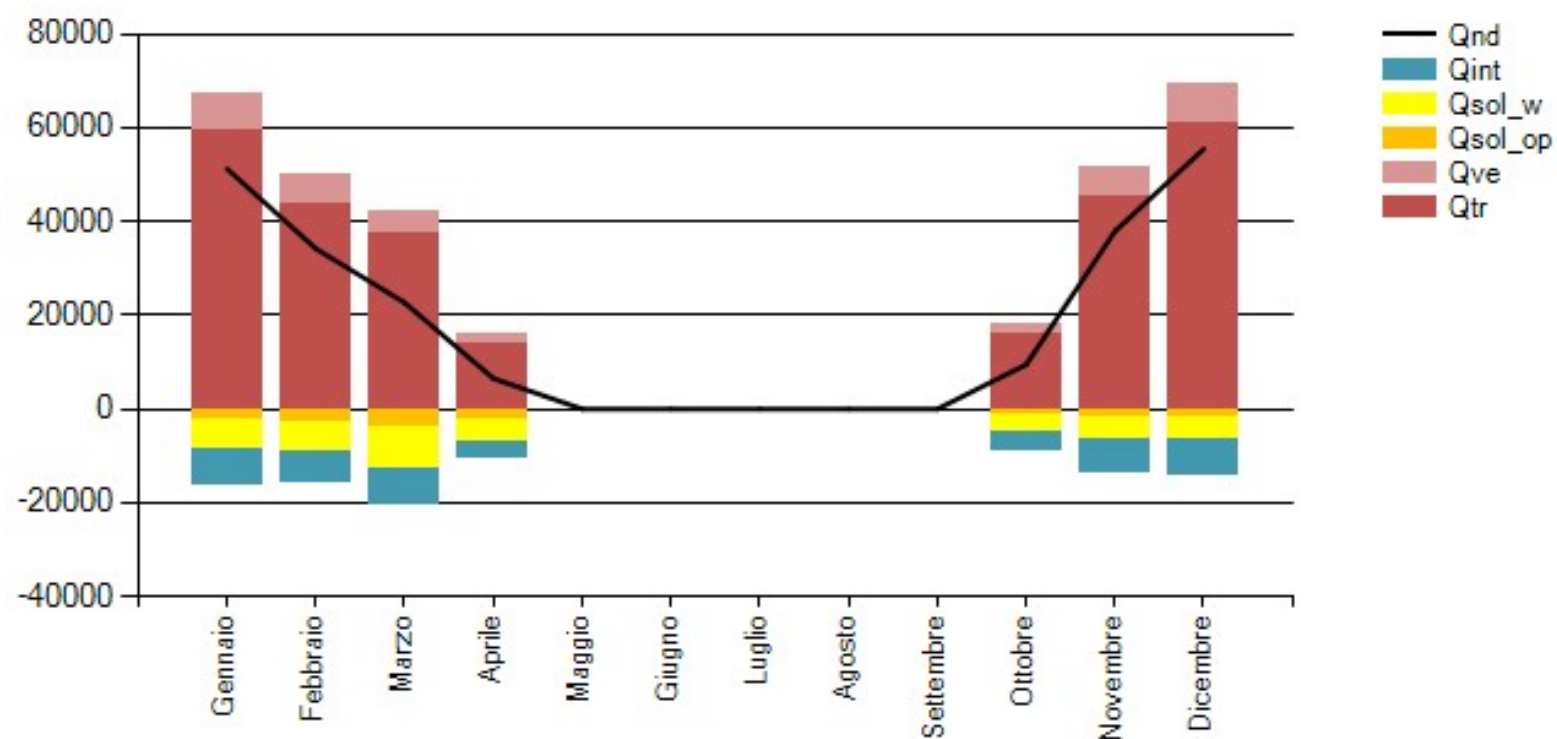


Isolanti e isolamento

Centralità della conduttività termica

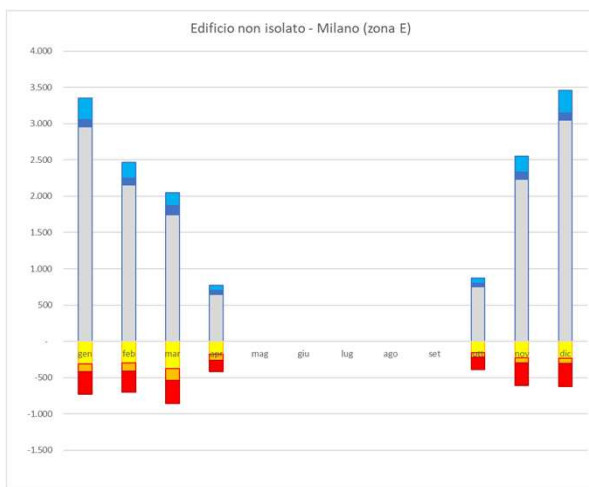


CONTRIBUTI DEL BILANCIO per SERVIZIO H – senza impianti



Isolanti e isolamento

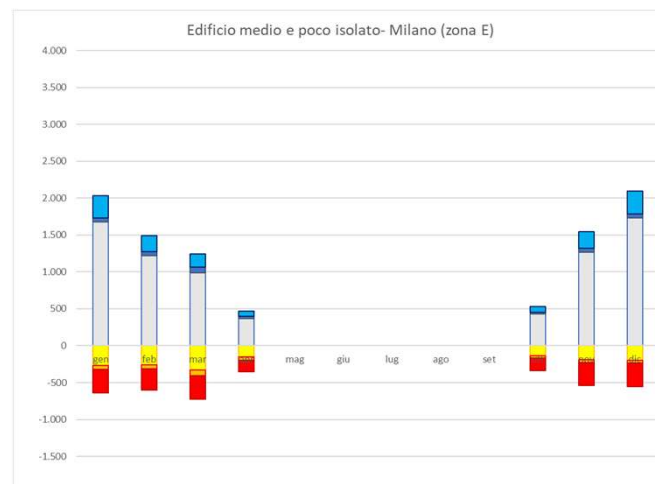
Centralità della conduttività termica



ABITAZIONE ESISTENTE NON
ISOLATA
FINO ANNI '80

$$U_M = 1,25$$

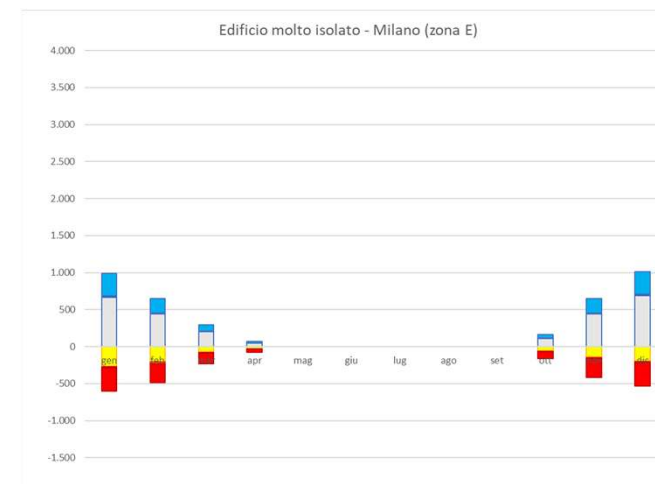
11.500 kWh



ABITAZIONE
POCO ISOLATA
'90-2015

$$U_M = 0,71$$

6.000 kWh



ABITAZIONE ISOLATA
DAL 2005

$$U_M = 0,28$$

1.500 kWh

NZEB e ZEB

- Dispersioni per trasmissione QT kWh
- Dispersioni cielo Qsky kWh
- Dispersioni ventilazione Qv kWh
- Apporti solari Qsol,w kWh
- Apporti opachi Qsol,op kWh
- Apporti interni Qi kWh

Isolanti e isolamento

Centralità della conduttività termica

Il valore della conduttività termica del materiale isolante utilizzato, come visto, condiziona i risultati dei calcoli per:

- Relazione ex Legge 10 - Verifiche richieste da DM 26/05/2015 o regole Regionali dove in vigore
- Certificazione energetica
- Diagnosi energetica
- Requisiti per l'accesso a detrazioni e incentivi – asseverazioni tecniche

Isolanti e isolamento – Conto Termico 3.0

Controllo e sanzioni

Il GSE cura l'effettuazione delle verifiche sugli interventi incentivati sia con controlli documentali che in situ o sopralluoghi al fine di accertarne la regolarità di realizzazione. Le verifiche possono essere realizzate a campione. Se a seguito di controllo venissero riscontrate delle violazioni, il GSE dispone il rigetto dell'istanza con recupero delle somme già erogate o di parte di esse a seconda della gravità delle violazioni.

Costituiscono violazioni rilevanti:

- presentazione al GSE di dati non veritieri o documenti falsi, mendaci o contraffatti, al fine di avere indebito accesso agli incentivi
- indisponibilità della documentazione da conservare a supporto dei requisiti e delle dichiarazioni rese di richiesta di accesso agli incentivi
- il comportamento ostativo ed omissivo tenuto nei confronti del gruppo di verifica, consistente nel diniego di accesso all'edificio presso cui è stato realizzato l'intervento o alla documentazione richiesta, purchè strettamente connessa all'attività di controllo
- l'utilizzo di componenti contraffatti o rubati
- l'insussistenza dei requisiti per il riconoscimento e il mantenimento degli incentivi



COME SI MISURA E SI DICHIARA LA CONDUTTIVITÀ TERMICA

Isolanti e isolamento

Come si misura la conduttività termica

METODO DI MISURA	RIFERIMENTO NORMATIVO	INCERTEZZA TIPICA	FONTE
Piastra calda con anello di guardia	UNI EN 12664, UNI EN 12667, ISO 8302	$\pm 2\%$	UNI EN 12664 – par. 5.2.8; UNI EN 12667 – par. 5.2.8
Metodo dei termoflussimetri	UNI EN 12664, UNI EN 12667, ISO 8301	$\pm 3\%$	UNI EN 12664 – par. 5.3.5; UNI EN 12667 – par. 5.3.5
Metodo camera guardiata o calibrata	UNI EN ISO 8990	$\pm 5\%$	UNI EN ISO 8990 – par. 1.1
Metodo della camera calda con termoflussimetri	UNI EN 1934	$\pm 5\%$	UNI EN 1934 – par. 5.4 (per campioni omogenei)
Metodo radiale	UNI EN ISO 8497	$\pm 3\%$	UNI EN ISO 8497 – Par. 12.2 (confronto test laboratori)
Misura in campo della resistenza- trasmittanza con termoflussimetri	ISO 9869-1	tra $\pm 14\%$ e $\pm 28\%$	ISO 9869-1 – par. 9
Misura della resistenza termica di un componente edilizio attraverso misure di consumi energetici in campo	Metodi non normalizzati	$\pm 100\%$ $\pm 200\%...$	analisi dell'incertezza o sulla base di confronto di misure effettuate su un prodotto da differenti laboratori

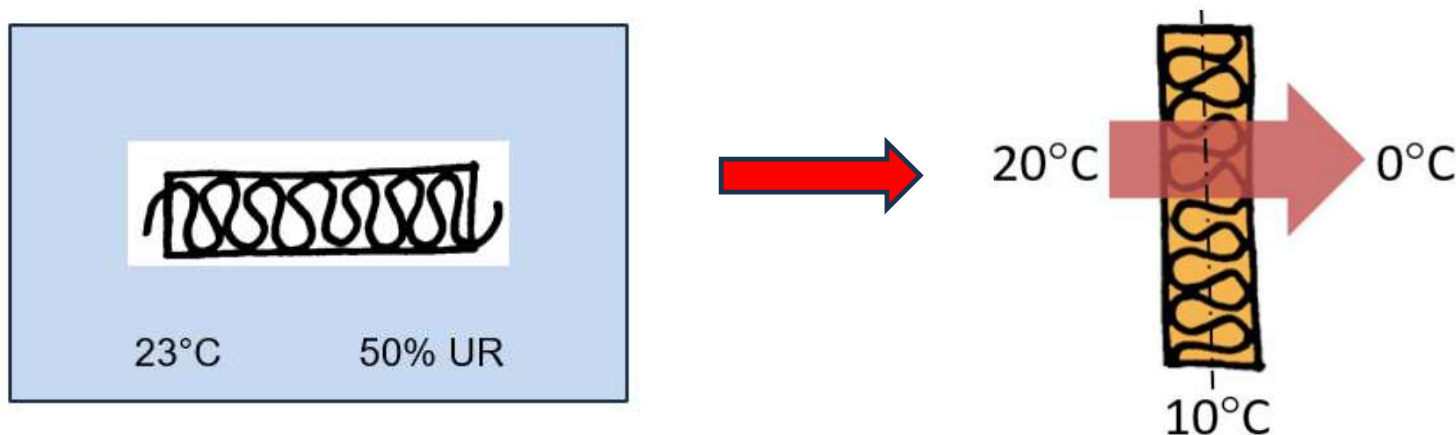
Isolanti e isolamento

Come si misura la conduttività termica

In accordo con le norme di prodotto e le norme di riferimento per la valutazione della conduttività termica (UNI EN ISO 10456) in laboratorio i prodotti isolanti vengono testati a **10 °C di temperatura media**, cioè con una differenza applicata alle facce dei campioni di $\Delta T = 20^\circ\text{C}$.

Il provino viene precedentemente condizionato a 23°C e 50% UR.

La norma di misura indicata dalla grande maggioranza delle norme di prodotto per i materiali isolanti è la UNI EN 12667.



Isolanti e isolamento

Conduttività termica dichiarata

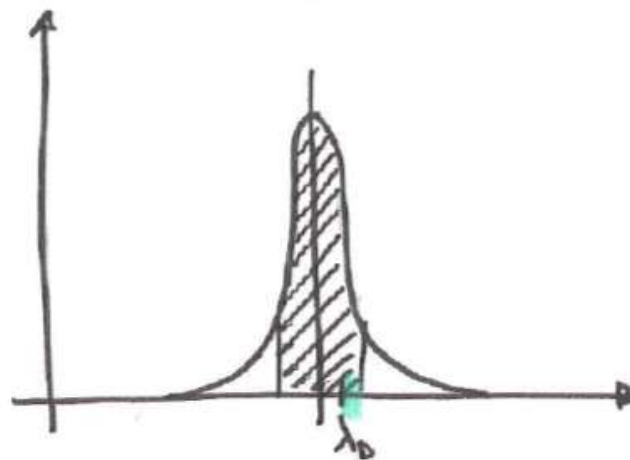
In accordo con la norma di prodotto:

- temperatura di 10 °C
- tre cifre significative dopo la virgola
- il valore di lambda dichiarato λ_D deve essere un valore $\lambda_{90/90}$
- arrotondamento all'alto a 0.001

Il valore di conduttività dichiarata deve essere ricavato elaborando statisticamente i risultati di almeno 3 prove.
Eseguendo più prove l'elaborazione diventa più favorevole e quindi si riduce il valore di lambda 90/90 a parità di materiale e prodotto.

Numero n di misurazioni	fattore k
10	2,07
11	2,01
12	1,97
13	1,93
[...]	1,90
50	1,56
500	1,36
2000	1,32

Tabella 4: fattore k in relazione al numero di misurazioni



Isolanti e isolamento

Conduttività di progetto

UNI TS 11300-1:2014 “... le caratteristiche dei materiali ed in particolare la **conducibilità termica λ** , devono essere **opportunamente corretti per tener conto delle condizioni in cui si opera in accordo con la norma UNI EN ISO 10456.**”

Cosa dice la UNI EN ISO 10456?

Design values can be obtained from declared values, measured values or tabulated values (see Clause 8).

Measured data shall be either

- directly measured values in accordance with the test methods given in Clause 4, or
- obtained indirectly by making use of an established correlation with a related property, such as density.

If the set of conditions for declared, measured or tabulated values can be considered relevant for the actual application, those values can be used directly as design values. Otherwise, conversion of data shall be undertaken according to the procedure given in Clause 7.

Isolanti e isolamento



Lambda di progetto

1 Tipo di materiale
Sughero espanso

2 λ dichiarato 0.04 W/mK

3 Dati per il calcolo
Temperatura di progetto 0 °C
Umidità relativa di progetto 0 %

4 λ di progetto 0.0371 W/mK

Temperatura
Coefficiente di conversione per temperatura 0.0027 1/K

Umidità
Contenuto d'acqua al 50% UR 0.008 m³/m³
Contenuto d'acqua all'80% UR 0.011 m³/m³
Contenuto d'acqua di riferimento per il calcolo del contenuto d'acqua 0.008 m³/m³
Umidità relativa di riferimento per il calcolo del contenuto d'acqua 50 %
Contenuto d'acqua massimo 0.1 m³/m³
Coefficiente di conversione per umidità 6

Temperatura - Conduttività

Umidità relativa - Contenuto d'acqua

Umidità relativa - Conduttività

Attribuisce lambda di progetto Annulla

1. Selezionare la tipologia di materiali
2. Inserire il valore di conduttività dichiarata
3. Inserire le condizioni di progetto (UR e T)
4. Visualizzare la conduttività di progetto

Isolanti e isolamento

Conduttività di progetto

Correzione del λ_D

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

$$F_t = e^{f_t \cdot (T_2 - T_1)}$$

fattore di conversione temperatura

$$F_m = e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)}$$

fattore di conversione umidità

$$F_m = e^{f_\psi \cdot (\psi_2 - \psi_1)}$$

Dove:

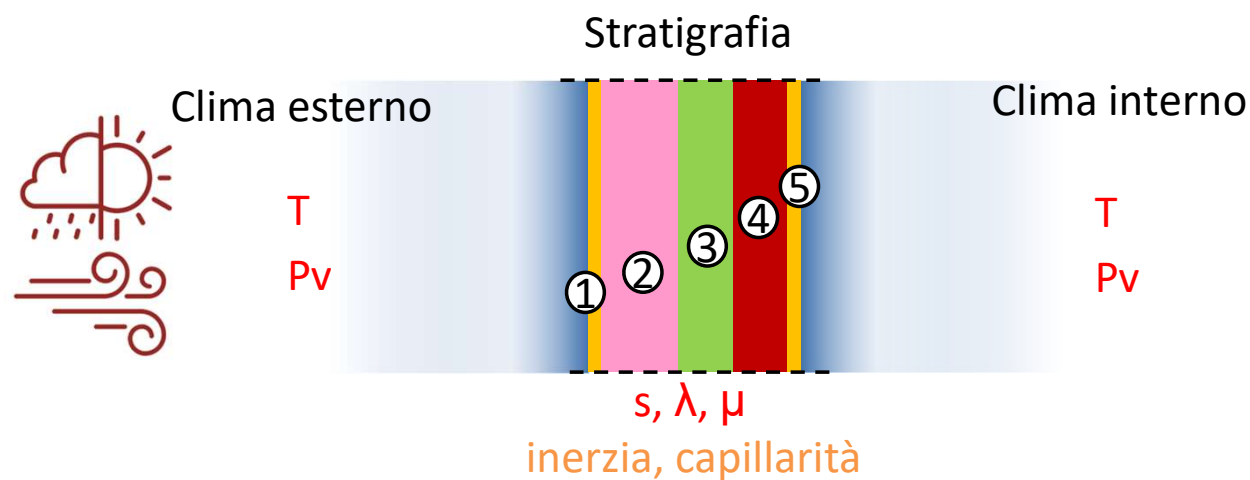
T sono le condizioni di temperatura

u è il contenuto di umidità espresso in kg/kg

ψ è il contenuto di umidità espresso in m³/m³

Isolanti e isolamento – analisi avanzate igrometrica

UNI EN 15026 Calcolo igrotermico dinamico orario



Software Clio
Motore di calcolo sviluppato, in
fase di testing

!!

Dati orari

Valori variabili e
correlati tra loro

Dati orari



Grazie per l'attenzione