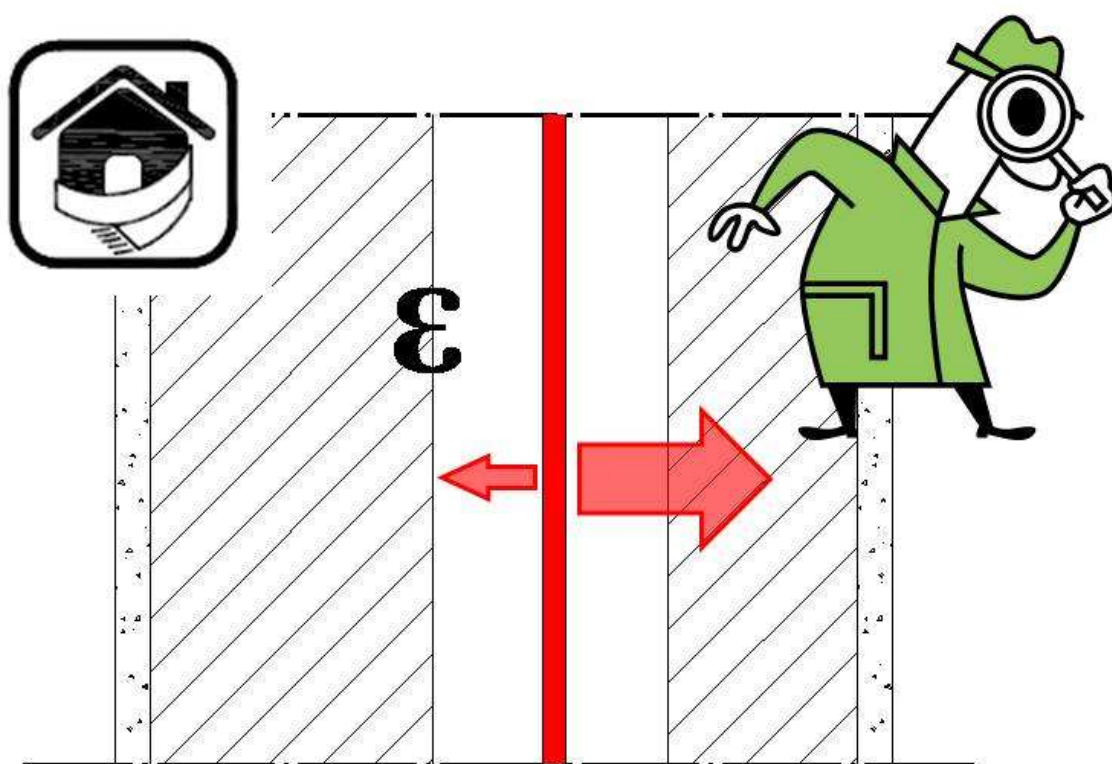


Linee Guida ANIT:
**CORRETTA PROGETTAZIONE
CON I MATERIALI
“ISOLANTI RIFLETTENTI”**

VERSIONE 1.0 – SETTEMBRE 2010



Grazie al contributo
del gruppo di lavoro “basso emissivi” di ANIT



INDICE

0.	INTRODUZIONE.....	2
1.	MECCANISMI DI TRASMISSIONE DEL CALORE PER IRRAGGIAMENTO	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO e INDICAZIONI LEGISLATIVE	9
3.	IL PROBLEMA ESTIVO.....	13
4.	LA POSA IN OPERA – LA CHECK LIST	15
5.	CONCLUSIONE	16

Tutti i diritti sono riservati.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

Le informazioni relative al contenuto di questa pubblicazione sono da ritenersi indicative.

Sul sito www.anit.it nella sezione "Documenti e Leggi" sono disponibili altri documenti di approfondimento.

Edito da TEP srl, Via Savona 1/B – 20144 Milano – 2010

I contenuti delle linee guida

Lo scopo della seguente pubblicazione è di rendere disponibile ai professionisti che operano nel settore della progettazione, realizzazione e manutenzione energetica in edilizia uno strumento che possa essere utile per l'uso dei materiali isolanti riflettenti.

I materiali di tale genere sono presenti a livello di prodotto da molto tempo e sono stati introdotti in edilizia ai fini dell'isolamento termico nei paesi del nord America da almeno 30 anni, in Francia e nei Paesi del Nord Europa da circa 20 anni, in Italia da circa 10 anni.

È quindi necessaria una corretta comunicazione sugli aspetti peculiari che caratterizzano i materiali riflettenti; come **prima analisi** viene sviluppato il meccanismo di trasmissione del calore sul quale agiscono: **l'irraggiamento**; per poter progettare e installare correttamente i materiali riflettenti è opportuno conoscere adeguatamente tale meccanismo.

La **seconda parte** è dedicata alle **possibilità normative** che il settore e i soggetti coinvolti hanno a disposizione. I produttori di materiali riflettenti possono infatti descrivere le caratteristiche termiche di isolamento dei propri prodotti realizzando diverse tipologie di prove (con la procedura normata a livello europeo/internazionale). Con i valori dichiarati dai produttori i **professionisti** progettano le strutture edilizie da isolare; poiché il materiale riflettente non agisce come un materiale tradizionale (e quindi non si descrive per mezzo della conducibilità termica) è necessario che il professionista conosca le condizioni d'impiego e gli ordini di grandezza dei valori di resistenza termica dei materiali riflettenti. Nella seconda parte vengono quindi richiamate le norme di riferimento per il calcolo e i metodi di prove per stabilire le caratteristiche.

I problemi del contenimento dei **consumi estivi** e di comfort legati al surriscaldamento sono molto attuali; le norme di calcolo e i riferimenti legislativi sono in elaborazione continua. Come contribuiscono i materiali isolanti riflettenti ai fini del contenimento delle problematiche estive? **La terza parte** è dedicata a tale aspetto.

Infine, come ogni prodotto in edilizia, le caratteristiche di funzionamento di un prodotto nella sua descrizione generale, si verificano anche in opera se viene **curata la posa**; un aspetto importante anche per i materiali isolanti riflettenti: la quarta parte, dedicata alle problematiche di posa descrive i dettagli da curare perché il sistema sia energeticamente efficiente.

Il presente lavoro è frutto delle aziende associate ad ANIT che sono parte del gruppo di lavoro "basso emissivi" e che hanno reso possibile l'operazione di corretta divulgazione.

1. MECCANISMI DI TRASMISSIONE DEL CALORE PER IRRAGGIAMENTO

Che cos'è un materiale riflettente?

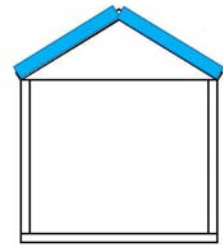
E' un sistema di isolamento termico composto da una o più superfici riflettenti a bassa emissività confinanti con una o più intercapedini d'aria, dove per intercapedine d'aria si intende un'area completamente priva di materiali conduttivi.

Il materiale riflettente cosa riflette?

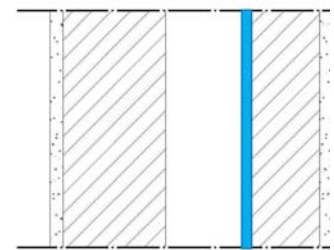
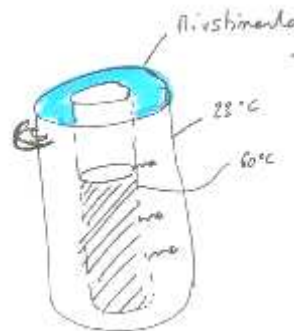
Per capire il funzionamento dei materiali riflettenti è necessario conoscere i meccanismi di trasmissione del calore: convezione, conduzione e irraggiamento. I materiali riflettenti infatti agiscono sulla riduzione dell'energia trasmessa per irraggiamento da una superficie all'altra (in termini di scambio effettivo) in un'intercapedine con moti convettivi in atto.

Le applicazioni di questa forma di isolamento in altri settori ne evidenziano il funzionamento e l'efficacia, ecco alcuni esempi:

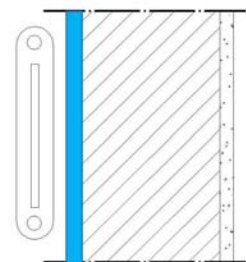
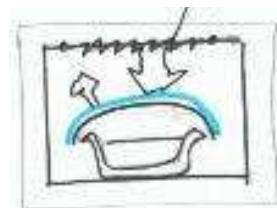
le coperte che si usano per rivestire i corpi dei feriti negli incidenti notturni sono a tutti gli effetti un rivestimento bassoemissivo che impedisce alla calotta celeste di sottrarre gran parte dell'energia termica della sorgente (uomo) per irraggiamento. Applicazione – edile: nella procedura della Regione Lombardia è stata introdotta la dispersione per irraggiamento nei confronti della calotta celeste. In edilizia quindi l'applicazione d'isolamento delle coperture con materiale riflettente comporta miglioramento invernale notturno.



Il funzionamento dei termos per i liquidi caldi (o freddi) è basato sull'eliminazione del meccanismo di trasmissione del calore per convezione (nell'intercapedine c'è il vuoto) e sulla riduzione del meccanismo di trasmissione del calore per irraggiamento per mezzo di superfici dell'intercapedine bassoemissive. In edilizia tale applicazione è rappresentata dall'impiego del materiale in intercapedini tra muratura in laterizio. In questo caso è impossibile eliminare gli effetti della presenza di aria e quindi dei moti convettivi ad essa legati.

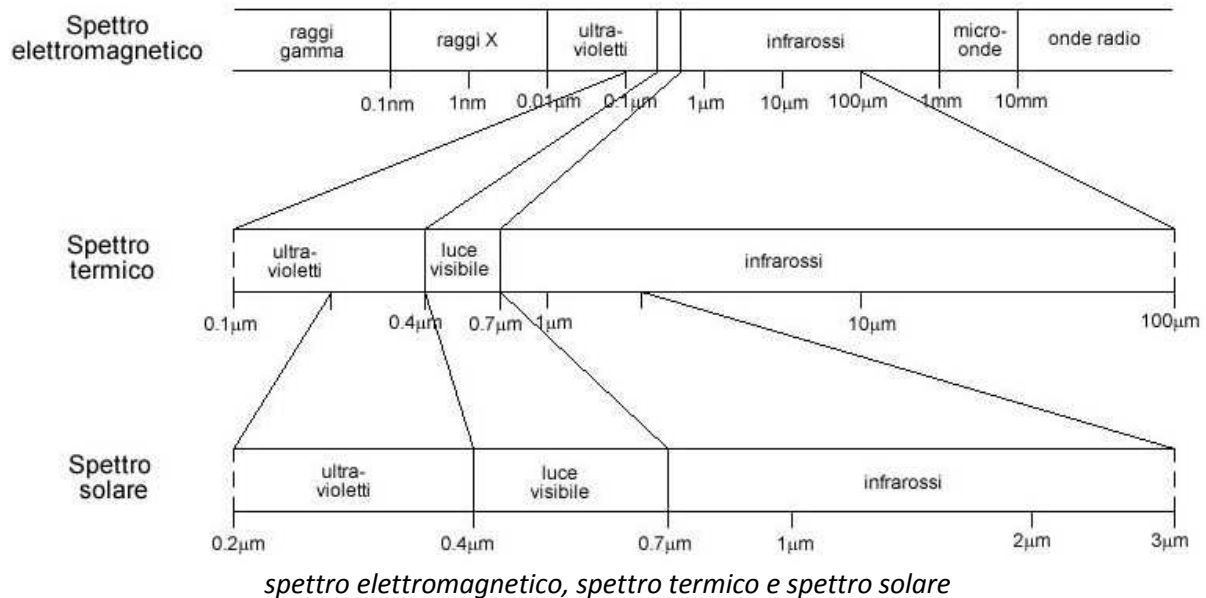


Nella cottura e nel mantenimento del cibo "caldo". Le pellicole in alluminio che si impiegano limitano il raffreddamento del cibo e dell'aria all'interno di esso rallentando il meccanismo di trasmissione del calore per irraggiamento con l'ambiente circostante. In edilizia tale applicazione è rappresentata dall'impiego del materiale associato a sorgenti di calore tipo radiatori.



Radiazione elettromagnetica, radiazione solare e termica

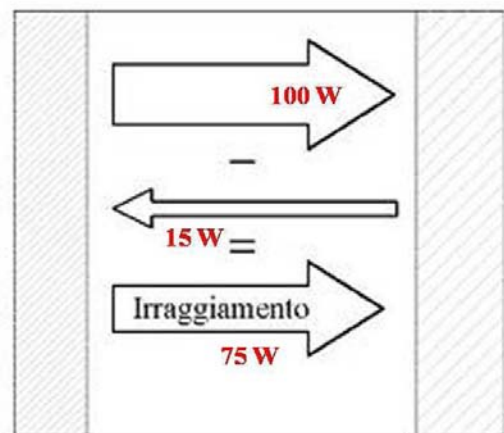
Dell'intero spettro elettromagnetico delle onde solo una parte risulta essere costituita da onde legate alla trasmissione del calore ed è la radiazione termica emessa a causa dei moti delle molecole, atomi ed elettroni di una sostanza. La radiazione termica va da circa 0.1 a 100 μm .



A livello microscopico la temperatura è una misura dell'intensità di tali processi e quindi all'aumentare della temperatura aumenta l'energia emessa sotto forma di radiazione termica:

è fondamentale considerare che tutti i corpi sopra lo zero assoluto emettono energia sotto forma di radiazione e quindi superfici a diversa temperatura hanno sempre uno scambio radiativo in atto.

Per i solidi opachi la radiazione è considerata un fenomeno superficiale e quindi sarà necessario definire le caratteristiche superficiali dei corpi più che le proprietà della parte interna.



Il bilancio netto di scambio radiativo tra due superfici a differente temperatura

Quale la legge che governa l'irraggiamento?

La potenza emessa da un corpo nero ovvero di un corpo ideale in grado di emettere tutta la radiazione in funzione della sua temperatura, per unità di superficie del corpo stesso fu determinata sperimentalmente da Joseph Stefan nel 1879 e si esprime con la relazione:

$$E_n = \sigma \cdot T^4 \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad [1]$$

Dove:

σ : costante di Stefan-Boltzmann pari a $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T: temperatura assoluta della superficie in K

Ma se il corpo non è ideale? È necessario ricordare che ogni corpo emette una certa quantità di energia per effetto della sua temperatura assoluta e che tale emissione è solo una parte dell'energia calcolata con l'equazione [1] e che questa quantità dipende dalle caratteristiche superficiali del corpo. Il parametro che descrive la capacità effettiva di emettere energia è denominato "emissività" e descritto con la lettera epsilon ϵ .

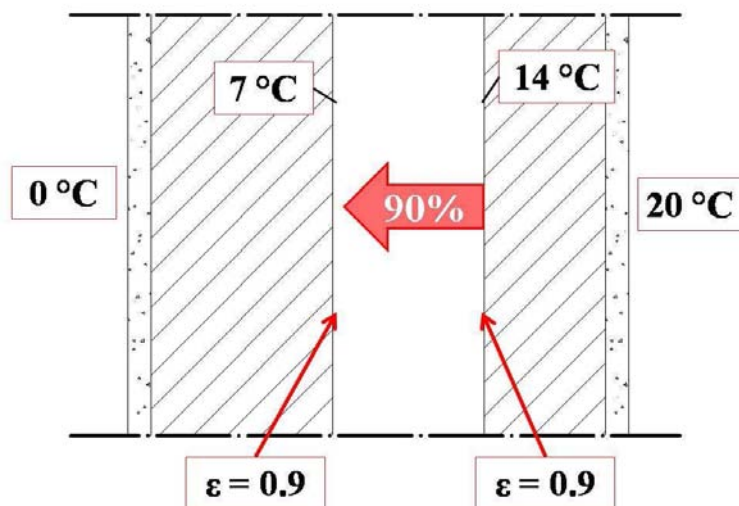
L'emissività è quindi il rapporto tra la radiazione emessa dalla superficie di un corpo e la radiazione emessa dal corpo nero alla stessa temperatura. Rappresenta quindi l'attitudine della superficie di un materiale ad emettere energia sotto forma di irraggiamento per effetto della sua temperatura superficiale. E' quindi un valore compreso tra il seguente intervallo: $0 < \epsilon < 1$. Minore il valore di emissività, minore l'energia irradiata dalla sua superficie.

Per meglio comprendere tali meccanismi si studino i seguenti esempi semplificativi: vi è un'intercapedine di aria costituita da due superfici interne che sono le superfici di due pareti in laterizio.

La situazione descritta è propria del periodo invernale con temperatura esterna dell'aria $T_{ae} = 0^\circ\text{C}$ e temperatura dell'aria interna 20°C . Per effetto della trasmissione del calore le due superfici avranno temperature differenti (ipotizzate a 7°C e 14°C)

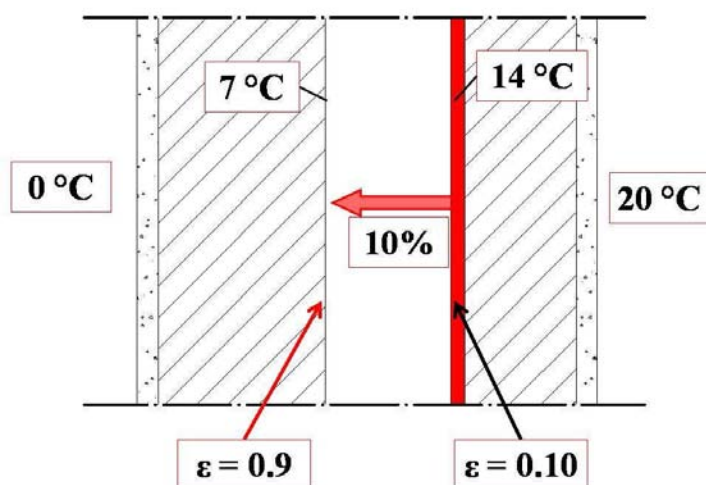
e quindi sarà in atto uno scambio radiativo tra la superficie a 7°C e la superficie a 14°C (tralasciando i moti convettivi dell'aria nell'intercapedine).

I corpi reali costituiti da mattoni hanno un'emissività prossima al comportamento del corpo nero ovvero emettono più del 90% dell'energia che potrebbero emettere per effetto della loro temperatura. Il caso A descrive la situazione anche considerata nel trattamento delle intercapedini d'aria non ventilate descritte nella UNI EN ISO 6946.



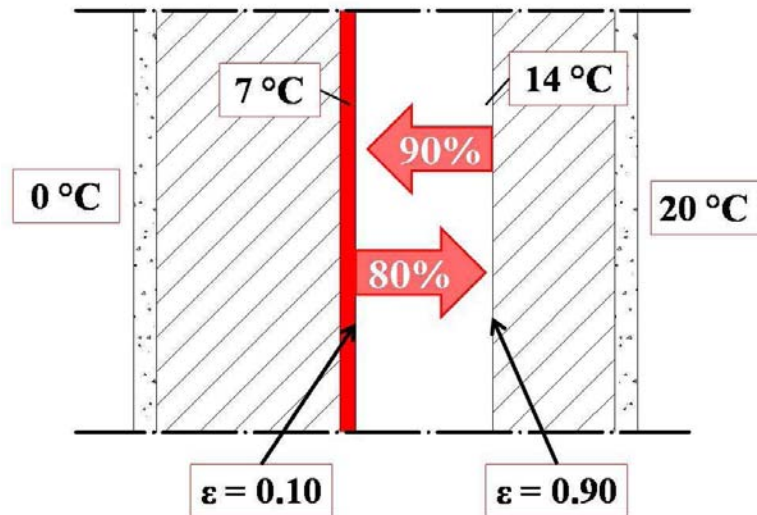
Caso A – superfici alto emissive (indicazioni qualitative)

Inserendo una pellicola basso-emissiva, caso B, ovvero di emissività pari ad esempio $\epsilon = 0.10$ sulla superficie a 14°C le perdite di energia per irraggiamento si riducono di circa il 90% e quindi il materiale si comporta come "basso emissivo".



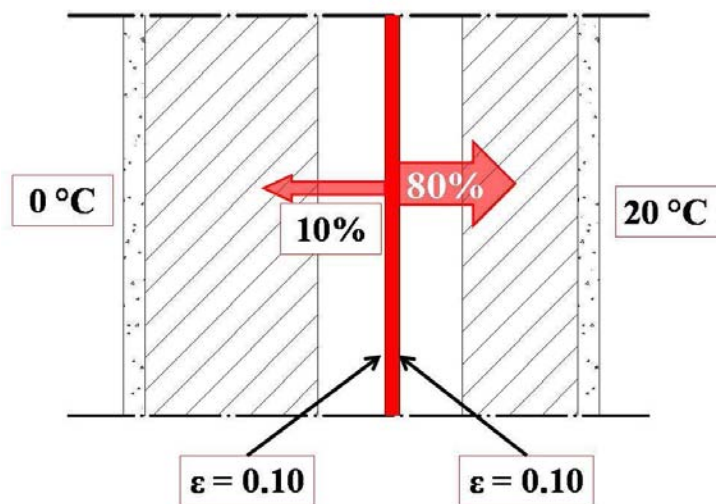
Caso B – superficie basso emissiva (indicazioni qualitative)

Se la pellicola viene posata sulla parete a 7°C, caso C, la superficie si comporterà come alto riflettente: la superficie emetterà una piccola parte dell'energia di quella disponibile per effetto della sua temperatura e rifletterà gran parte dell'energia incidente della superficie a 14°C. Il materiale si comporta come "riflettente".



Caso C – superficie basso emissiva (indicazioni qualitative)

I prodotti in commercio sono generalmente proposti con funzionamento riflettente e basso emissivo, ovvero posizionando i materiali in due intercapedini ovvero impiegando due resistenze termiche: caso D.



Caso D – superfici basso emissive (indicazioni qualitative)

Come faccio a definire un materiale basso emissivo o riflettente?

La caratteristica che definisce un materiale riflettente o basso-emissivo è quindi il valore di emissività della superficie del prodotto. L'emissività è un indice che riassume il comportamento della superficie alle diverse lunghezze d'onda della radiazione termica. I risultati di una prova di emissività di una superficie si possono descrivere attraverso grafici per lunghezza d'onda come quello riportato di seguito.

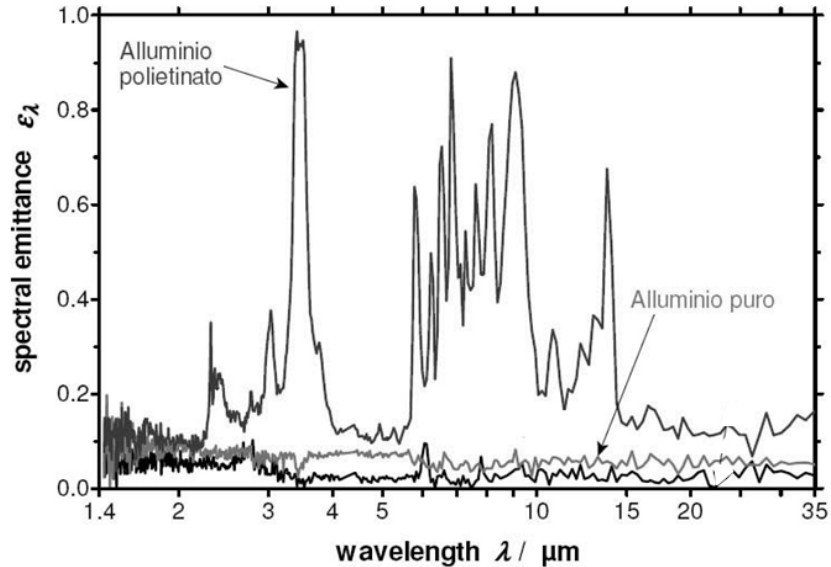


Grafico 1: emissività per lunghezze d'onda comprese tra 1.4 e 35 μm di rivestimenti superficiali

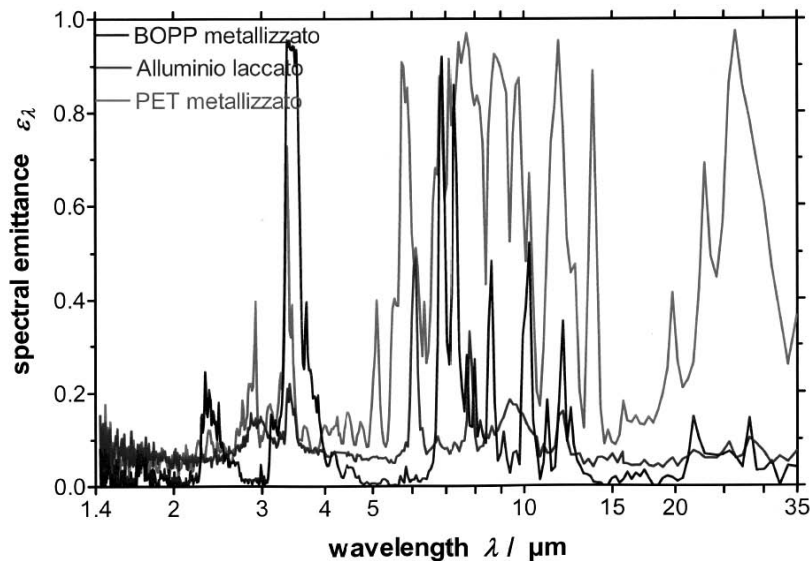


Grafico 2: emissività per lunghezze d'onda comprese tra 1.4 e 35 μm di rivestimenti superficiali

Per la valutazione dell'emissività si può fare riferimento all'allegato D del progetto di norma prEN 16012 in accordo con la norma DIN EN 12898.

Il grafico evidenzia il diverso comportamento di superfici generalmente considerate basso emissive.

In edilizia la maggior parte dei materiali impiegati, cls, mattoni, intonaco e legno ha caratteristiche alto emissive.

Descrizione della superficie:	Coefficiente di assorbimento solare α	Coefficiente di emissività ϵ
Alluminio lucido	0.09	0.03
Alluminio anodizzato	0.14	0.84
Alluminio in foglio	0.15	0.05
Rame lucido	0.18	0.03
Rame ossidato	0.65	0.75
Acciaio inossidabile lucido	0.37	0.60
Acciaio inossidabile opaco	0.50	0.21
Metalli placcati ossido di nickel nero	0.92	0.08
Metalli placcati cromo nero	0.87	0.09
Calcestruzzo	0.60	0.88
Marmo bianco	0.46	0.95
Laterizio rosso	0.63	0.93
Vernice nera	0.97	0.97
Vernice bianca	0.14	0.93

Fonte : Yunus A. Cengel – Termodinamica e trasmissione del calore

Nello studio delle caratteristiche superficiali in edilizia è quindi fondamentale conoscere a quale tipo di radiazione esse fanno riferimento: superfici verniciate di bianco o nero emettono la stessa quantità di energia (emissività) e sono “facilmente” indagabili per mezzo della termografia, ma la loro temperatura sarà molto diversa se sottoposte a irraggiamento solare (assorbimento solare).

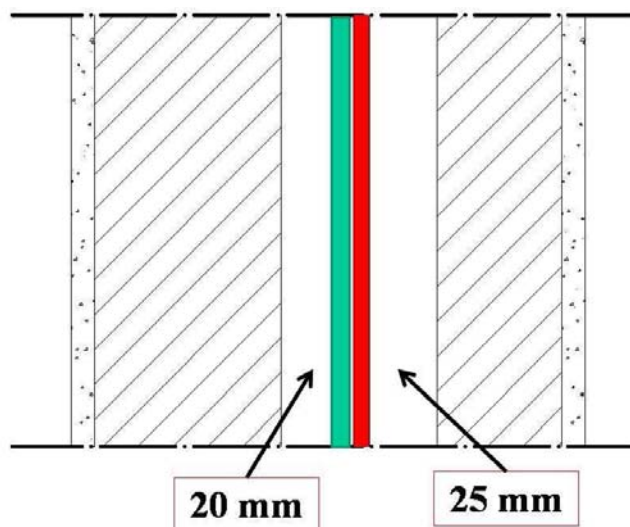
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER IL CALCOLO e INDICAZIONI LEGISLATIVE

Dichiarazioni dei produttori

I produttori di materiali isolanti riflettenti al fine di informare correttamente i professionisti delle caratteristiche termiche dei propri prodotti indicano del proprio prodotto:

- valore di resistenza termica complessiva del sistema (prodotto e intercapedine/i d'aria) R_t [m^2K/W];
- spessore dell'intercapedine/i d'aria associata all'uso della superficie riflettente [mm];
- valore di emissività delle superficie impiegata.

La tabella spiega nel dettaglio quali indicazioni il produttore rende disponibile per il proprio prodotto.



Dati dichiarati dai produttori				
Emissività superficie	ϵ	0.06	-	Dato relativo alla pellicola basso emissiva eventualmente accoppiata ad un supporto semirigido
Resistenza termica del sistema	R_t	1.60	m^2K/W	Dato che riassume il comportamento di tutto il sistema aria-superficie basso emissiva ai fini della trasmissione del calore per irraggiamento, convezione e conduzione.
Spessore dell'intercapedine 1	s	25	mm	L'intercapedine d'aria e il suo spessore influenzano la trasmissione di calore per convezione e conduzione.
Spessore dell'intercapedine 2	s	20	mm	

I produttori indicano il valore di resistenza termica effettuando delle prove indirette in accordo con le norme di riferimento per la valutazione della resistenza termica di prodotti isolanti.

I metodi utilizzati possono essere:

- 1) piastra calda in accordo con la norma UNI EN 12667:2002;
- 2) Hot-Box in accordo con la norma UNI EN ISO 8990:1999.

I materiali isolanti riflettenti non possono essere marcati CE attraverso la procedura derivante dalle norme di prodotto poiché non esiste tale norma a livello europeo come per altri prodotti impiegati per l'isolamento. I produttori hanno attivato un gruppo di lavoro per la valutazione delle prestazioni termiche dei prodotti riflettenti.



Come inserire il sistema riflettente in un software di calcolo?

Per inserire il sistema riflettente in un software di calcolo ai fini delle valutazioni igrotermiche (calcolo trasmittanza termica U e verifica di condensa interstiziale) è possibile inserire nell'archivio dei materiali dell'utente **due tipologie** di materiali:

- 1) l'intercapedine d'aria con le caratteristiche di spessore [m] e resistenza termica R_t (dichiarata dal produttore comprensiva del comportamento basso-emissivo);
- 2) le caratteristiche del foglio riflettente (parametri termici, spessore e permeabilità al passaggio di vapore).

Ai fini del calcolo della trasmittanza avrà peso il valore di resistenza termica dell'intercapedine d'aria.

La condensazione interstiziale:

In generale i materiali riflettenti sono anche vere e proprie barriere al vapore; per verificare quindi il rischio di condensazione interstiziale avrà peso la caratteristica di permeabilità [μ] della pellicola riflettente e lo spessore della pellicola o il valore di "spessore equivalente di aria" s_d [m].

Per sistemi di più intercapedini e più fogli si consiglia una suddivisione in più intercapedini e fogli.

ANIT rende possibile attraverso il software PAN la definizione dell'intercapedine con i valori di emissività delle superfici in riferimento ai calcoli descritti dalla norma UNI EN ISO 6946.

Metodo di calcolo in accordo norma UNI EN ISO 6946

I valori di resistenza termica di un'intercapedine d'aria possono essere calcolati sulla base delle indicazioni presenti nella norma UNI EN ISO 6946 e in particolare nelle appendici A ed B (normative).

I passaggi per il calcolo fanno capo ad una serie di approssimazioni ed ipotesi:

- lo scambio radiativo tra le superfici emittenti è dipendente dalla temperatura media delle superfici interessate dall'irraggiamento;
- la conduzione di calore dell'aria ha dei valori tabulati.

Esempio di calcolo per un'intercapedine di 50 mm con l'inserimento di un foglio basso emissivo: per poter valutare la resistenza termica dell'intercapedine R_g è necessario valutare il contributo di convezione e di irraggiamento della stessa:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [2]$$

Dove:

h_a : coefficiente di conduzione/convezione;

h_r : coefficiente di irraggiamento.

Per valutare il coefficiente di convezione h_a è necessario impiegare il valore maggiore tra quello da tabella e il dipendente dallo spessore dell'intercapedine:

Tipo di flusso	valore [W/m ² K]		valore [W/m ² K]	
ascendente	1.95	o	0.025/d	
orizzontale	1.25	o	0.025/d	= 0.5
discendente	0.12 d ^{-0.44}	o	0.025/d	

Nell'esempio con intercapedine da 50 mm il valore da impiegare è $h_a=1.25 (>0.5)$ [W/m²K].

Occorre quindi valutare il contributo radiativo:

$$h_r = E \cdot h_{ro} \quad [3]$$

Dove:

h_{ro} : coefficiente di irraggiamento di un corpo nero;

h_r : coefficiente di irraggiamento;

E: emittenza tra le due superfici.

In questo passaggio si effettua una valutazione sull'energia radiativa in gioco per effetto della temperatura media dell'intercapedine (h_{ro}) e quindi si valuta lo scambio effettivo derivante dalla presenza di superfici alto-basso emissive (E):

Energia che potrebbe essere scambiata nell'intercapedine:

$$h_{ro} = 4 \cdot \sigma \cdot T_m \quad [4]$$

Dove:

T_m : temperatura media nell'intercapedine $T_m = 283 \text{ K}$ (= 10 °C);

σ : costante di Stefan-Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$;

$$h_{ro} = 4 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot 283^3 = 5.14$$

Segue il calcolo dell'emittenza E, il coefficiente che riassume il comportamento radiativo delle due intercapedini, descritto dall'emissività delle due superfici:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad [5]$$

Intercapedine con superfici di mattoni – alto emissive	Intercapedine con una superficie basso emissiva	Intercapedine con due superfici basso emissive
$E = \frac{1}{\frac{1}{0.9} + \frac{1}{0.9} - 1} = 0.818$	$E = \frac{1}{\frac{1}{0.9} + \frac{1}{0.08} - 1} = 0.079$	$E = \frac{1}{\frac{1}{0.08} + \frac{1}{0.08} - 1} = 0.042$

Nell'esempio dunque la presenza di un foglio riflettente riduce il contributo dello scambio radiativo del 90%, l'emittenza passa infatti da 0.818 a 0.079.

A questo punto si è in grado di valutare il coefficiente di irraggiamento:

$$h_r = E \cdot h_{ro} \quad [6]$$

$$h_r = 0.079 \cdot 5.14 = 0.41$$

E la resistenza termica complessiva dell'intercapedine:

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [7]$$

$$R_g = \frac{1}{1.25 + 0.41} = 0.602$$

Rifacendo i calcoli anche per gli altri casi:

Intercapedine con superfici di mattoni – alto emissive	Intercapedine con una superficie basso emissiva	Intercapedine con due superfici basso emissive
$h_r = 0.818 \cdot 5.14 = 4.2$	$h_r = 0.079 \cdot 5.14 = 0.41$	$h_r = 0.042 \cdot 5.14 = 0.216$
$R_g = \frac{1}{1.25 + 4.2} = 0.183$	$R_g = \frac{1}{1.25 + 0.41} = 0.60$	$R_g = \frac{1}{1.25 + 0.216} = 0.68$

Le valutazioni condotte mostrano l'importanza dell'inserimento di uno strato che riduca il contributo radiativo ai fine dell'aumento della resistenza termica (da 0.18 a 0.60). È altrettanto evidente che vi sarà comunque un valore limite minimo di conduttanza derivante dai moti convettivi dell'aria, valore che si traduce in una resistenza massima ideale pari a 0.8.

Letteratura di riferimento

Oltre ai dati dei produttori e alla possibilità di calcolare la resistenza termica equivalente con le indicazioni della norma si segnalano alcuni dati di letteratura:

British Regulation 443 – marzo 2006: Conventions for U-value calculations

Intercapedini d'aria non ventilate con superfici basso emissive

La tabella indica i valori di resistenza termica utilizzabili nel caso di un'intercapedine non ventilata di almeno 25mm con una superficie basso emissiva.

Tipologia di struttura	Rt [m²K/W]
Superficie basso emissiva, flusso termico orizzontale	0.44
Superficie basso emissiva, flusso termico ascendente	0.34
Superficie basso emissiva, flusso termico discendente	0.50

E' possibile utilizzare valori di resistenza termica maggiori solo sulla base di certificati di istituti accreditati a livello europeo.

Fundamentals Handbook (SI-1993) ASHRAE

La presente tabella riassume alcuni dei valori di resistenza termica Rt [m²K/W] delle intercapedini presenti nella documentazione:

		13 mm aria					20 mm aria				
		emissività superficie					emissività superficie				
Direzione flusso	Tm int °C	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82
ascendente	10.0	0.29	0.28	0.23	0.17	0.13	0.30	0.29	0.24	0.17	0.14
a 45 °	10.0	0.36	0.35	0.27	0.19	0.15	0.35	0.34	0.27	0.19	0.14
orizzontale	10.0	0.45	0.43	0.32	0.22	0.16	0.51	0.49	0.35	0.23	0.17

3. IL PROBLEMA ESTIVO

Se nel periodo di riscaldamento il comportamento dei materiali riflettenti in regime stazionario è riassumibile in una resistenza termica R_t da sommarsi agli altri contributi, in estate le valutazioni si fanno più complesse:

- 1) il regime non è sempre riconducibile alla stazionarietà, ma è variabile, ovvero le temperature esterne hanno valori differenti e dipendenti dal tempo;
- 2) l'applicazione frequente del prodotto in copertura è associata alla ventilazione dell'intercapedine che comporta un aumento della complessità del problema con l'aggiunta di trasporto di masse e aria in movimento.

All'aumento di complessità corrisponde una valutazione generale di miglioramento della prestazione di isolamento termico dall'irraggiamento solare dovuto all'impiego dei materiali riflettenti.

Cosa accade alla resistenza termica?

Ragionando in termini di resistenza termica, il comportamento estivo di una copertura presuppone una temperatura interna media maggiore (e quindi maggiore quantità di energia radiativa in gioco) ma soprattutto una direzione di flusso che si inverte; questa condizione comporta la modellizzazione con flusso discendente e quindi ridotti valori dei coefficienti per conduzione/convezione:

Tipo di flusso	valore [W/m ² K]		valore [W/m ² K]
discendente	$0.12 d^{-0.44}$	o	$0.025/d$

Esempio: in un'intercapedine di 50 mm di una copertura non ventilata il coefficiente da impiegare è $h_o = 0.50$ (> 0.45) [W/m²K]; in linea ideale abbattendo completamente la trasmissione per irraggiamento è possibile arrivare a una resistenza termica pari a $R = 2$ [m²K/W] contro lo 0.8 del caso di parete in inverno con flusso orizzontale.

In letteratura?

Molti studi sui materiali riflettenti sono presenti nella letteratura scientifica e tutti concordano che la presenza di materiali riflettenti – “radiant barrier system (RSB)” garantisce una riduzione dell'apporto di calore in regime estivo.

Tra i metodi di ricerca sviluppati trova frequentemente applicazione la misura di flussi termici e di temperature superficiali su manufatti di diverse dimensioni con campagne di natura sperimentale.

Misure?

Per quanto riguarda misure effettuate in opera, ANIT, in collaborazione con le aziende associate e con la scuola edile di Bergamo ha effettuato diverse misure in opera su manufatti con l'impiego di materiali riflettenti posati in coperture ventilate o meno, in parete e in parte accoppiati ad altri sistemi.

I risultati invernali ed estivi relativi a valutazioni di conduttanza confermano una corrispondenza tra i valori di calcolo e i valori misurati in termini di Rt.



Riassunto di alcuni dati misurati in opera

	Conduttanza misurata C_o [W/m ² K]	Resistenza termica misurata R_{to} [m ² K/W]	ΔR_t rispetto a parete campione [m ² K/W]
Parete campione	2.17	0.46	-
Parete con isolante riflettente (due intercapedini)	0.56	1.786	1.326
Parete con isolante riflettente e 2 cm di EPS (due intercapedini)	0.37	2.70	2.243
Copertura campione	2.99	0.33	-
Copertura con isolante riflettente (due intercapedini)	0.37	2.70	2.37

I dati misurati hanno un errore percentuale pari a 8%.

Per quanto riguarda la valutazione della trasmittanza periodica da misurarsi in opera, sfasamento e attenuazione le valutazioni sono ancora in corso sia per i materiali riflettenti che per i materiali isolanti tradizionali.

4. LA POSA IN OPERA – LA CHECK LIST

Il funzionamento del sistema con isolante riflettente presuppone una corretta posa in opera per assicurare la corrispondenza tra quanto realizzato e quanto ipotizzato in fase progettuale.

In particolare si possono distinguere diverse tipologie di applicazioni generali per le quali valgono i seguenti criteri:

- 1) Il posatore deve **poter riconoscere la superficie basso emissiva**/riflettente che non dovrà essere posata in aderenza a qualsivoglia superficie.
- 2) Tra la superficie basso emissiva e la superficie alto emissiva deve essere realizzata **un'intercapedine di aria** che rispetti le indicazioni del produttore/progettista della legge 10/91.
- 3) I componenti necessari alla posa delle pellicole riflettenti (accoppiate ad altri materiali o meno) devono essere costituiti da materiale non termicamente conduttivo per evitare una prevalenza di trasmissione di calore per conduzione attraverso i **ponti termici**. A tal fine si consiglia l'impiego di orditure in legno o in materiale isolante.
- 4) I rivestimenti riflettenti sono in generale a tutti gli effetti ai fini della trasmissione del vapore delle vere e **proprie barriere al vapore**. Per poter funzionare in modo corretto deve essere assicurata la continuità del materiale; è consigliabile adeguato trattamento in fase di posa e chiusura dei giunti con nastri bassoemissivi adesivi.
- 5) La superficie riflettente per poter mantenere le sue caratteristiche **deve rimanere "pulita"** altrimenti varia peggiorando il valore di emissività.

Errore	Conseguenza	Gravità
Rivestimento riflettente posato in aderenza	Il sistema di isolamento riflettente non agisce sul meccanismo per irraggiamento e quindi ne viene compromessa completamente l'efficacia	XXXX
Intercapedine di dimensioni differenti rispetto alle indicate	E'importante non ridurre lo spessore altrimenti si perde una parte della resistenza termica "conduttiva" dell'aria. Nel caso si aumenti, oltre circa i 2 cm non si verificano conseguenze di sorta	X
Orditura in materiale conduttivo	Aumento delle dispersioni per contatto dovute alla presenza del ponte termico; possibile aumenti di dispersione che possono vanificare l'impiego del materiale riflettente.	XXX
Lacerazione/ non continuità della barriera al vapore	Possibili fenomeni di migrazione del vapore localizzati e di possibile formazione di condensa interstiziale difficilmente evacuabile.	XX
Sporcamento della superficie riflettente	Aumento del valore di emissività della superficie.	XX

5. CONCLUSIONE

Il presente documento si configura come un sintetico testo di divulgazione che non ha il rango di manuale ma punta a stimolare l'approfondimento dei progettisti nel campo della trasmissione del calore e dell'efficienza energetica; la volontà degli autori è evidenziare il funzionamento dei materiali che agiscono sulla radiazione termica delle superfici e diffondere l'uso corretto, evitando errori di posa che possono pregiudicarne il funzionamento.

Il progettista dell'isolamento termico degli edifici può cogliere principi e dati generali che lo aiutino nella scelta del materiale adatto e nella comprensione dei prodotti proposti sul mercato.

Una volta compresa la natura del comportamento dei materiali riflettenti, e compresi i principi che sono alla base della radiazione termica, la lettura delle schede tecniche e dei dati dei produttori diventa maggiormente consapevole.