



# DETEC



**EDIFICI A ENERGIA  
"QUASI ZERO"**

**[ CASE PASSIVE, SOSTENIBILI, IN CLASSE A ]**

**REGIONE CAMPANIA**

**Napoli, martedì 17 maggio 2011**  
*Centro Direzionale Regione Campania*  
*Auditorium Torre C3*

## **Edifici a basso consumo energetico nei climi mediterranei**

Prof. ing. Adolfo Palombo  
(palombo@unina.it)

DETEC, Facoltà d'Ingegneria  
Università degli Studi di Napoli Federico II

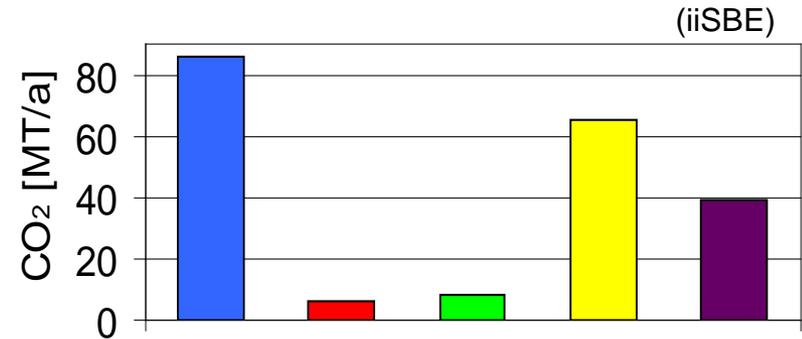
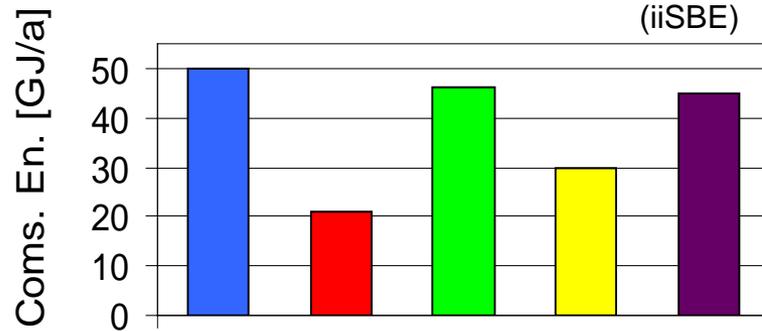
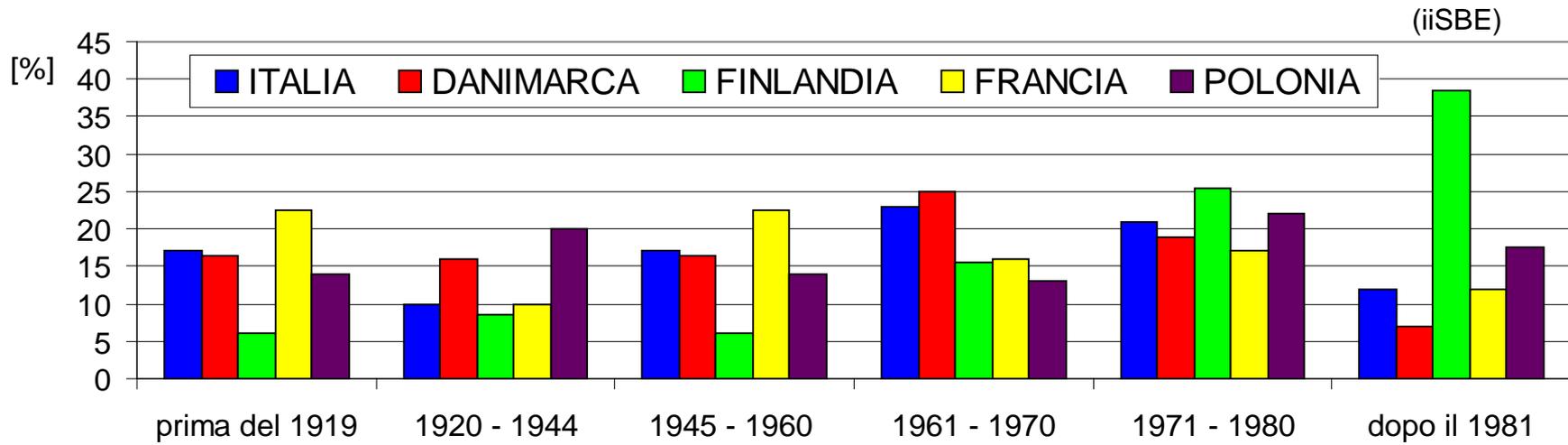
## SCENARIO ATTUALE E FUTURO

- Nei **Paesi industrializzati** oltre il 30% dell'energia destinata alle utenze viene impiegata negli edifici. Di tale aliquota il **40 ÷ l'80%** è destinata al **riscaldamento o alla climatizzazione**
- Nella **Comunità Europea** l'energia impiegata nel settore residenziale e terziario rappresenta oltre il 40% del consumo finale d'energia, il settore civile produce il 30 ÷ 40% delle emissioni di gas serra
- **L'Italia** è uno dei paesi europei con il maggiore consumo d'energia nel settore civile. Consumo medio negli edifici residenziali esistenti: **150 ÷ 180 kWh/m<sup>2</sup>a**. Nel settore civile (40% consumo totale d'energia): 32.5 Mtep/persona (fonti tradizionali) + 3.7 Mtep/persona (fonti rinnovabili); 30% emissioni totali di CO<sub>2</sub>
- Studi UE indicano nel **20%** l'obiettivo minimo al **2020** di **risparmio energetico**, di **recupero d'efficienza energetica negli usi finali** e di **riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>**. In Italia il risparmio potenziale si colloca almeno sul **30%**

## CONSUMI IN CRESCITA

- In Italia, dal **2000 al 2005**, il consumo energetico nel **settore residenziale** è **cresciuto complessivamente del 16,4%**, passando da 26,5 Mtep a 30,8 Mtep (Enea)
  - Il 68% è per il riscaldamento, il 15% per usi elettrici, il 12% per produzione di acqua calda sanitaria e per il 6% per usi cucina (Enea)
  - I consumi energetici per la climatizzazione estiva per l'aumento degli impianti di piccola taglia (< 7 kW) raggiungono oggi 11 TWh/persona anno (iiSBE)
- 
- **Edifici nuovi**
  - **Edifici esistenti: 13 milioni**  
(85% residenziale, 27 milioni di appartamenti) (iiSBE)

# SCENARIO ATTUALE



# PASSIVEHAUS

## Climi Freddi

Inverno lungo

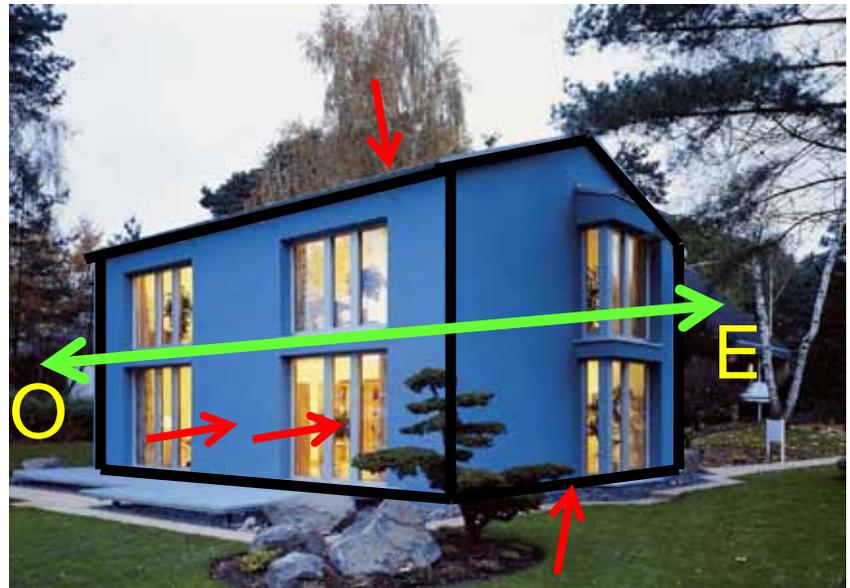
Energia per il riscaldamento  
< 15 kWh/m<sup>2</sup>anno

Forma

Orientamento

Involucro

Impianti  
efficienti



# Climi temperati

Inverno non molto lungo



Energia per il riscaldamento  
< 15 kWh/m<sup>2</sup>anno

Estate calda



Energia per il raffrescamento  
< 15 kWh/m<sup>2</sup>anno

Forma

Orientamento

Involucro

Impianti  
efficienti



- Resistenza + Capacità

## REGIME INVERNALE

- **Trasmittanza  $U$ :** potenza termica che in regime stazionario passa da un fluido ad un altro attraverso una parete (muri, tetti, solai, porte e vetri) per unità di superficie e di differenza di temperatura tra i due fluidi. La sua unità di misura è [W/m<sup>2</sup>K]
- **Rendimento globale medio stagionale,  $h_g$ :** rapporto tra l'energia termica utile per la climatizzazione invernale e l'energia primaria necessaria per la sua erogazione
- **Indice di prestazione energetica,  $EP_i$  per il riscaldamento invernale: fabbisogno annuo di energia primaria** per soddisfare i fabbisogni dell'edificio per la climatizzazione invernale per unità di superficie o di volume utile. Non include dunque l'ACS, i consumi elettrici, etc., è espresso in kWh/m<sup>2</sup>anno (edifici residenziali, uffici e assimilati) o kWh/m<sup>3</sup>anno (altri edifici)

### DLgs. n. 192/05 e s.m.i.:

per questi indici sono fissati in generale dei limiti da rispettare per gli edifici nuovi, le ristrutturazioni significative, i grandi ampliamenti

## REGIME ESTIVO

### D.Lgs. n. 311/06 (all. I, commi 9 e 10) e DPR n.59/09:

per quasi tutte le tipologie d'edificio di nuova costruzione o in ristrutturazione:

- **Indice di prestazione energetica  $EP_{e,inv}$  per la climatizzazione estiva: fabbisogno annuo di energia frigorifera dell'involucro** edilizio, espresso in kWh/m<sup>2</sup>anno (edifici residenziali, uffici e assimilati) o kWh/m<sup>3</sup>anno (altri edifici). per quest'indice è fissato un limite da rispettare per gli edifici nuovi, le ristrutturazioni significative, i grandi ampliamenti
- **Schermi e ventilazione naturale** - Verificare che per la limitazione dei fabbisogni per la climatizzazione estiva e per il contenimento della temperatura interna negli ambienti:
  - siano presenti efficaci elementi di **schermatura delle superfici vetrate** (esterni o interni), in alcuni casi **obbligo di schermi esterni**. Qualora se ne dimostri la non convenienza in termini tecnico-economici, detti sistemi possono essere omessi in presenza di **superfici vetrate con fattore solare (UNI EN 410) minore o uguale a 0,5**. Tale valutazione deve essere evidenziata nella relazione tecnica (DPR n. 59/09).
  - siano sfruttate al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive dell'edificio per ottimizzare la **ventilazione naturale**

## REGIME ESTIVO

• **inerzia termica** - Verificare (ad esclusione della zona F) per le località in cui il valore medio mensile **dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione  $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$**  che:

- la **massa superficiale ( $m_s$ )** delle pareti **opache verticali** (eccetto NO, N, NE) sia **maggiore di  $230 \text{ kg/m}^2$  oppure** che il **valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$**  (capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786, 2008) **sia inferiore a  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$**  (DPR n. 59/09).

- per tutte le **pareti opache orizzontali ed inclinate** che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  **$Y_{IE}$  sia inferiore a  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$**  (DPR n. 59/09).

Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale o trasmittanza termica periodica delle pareti opache possono essere raggiunti, in alternativa, con **l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde**, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare. In tal caso deve essere **prodotta una adeguata documentazione e certificazione** delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con le predette disposizioni.

# POSSIBILI SOLUZIONI PER L'EFFICIENTAMENTO DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

## INVOLUCRO EDILIZIO

- isolamento termico
- vetrate speciali
- materiali ad elevata inerzia termica
- schermi solari
- ventilazione naturale
- architettura ed orientamento edificio

## IMPIANTI

- sistemi ad elevata efficienza
- energie rinnovabili

## TRASMITTANZE PER LE FINESTRE

<b>TABELLA 4.a</b>			
<b>Chiusure trasparenti</b>			
Valori limite della trasmittanza termica $U$ espressa in $W/m^2K$			
Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 $U$ ( $W/m^2K$ )	Dall' 1 gennaio 2008 $U$ ( $W/m^2K$ )	Dall' 1 gennaio 2010 $U$ ( $W/m^2K$ )
A	5.5	5.0	4.6
B	4.0	3.6	3.0
C	3.3	3.0	2.6
D	3.1	2.8	2.4
E	2.8	2.4	2.2
F	2.4	2.2	2.0

<b>TABELLA 4.b</b>			
<b>Vetri</b>			
Valori limite della trasmittanza termica $U$ espressa in $W/m^2K$			
Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 $U$ ( $W/m^2K$ )	Dall' 1 luglio 2008 $U$ ( $W/m^2K$ )	Dall' 1 gennaio 2011 $U$ ( $W/m^2K$ )
A	5.0	4.5	3.7
B	4.0	3.4	2.7
C	3.0	2.3	2.1
D	2.6	2.1	1.9
E	2.4	1.9	1.7
F	2.3	1.7	1.3

## POSSIBILI INTERVENTI SULLE FINESTRE

- **Vetrata**
- **Telai**
- **Cassonetti**
- **Schermature**

## Trasmittanza per le vetrate

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{a_i} + \sum_{i=1}^n \frac{d_{g,i}}{\lambda_{g,i}} + \sum_{j=1}^{n-1} \frac{1}{a_{sj}} + \frac{1}{a_e}}$$

$1/a_{i,e}$  [m<sup>2</sup>K/W] resistenza termica unitaria dello *strato liminare* dell'aria rispettivamente sulla superficie interna (*i*) e su quella esterna (*e*) della vetrata

$\lambda_g$  [W/mK] conducibilità termica dell' *i-esimo* strato di vetro

$d_g$  [m] spessore dell' *i-esimo* strato di vetro

$s/\lambda$  [m<sup>2</sup>K/W] *resistenza termica unitaria* dell' *i-esimo* strato di vetro

$1/a_s$  [m<sup>2</sup>K/W] resistenza termica della *j-esima* intercapedine della vetrocamera

## TRASMITTANZE PER LE FINESTRE

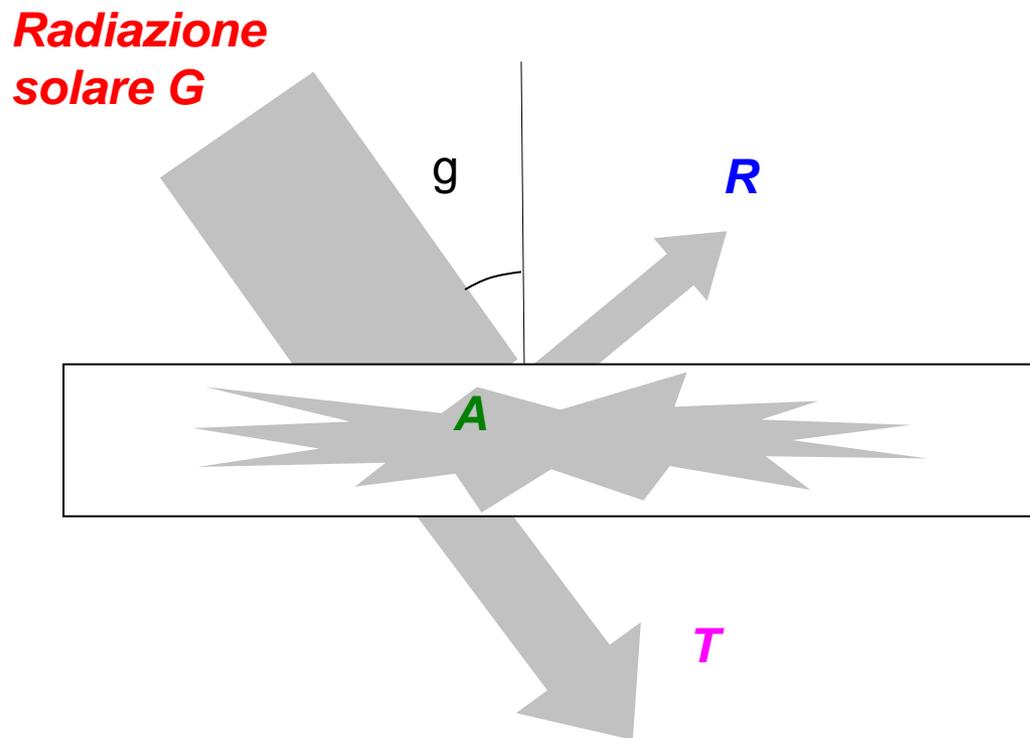
Per una superficie vetrata composta da una sola lastra, trascurando la conduttanza conduttiva unitaria del vetro ( $l/s$ ), la conduttanza di scambio termico globale è:

$$\frac{1}{U_g} = \frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_e} \qquad U_g = \frac{a_i a_e}{a_i + a_e}$$

Per una superficie vetrata composta da due lastre, trascurando ancora la conduttanza conduttiva unitaria del vetro ( $l/s$ ), si ha:

$$\frac{1}{U_g} = \frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_s} + \frac{1}{a_e} \qquad U_g = \frac{a_i a_s a_e}{a_i a_s + a_s a_e + a_i a_e}$$

# RADIAZIONE INCIDENTE, RIFLESSIONE, ASSORBIMENTO E TRASMISSIONE



$$G = A + R + T$$

$$a + r + t = 1$$

# VETRATE SPECIALI – CASO INVERNALE

**SHGC**

**Solar Heat Gain Coefficient**

Inverno

Vetro singolo

$$\frac{Q}{A_g} = U_g (T_i - T_e) - \frac{\alpha_e}{\epsilon_e} + U_g \frac{a_e}{a_e} \frac{\ddot{O}}{\ddot{O}} G$$

Vetro doppio

$$\frac{Q}{A_g} = U_g (T_i - T_e) - \frac{\alpha_e^*}{\epsilon_e} + U_g \frac{\alpha_e a_e}{\epsilon_e a_e} + \frac{a_i}{a_s} + \frac{a_i}{a_e} \frac{\ddot{O}}{\ddot{O}} G$$

Per il calcolo di SHGC si considerano le lunghezze d'onda comprese tra i 0,3 ed i 2,5 nm, quindi, **oltre alla radiazione visibile, una parte dell'ultravioletto (< 0,38 nm) ed una dell'infrarosso (> 0,78 nm).**

**Adozione di vetrocamere doppie o triple** – lo strato d'aria presente tra ciascuna coppia di lastre aumenta la resistenza termica del componente rispetto al vetro singolo

**Riempimento dell'intercapedine con Argon, Xenon, Krypton o Esafluoruro di zolfo** – l'utilizzo di alcuni gas ad elevato peso molecolare e bassoconduttivi in sostituzione dell'aria disidratata innalza la resistenza convettiva

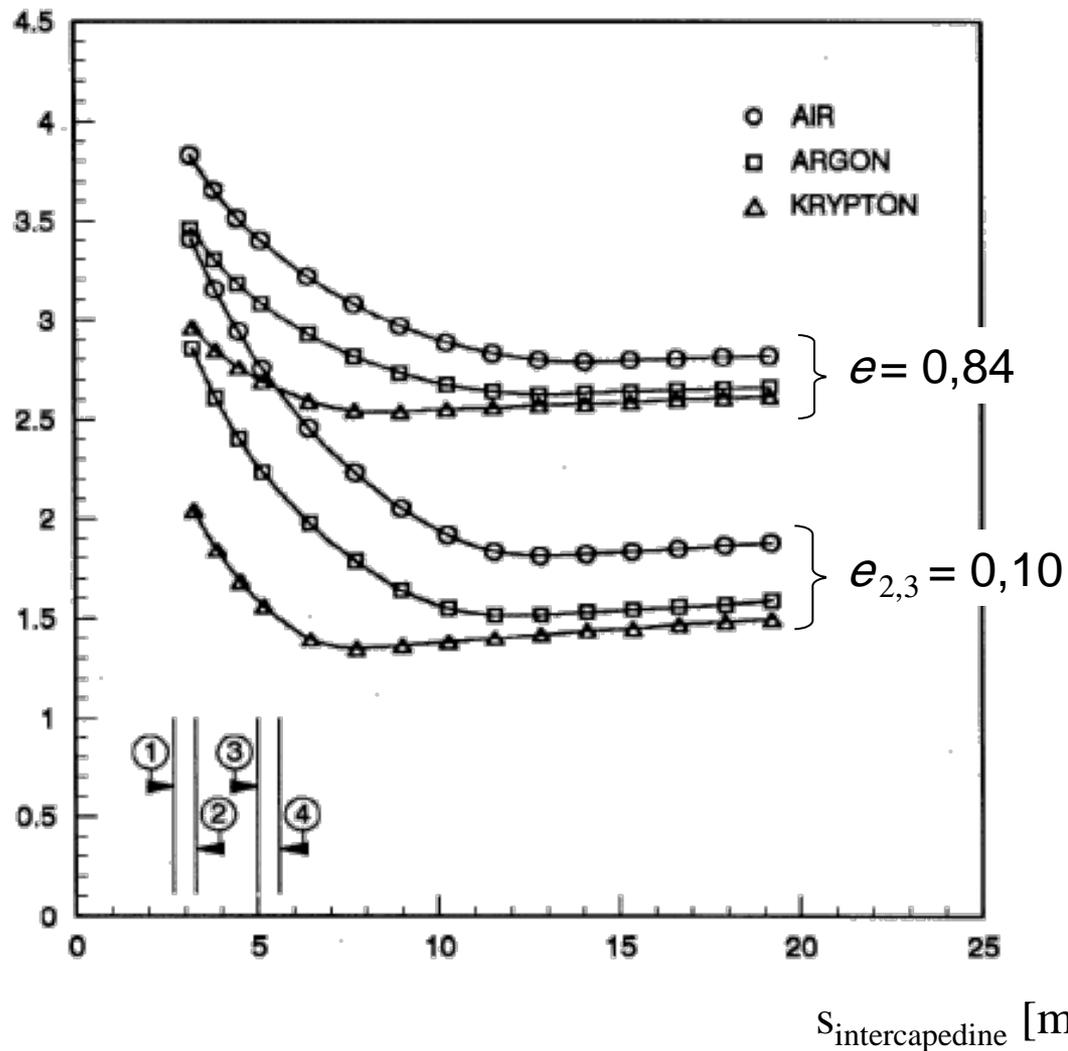
## Proprietà fisiche dei gas utilizzati all'interno delle vetrocamere

proprietà	gas															
	aria				argon				krypton				esafluoruro di zolfo			
$T [^{\circ}\text{C}]$	-10	0	10	20	-10	0	10	20	-10	0	10	20	-10	0	10	20
$r [\text{kg}/\text{m}^3]$	1,33	1,28	1,23	1,19	1,83	1,76	1,70	1,64	6,84	6,60	6,36	6,12	3,83	3,69	3,56	3,43
$m [10^{-5} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})]$	1,66	1,71	1,76	1,81	2,04	2,10	2,16	2,23	1,38	1,42	1,46	1,49	2,26	2,33	2,40	2,47
$l [10^{-2} \text{ W}/\text{m K}]$	2,34	2,42	2,50	2,58	1,58	1,63	1,68	1,73	1,12	1,20	1,28	1,35	0,84	0,87	0,90	0,93
$c [10^{-3} \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	1,008				0,519				0,614				0,245			

# TRASMITTANZE PER LE FINESTRE

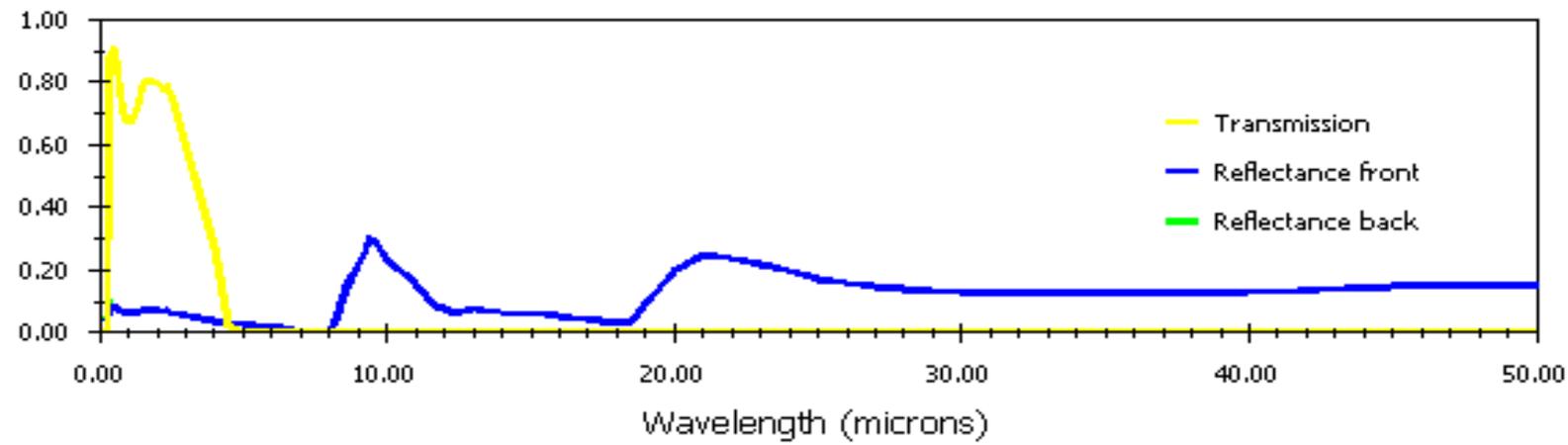
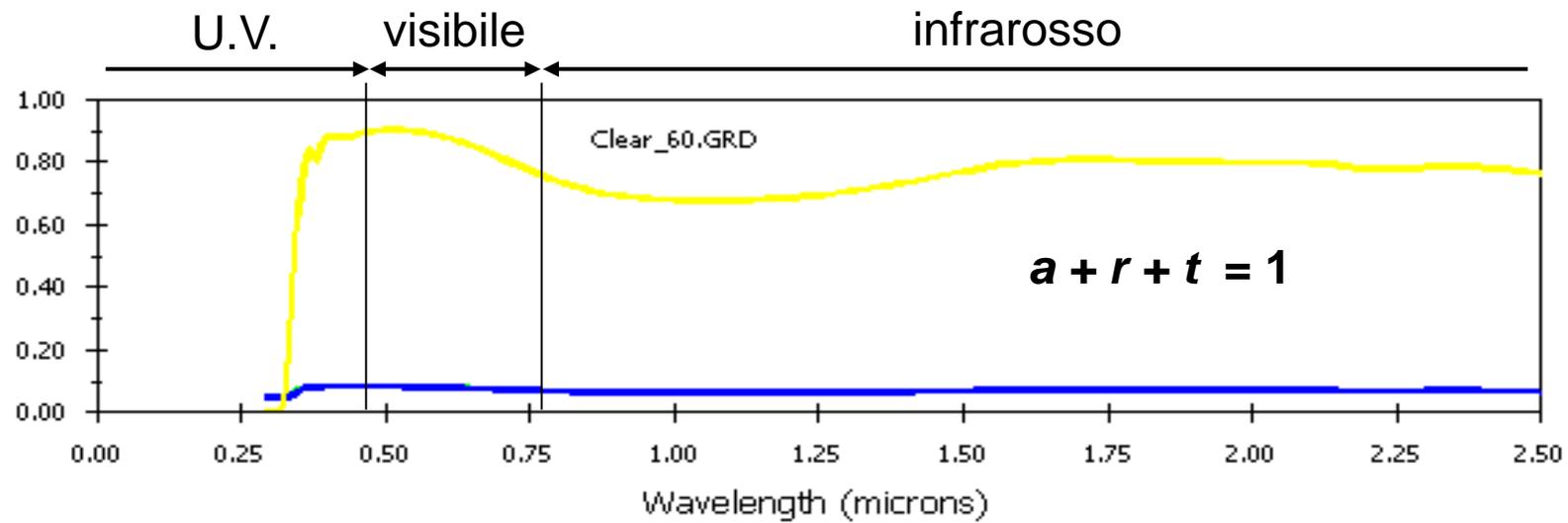
$U_g$  [W/m<sup>2</sup>K]

fonte Ashrae



# COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE E RIFLESSIONE OTTICA IN FUNZIONE DELLA LUNGHEZZA D'ONDA DELLA RADIAZIONE

## Vetro normale chiaro da 6 mm



## FLUSSO TERMICO IN FUNZIONE DELL'EMISSIVITA'

**Adozione di vetri bassoemissivi:** si innalza la resistenza radiativa  
La radiazione infrarossa proveniente dall'interno è riflessa (effetto serra)

**Ambiente interno come cavità  
nera alla temperatura  $T_p$  di  
superficie molto maggiore di  
quella vetrata d'una finestra**

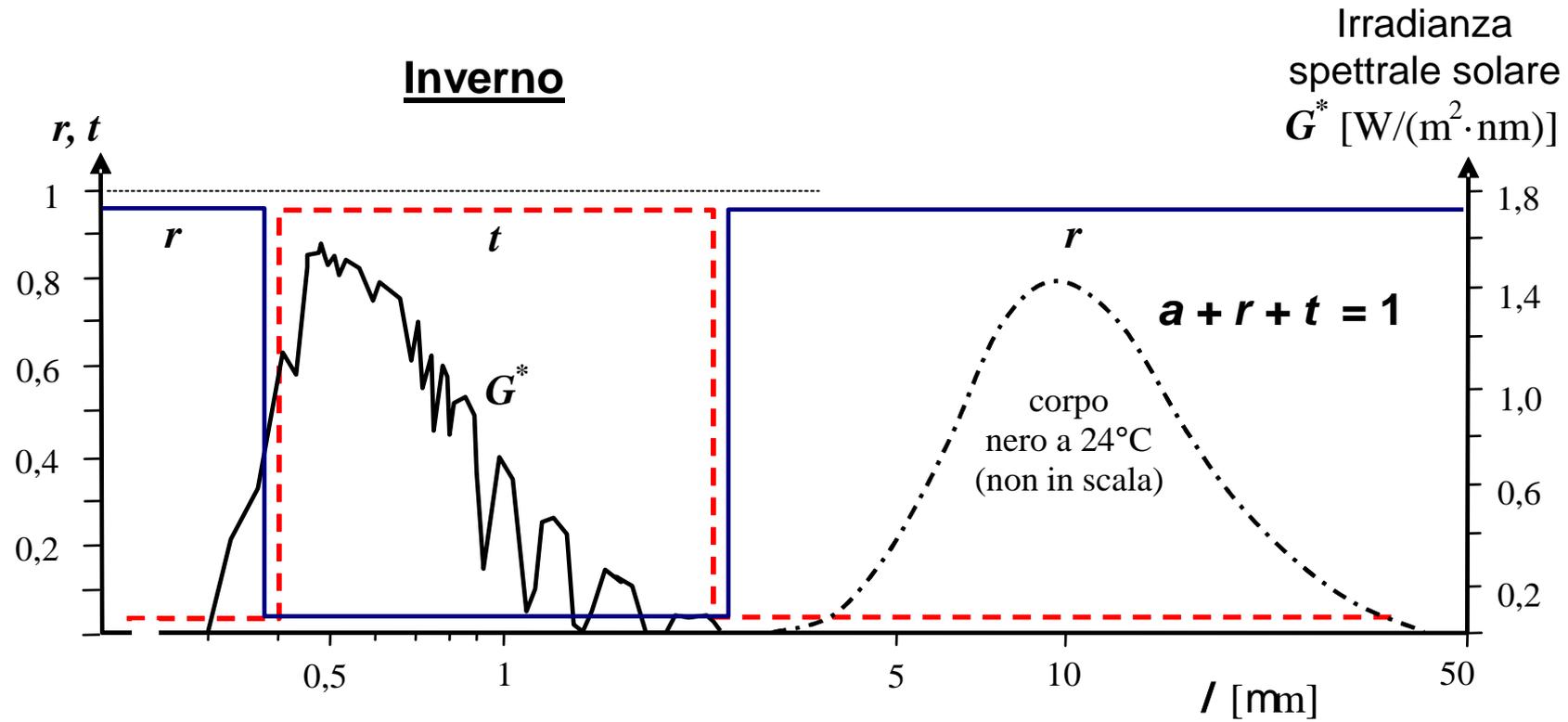
**Intercapedine di una  
vetrocamera doppia come una  
cavità composta da 2 superfici  
piane parallele e indefinite**

$$\dot{q}_{irr} = a_{i,irr} (T_p - T_4) = e_4 s (T_p^4 - T_4^4)$$

$$\dot{q}_{s,irr} = a_{s,irr} (T_3 - T_2) = \frac{s (T_3^4 - T_2^4)}{\frac{1}{e_3} + \frac{1}{e_2} - 1}$$

Quindi abbassando  $e_2$ ,  $e_3$  o  $e_4$  si riduce la trasmissione del calore per irraggiamento

# COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE E RIFLESSIONE OTTICA IN FUNZIONE DELLA LUNGHEZZA D'ONDA DELLA RADIAZIONE



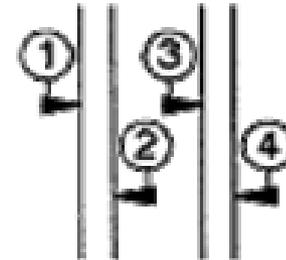
Comportamento ideale di un vetro bassoemissivo per climi freddi



## VETRATE SPECIALI

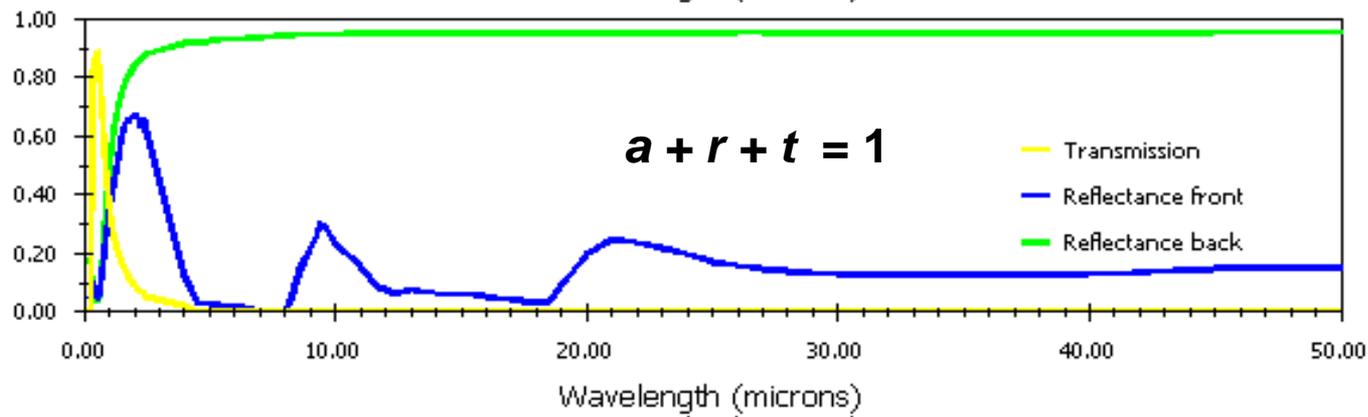
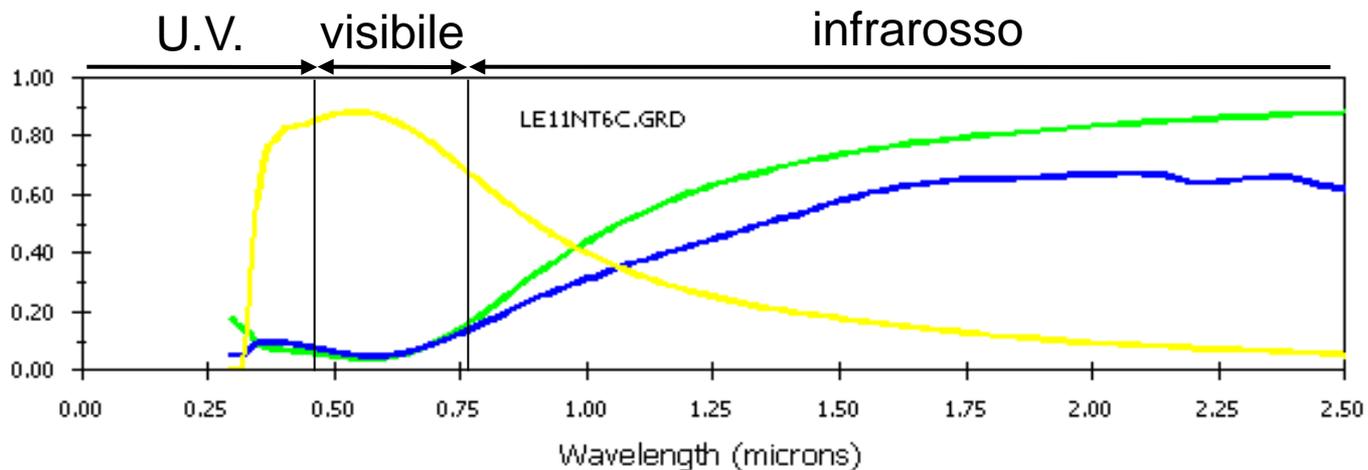
**Processo pirolitico (Hard Coating):** ossidi o vapori metallici sono applicati direttamente al vetro durante la lavorazione, quando ancora la lamina è calda nel forno di ricottura

**Processo magnetronico (Soft Coating):** ossidi metallici sono applicati al prodotto finito, cioè *off line*, con una sofisticata tecnica sottovuoto. Presentano migliori caratteristiche di isolamento termico rispetto ai vetri pirolitici ma il *coating* è più delicato: va posto necessariamente in faccia 2 o 3



# COEFFICIENTE DI TRASMISSIONE E RIFLESSIONE OTTICA IN FUNZIONE DELLA LUNGHEZZA D'ONDA DELLA RADIAZIONE

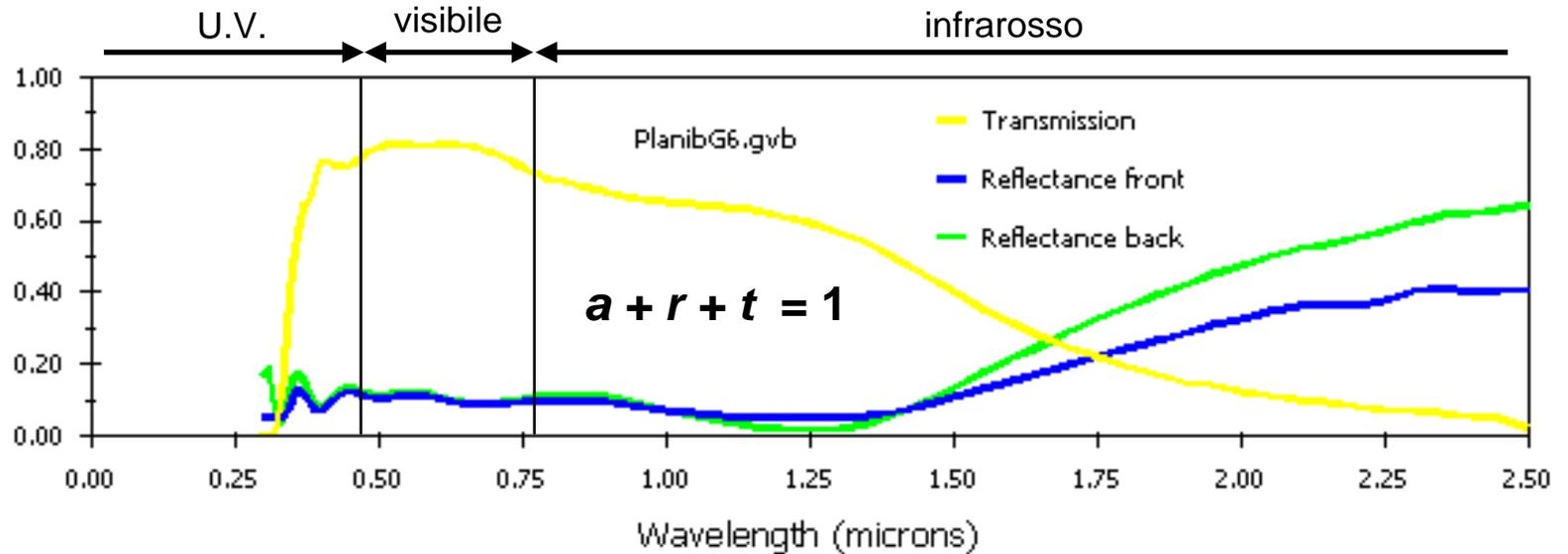
**Adozione di vetri bassoemissivi** - Il risultato è ottenuto attraverso il trattamento superficiale (pirolitico o magnetronico) del vetro



Vetro chiaro da 6 mm con coating basso emissivo magnetronico



## VETRATE SPECIALI

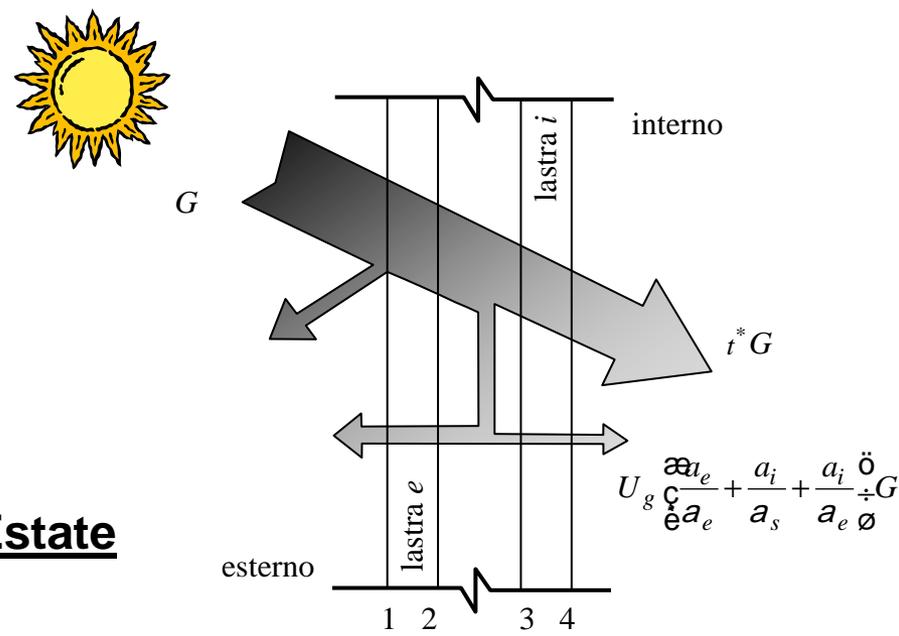
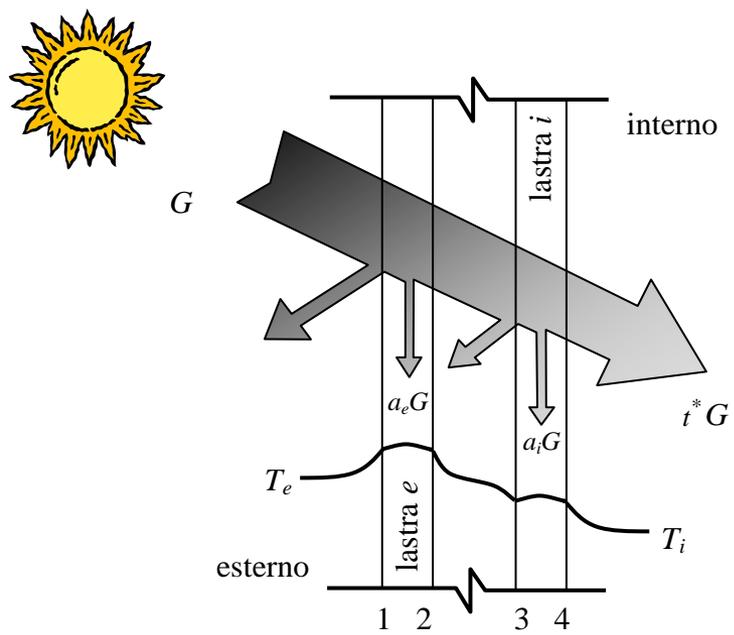


**Vetro chiaro da 6 mm con coating basso emissivo pirolitico**

Vetro (sigla)	$t$ solare	$r_f$ solare	$r_b$ solare	$t$ visibile	$r_f$ visibile	$r_b$ visibile	$\epsilon$	$\epsilon_b$
<b>normale</b> (clear60)	0,804	0,074	0,073	0,892	0,082	0,082	0,840	0,840
<b>magnetronico</b> (LE11NT6C)	0,589	0,229	0,288	0,872	0,053	0,043	0,836	0,066
<b>pirolitico</b> (PlanibG6)	0,664	0,106	0,123	0,806	0,106	0,115	0,840	0,169

### Proprietà ottiche dei vetri bassoemissivi

VETRATE SPECIALI



**Estate**

**Vetro doppio**

$$\frac{\Phi}{A_g} = U_g (T_e - T_i) + \underbrace{\frac{\alpha_e^*}{\epsilon_e} + U_g \left( \frac{\alpha_e}{\epsilon_e} + \frac{a_i}{a_s} + \frac{a_i}{a_e} \right)}_{\text{SHGC}} G$$

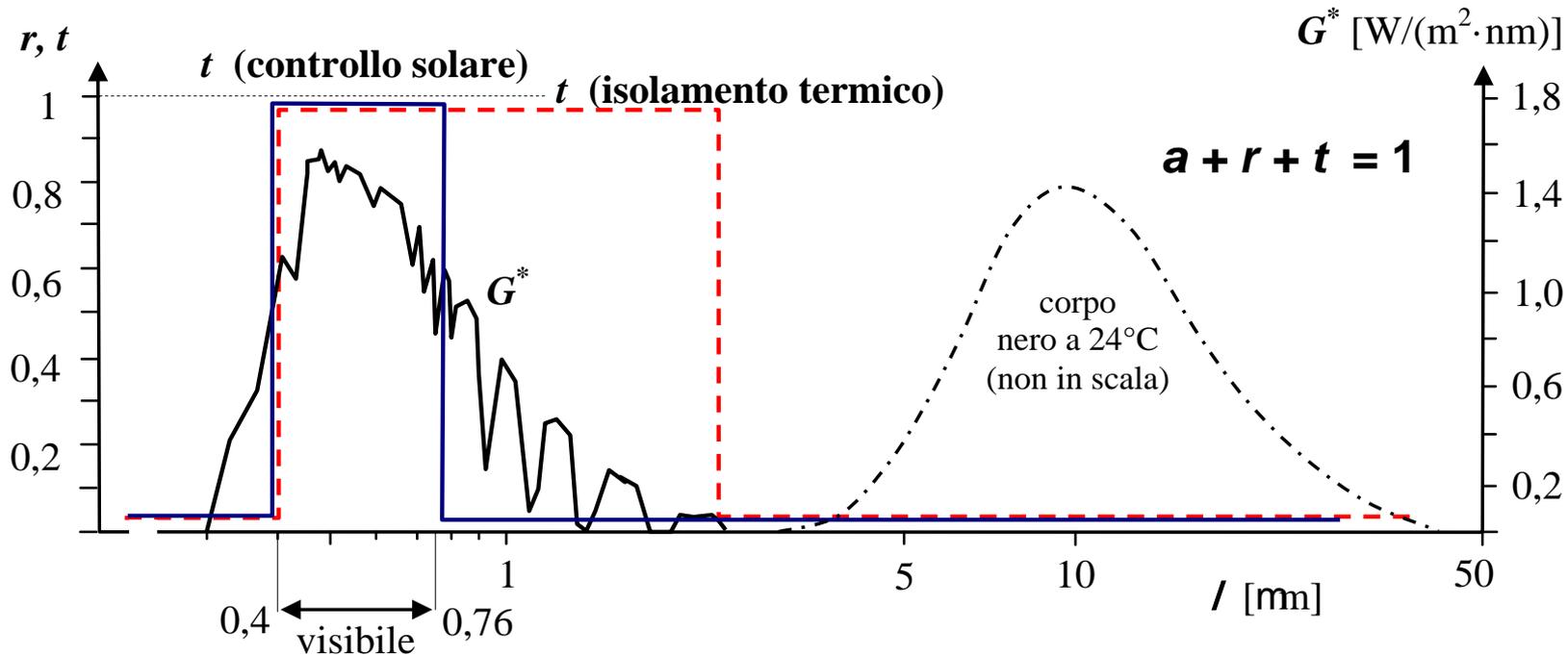
Coefficiente di trasmissione secondario

SHGC Solar Heat Gain Coefficient

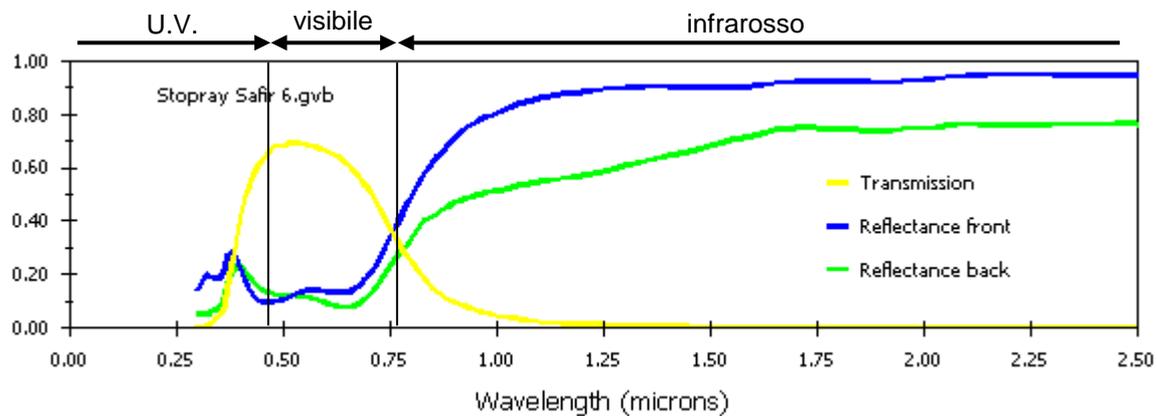


# VETRATE SPECIALI – CASO ESTIVO

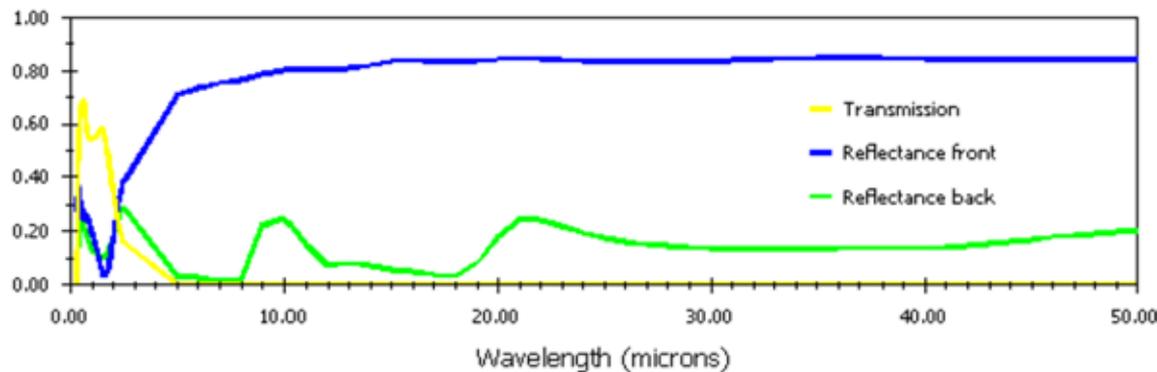
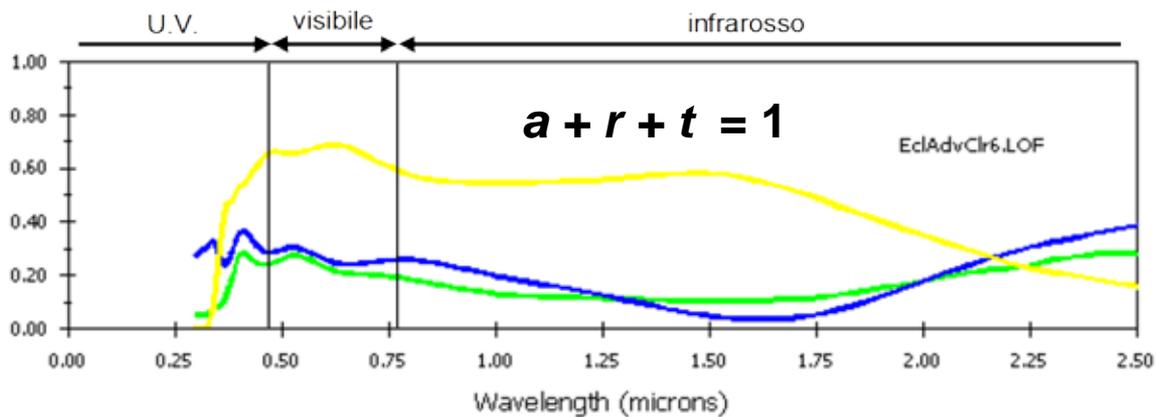
## Estate



**Comportamento ideale di un vetro bassoemissivo per climi caldi**

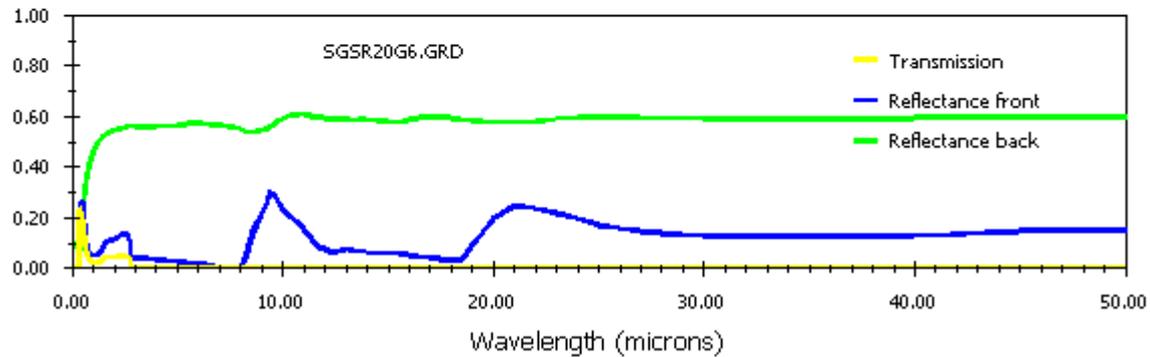
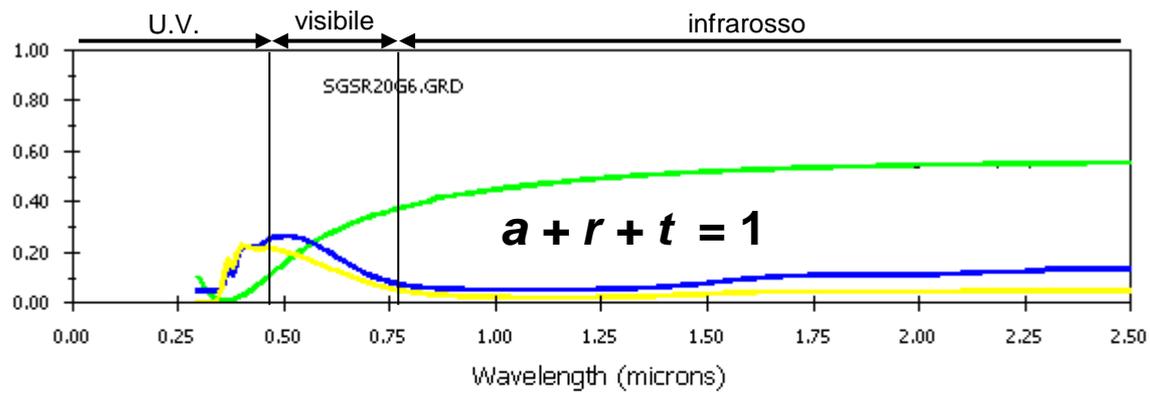


**Vetro chiaro da 6 mm con coating magnetronico per il controllo solare**

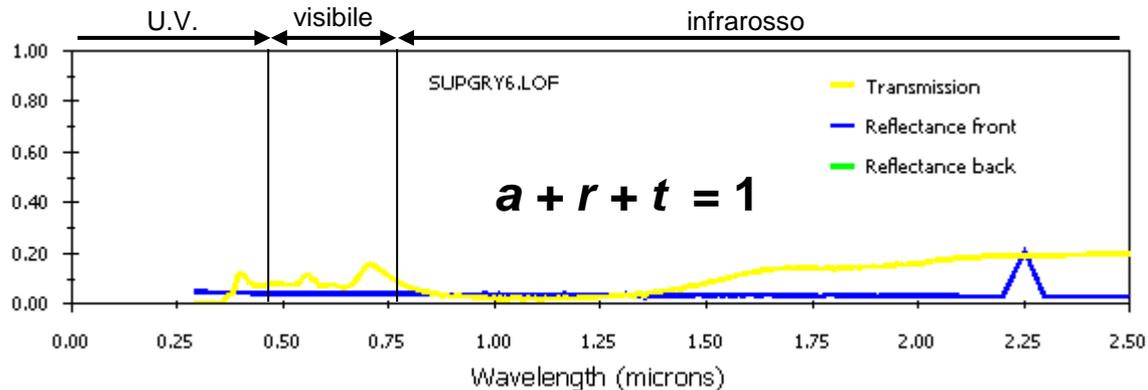


**Vetro chiaro da 6 mm riflettente pirolitico per il controllo solare**





### Vetro verde da 6 mm bassoemissivo argentato per il controllo solare



### Vetro super-bronzato da 6 mm





## VETRATE SPECIALI UN'APPLICAZIONE PER LA NAUTICA



## VETRATE SPECIALI

Qualora se ne dimostri la non convenienza in termini tecnico-economici, gli schermi solari possono essere omessi in presenza di superfici vetrate con **fattore solare (UNI EN 410) minore o uguale a 0,5**. Tale valutazione deve essere evidenziata nella relazione tecnica (DPR n. 59/09).

### Vetri per il controllo solare

Vetro (sigla)	$t$ solare	$r_f$ solare	$r_b$ solare	$t$ visibile	$r_f$ visibile	$r_b$ visibile	$e_f$	$e_b$
<b>magnetronico</b> (HPNU61E6)	0,427	0,324	0,344	0,673	0,183	0,096	0,840	0,068
<b>magnetronico</b> (stopray safir)	0,323	0,339	0,474	0,676	0,109	0,129	0,840	0,037
<b>pirolitico</b> (sunergy clr6)	0,517	0,105	0,094	0,677	0,101	0,086	0,298	0,840
<b>pirolitico</b> (ecladvclr6)	0,580	0,227	0,186	0,665	0,285	0,254	0,209	0,840
<b>verde</b> con coating (SGSR20)	0,089	0,129	0,341	0,169	0,235	0,227	0,840	0,406
<b>verde</b> (Green_60)	0,443	0,055	0,054	0,757	0,071	0,070	0,840	0,840
<b>blu</b> (ArticBlue6m)	0,328	0,049	0,049	0,526	0,057	0,057	0,840	0,840
<b>bronzato</b> (BRONZ6)	0,553	0,056	0,056	0,594	0,058	0,058	0,840	0,840
<b>super bronzato</b> (SUPGRY6)	0,076	0,038	0,038	0,085	0,040	0,040	0,840	0,840



# TRASMITTANZA DELLE VETRATE

vetro	trattamento	dimensioni [mm]	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]			
			Aria	Argon	krypton	
monolitico	non trattato, $e @0,89$	4	5,8			
		6 ÷ 8	5,7			
		10	5,6			
	medio emissivo, $e < 0,4$	6 ÷ 8	4,3			
vetrocamera con doppio vetro	non trattato $e @0,89$	4-6-4		3,3	3,0	2,8
		4-9-4		3,0	2,8	2,6
		4-12-4		2,9	2,7	2,6
		4-15-4		2,7	2,6	2,6
		4-20-4		2,7	2,6	2,6
	medio emissivo $e < 0,4$	4-6-4		2,9	2,6	2,2
		4-9-4		2,6	2,3	2,0
		4-12-4		2,4	2,1	2,0
		4-15-4		2,2	2,0	2,0
		4-20-4		2,2	2,0	2,0
	bassoemissivo $e < 0,2$	4-6-4		2,7	2,3	1,9
		4-9-4		2,3	2,0	1,6
		4-12-4		1,9	1,7	1,5
		4-15-4		1,8	1,6	1,6
		4-20-4		1,8	1,7	1,6
	bassoemissivo $e < 0,05$	4-6-4		2,5	2,1	1,5
		4-9-4		2,0	1,6	1,4
		4-12-4		1,7	1,3	1,1
		4-15-4		1,5	1,2	1,1
		4-20-4		1,5	1,2	1,2

## TELAI PER FINESTRA

**Telai in legno** – hanno buone caratteristiche energetiche essendo il legno un discreto isolante

Larghezza del telaio [mm]	$U_f$ [W/m <sup>2</sup> K]
30	2,2
50	1,9
100	1,4

Telaio	$U_f$ [W/m <sup>2</sup> K]
con taglio termico	3,0 ÷ 3,7
senza taglio termico	7

**Telai in alluminio** – è un metallo e dunque un ottimo conduttore termico. Per mitigare ciò è spesso necessario un taglio termico di materiale sintetico

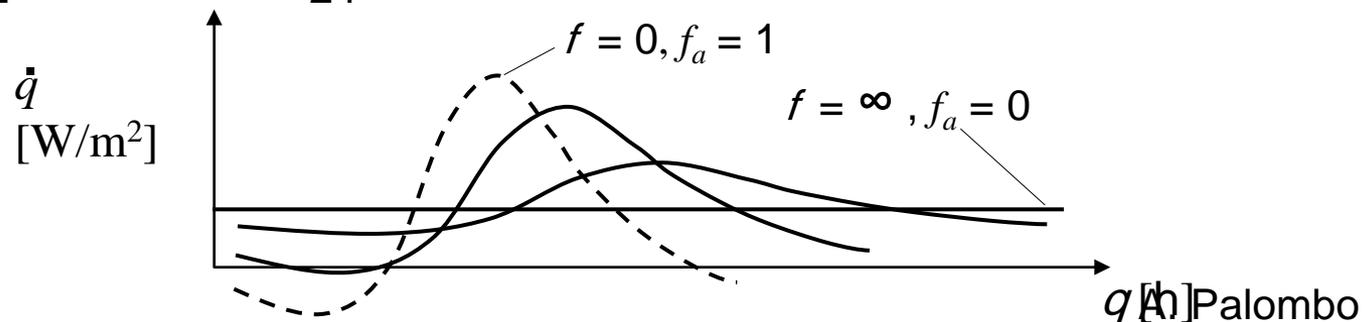
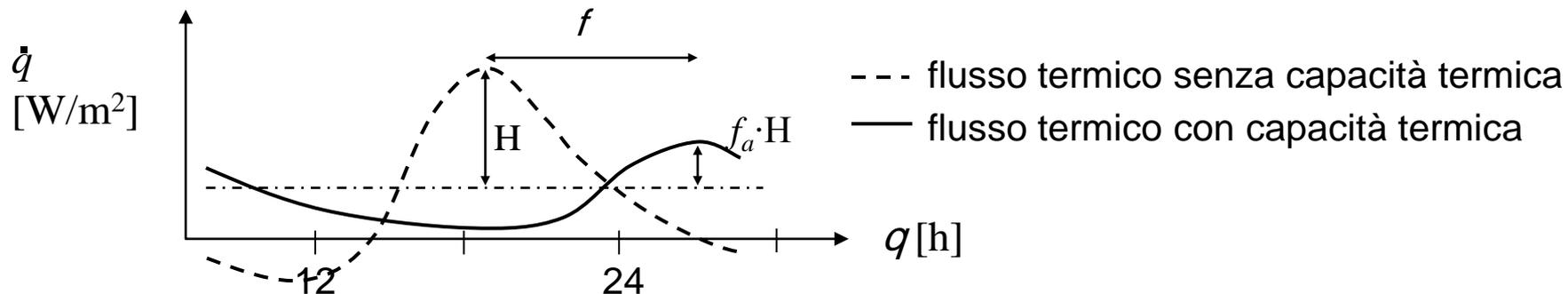
### TIPICHE TRASMITTANZE DELLE FINESTRE

Vetro	Spessore intercapedine con aria [mm]	Telaio	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]
monolitico	-	legno	5,0
		metallo	5,8
vetrocamera con doppio vetro	4,5 ÷ 7,0	legno	3,3
		metallo	4,7
	7,0 ÷ 10	legno	3,0
		metallo	3,9
	10 ÷ 14	legno	2,4 ÷ 2,6
		alluminio senza taglio termico	3,8 ÷ 4,6
		alluminio con taglio termico	2,9 ÷ 3,2
		alluminio-legno	2,5

## STAGIONE ESTIVA - INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE (DPR n. 59/09)

**Inerzia termica** - Verificare (ad esclusione della zona F) per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione  $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$  che:

- la **massa superficiale** ( $m_s$ ) delle pareti **opache verticali** sia **maggiore di  $230 \text{ kg/m}^2$**  oppure che il **valore del modulo della trasmittanza termica periodica**  $Y_{IE}$  (capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786, 2008) **sia inferiore a  $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$**
- per tutte le **pareti opache orizzontali ed inclinate** che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$  **sia inferiore a  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$**



## STAGIONE ESTIVA - INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE (DPR 59/09)

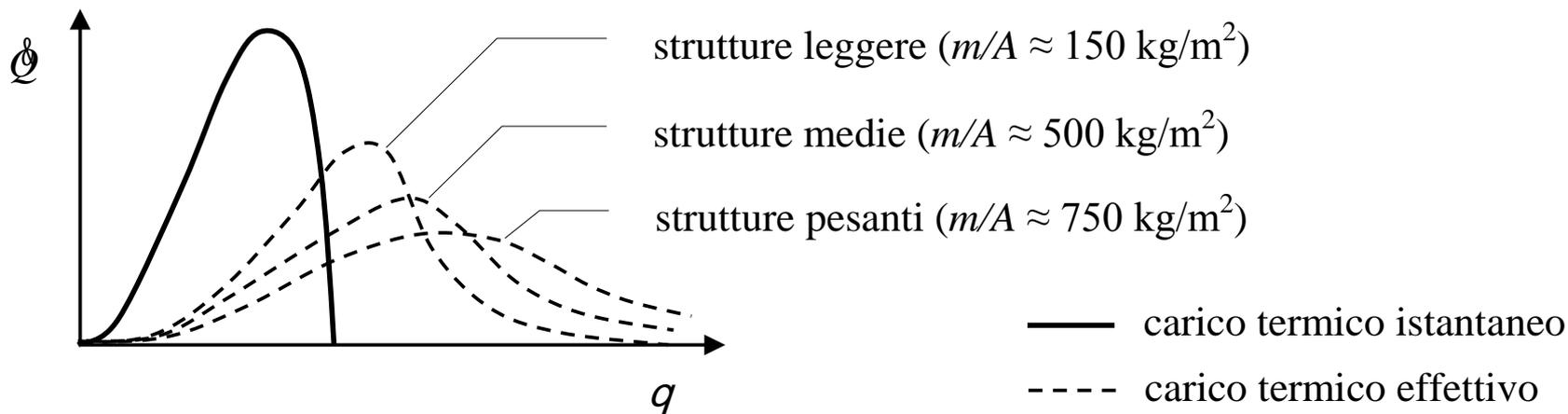
In base alla norma UNI 10375 (1995) *Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti* il flusso termico effettivo per trasmissione attraverso una parete opaca è:

$$\dot{Q} / A = U(T_{e,m} - T_i) + f_a U(T_{e,q-f} - T_{e,m}) \quad [\text{W/m}^2]$$

Dove:  $T_i$  è la temperatura dell'aria interna,  $T_{e,m}$  è la temperatura sole-aria media giornaliera,  $T_{e,q-f}$  è la temperatura sole-aria all'ora  $q-f$ ,  $U$  è la trasmittanza della parete opaca,  $f$  [h] è lo **sfasamento temporale dell'onda** ed  $f_a$  [-] è il suo **fattore di attenuazione**.

In particolare  $f$  rappresenta il **ritardo, espresso in ore**, tra l'istante in cui si presenta la massima temperatura sole-aria esterna (e quindi la massima sollecitazione termica sulla parete esterna dell'edificio) e quello in cui si registra la massima temperatura sulla superficie interna (e quindi il massimo flusso termico sull'ambiente interno)

# STAGIONE ESTIVA - INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE (DPR 59/09)



blocco da 38 cm:  
 $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $m_s = 360 \text{ kg/m}^2$



## STAGIONE ESTIVA - INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE (DPR 59/09)

Per il calcolo di  $f_a$  e  $f$  dei materiali che compongono le pareti degli edifici è necessario risolvere la legge della diffusione dell'energia termica che regola la distribuzione della temperatura all'interno di un materiale

Per uno strato di materiale omogeneo soggetto ad un flusso termico monodimensionale è:

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

$$a = \lambda / \rho c$$

$a$  = diffusività termica dei materiali: proprietà del materiale che caratterizza la velocità di propagazione del flusso termico conduttivo causato dalla variazione nel tempo della temperatura

## STAGIONE ESTIVA - INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE (DPR 59/09)

Al fine di **ridurre i carichi termici estivi** bisognerebbe che:

- lo sfasamento delle pareti di copertura sia compreso tra 10 e 12 ore
- lo sfasamento delle pareti perimetrali opache sia non minore di 9 ore (10 ore per i climi estivi più impegnativi)
- il fattore di attenuazione sia intorno a 0,15

Pareti verticali con isolamento concentrato - UNI 10375/95

<b>Tipo di parete</b>	<b>Posizione isolamento</b>	$f_a$ [-]	$f$ [h]
Muratura portante con isolamento concentrato	interno	0,28	11
	intermedio	0,22	11
	esterno	0,20	11
Muratura non portante con isolamento concentrato	interno	0,48	8
	intermedio	0,40	8
	esterno	0,20	8
Pareti di tamponamento	prefabbricate multistrato con spessore isolante 6 cm	0,75	4
	finestrate	1,0	0

## INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE

$U$ [W/m <sup>2</sup> K]	$m_s$ [kg/m <sup>2</sup> ]											
	150		200		250		300		350		400	
	$f_a$ [-]	$f$ [h]	$f_a$ [-]	$f$ [h]	$f_a$ [-]	$f$ [h]	$f_a$ [-]	$f$ [h]	$f_a$ [-]	$f$ [h]	$f_a$ [-]	$f$ [h]
<b>&lt; 0,4</b>	0,45	6	0,35	8	0,25	10	0,15	12	0,10	14	0,07	16
<b>0,4 , 0,6</b>	0,48	6	0,40	8	0,30	9	0,20	10	0,15	12	0,12	14
<b>0,6 , 0,8</b>	0,54	6	0,46	8	0,35	9	0,27	10	0,20	12	0,14	14
<b>&gt; 0,8</b>	0,60	6	0,50	8	0,43	9	0,27	10	0,20	12	0,14	14

$M_s$  è ottenuta dalla somma dei prodotti delle densità dei singoli strati per i rispettivi spessori

### Pareti verticali con isolamento ripartito - UNI 10375/95

Tipo di solaio	Isolamento	$f_a$ [-]	$f$ [h]
Terrazza esterna con isolamento concentrato	calpestabile	0,21	10
	non calpestabile	0,35	6
Solaio di sottotetto	solaio isolato e tetto non isolato	0,35	8
	solaio non isolato e tetto isolato	0,28	8
Solaio in legno con isolamento	spessore isolante 5 cm	0,94	3
	spessore isolante 6 cm	0,93	3

### Coperture - UNI 10375/95

# INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE

## Parete in struttura leggera

### Napoli

$$U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$m_s = 145 \text{ kg/m}^2$$

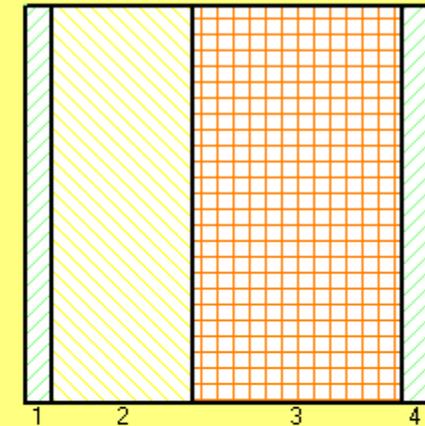
$$f_a = 0,56$$

$$f = 5 \text{ h}, 49 \text{ min}$$

$$Y_{IE} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Gemavap

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	MassaSup [kg/m²]	Resistenz [m²K/W]	Spess. Equiv. Aria
		Superficie esterna			0.0400	
1	INT	Malta di cemento	0.015	30.00	0.0107	0.450
2	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per	0.080	2.40	2.0513	6.400
3	MUR	Laterizi forati sp.12 cm.rif.1.1.21	0.120	86.00	0.3100	0.600
4	INT	Malta di calce o di calce e cemento	0.015	27.00	0.0167	0.300
		Superficie interna			0.1300	



#### Dati generali

Spessore totale	0.230	m
Massa superficiale	145.40	kg/m²
Massa superficiale secondo DLgs 311	88.40	kg/m²
Resistenza totale	2.5587	m²K/W
Trasmittanza	0.3908	W/m²K

DLgs 311	Trasmittanza limite[W/m²K]	Finanziaria 2008	Trasmittanza limite[W/m²K]
dal 2008	0.46	fino al 2009	0.40
dal 2010	0.40	dal 2010	0.36

#### Parametri dinamici

$Y_{ie}$	trasmittanza periodica	0.2162	W/m²K
$f_a$	fattore di attenuazione	0.5594	
$\phi$	coefficiente di sfasamento	5h 49'	Trasmittanza periodica

# INERZIA TERMICA DELLE STRUTTURE OPACHE

## Parete in struttura pesante

### Napoli

$$U = 0,39 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$ms = 477 \text{ kg/m}^2$$

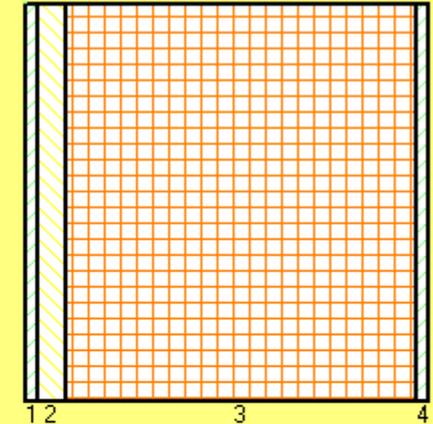
$$f_a = 0,033$$

$$f = 18 \text{ h, } 38 \text{ min}$$

$$Y_{IE} = 0,0129 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Gemavap

	Tipo di materiale	Materiale	Spessore [m]	MassaSup [kg/m²]	Resistenz [m²K/W]	Spess. Equiv. Aria
		Superficie esterna			0.0400	
1	INT	Malta di cemento	0.015	30.00	0.0107	0.450
2	ISO	Polistirene espanso in lastre stampate per	0.035	1.05	0.8974	2.800
3	MUR	Laterizi alveolati sp.45 cm.rif.1.1.10	0.450	419.00	1.4400	15.750
4	INT	Malta di calce o di calce e cemento	0.015	27.00	0.0167	0.300
		Superficie interna			0.1300	



#### Dati generali

Spessore totale	0.515	m	DLgs 311	Trasmittanza limite[W/m²K]	Finanziaria 2008	Trasmittanza limite[W/m²K]
Massa superficiale	477.05	kg/m²	dal 2008	0.46	fino al 2009	0.40
Massa superficiale secondo DLgs 311	420.05	kg/m²	dal 2010	0.40	dal 2010	0.36
Resistenza totale	2.5348	m²K/W				
Trasmittanza	0.3945	W/m²K				

#### Parametri dinamici

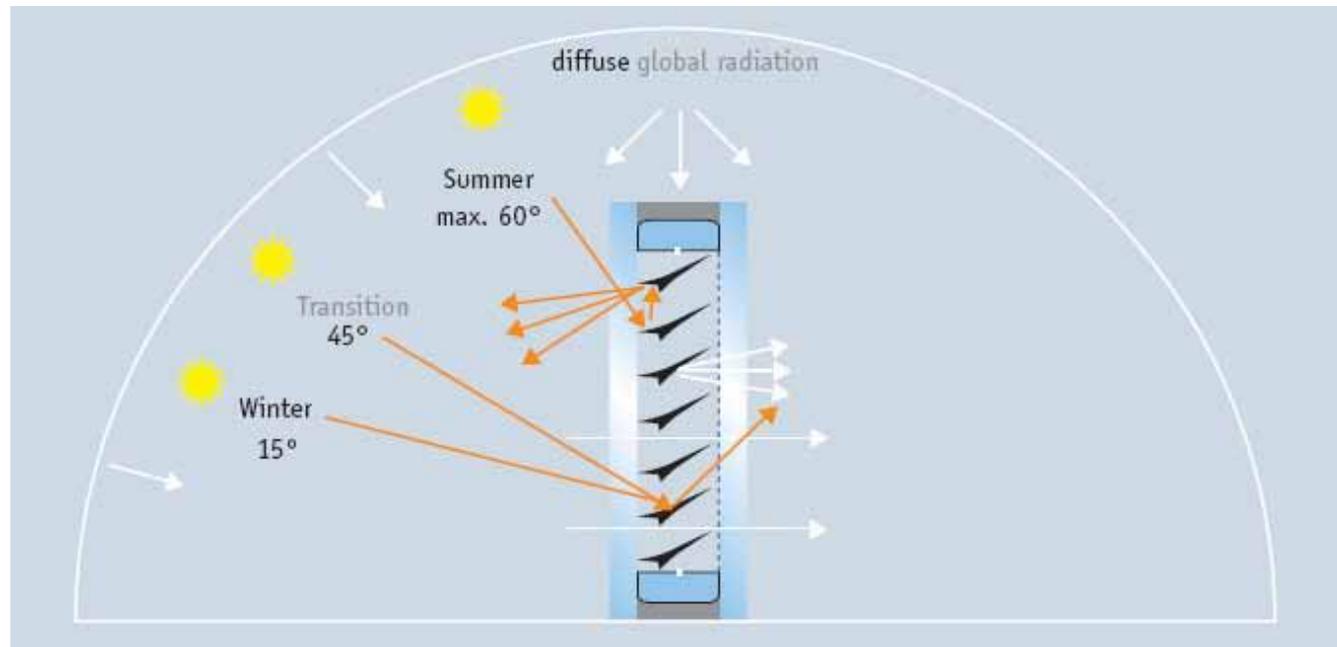
$Y_{ie}$	trasmittanza periodica	0.0129	W/m²K
$f_a$	fattore di attenuazione	0.0331	
$\phi$	coefficiente di sfasamento	18h 38'	Trasmittanza periodica

# SCHERMI SOLARI

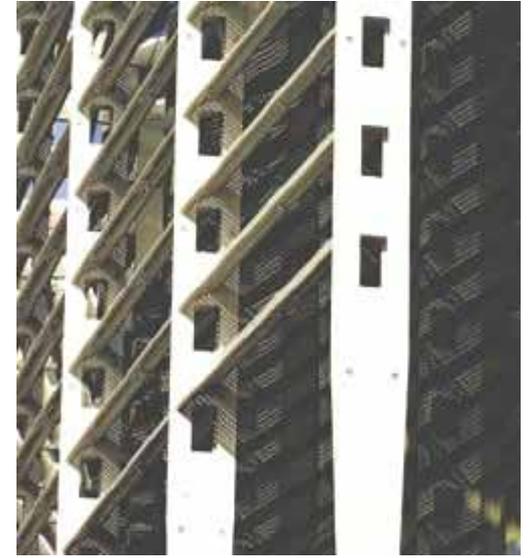
## D.Lgs. n. 311/06 (all. I, comma 9, 10) e s.m.i :

per nuove costruzioni o significative ristrutturazioni o ampliamenti di tutte le tipologie d'edificio (tranne residenziale, alberghi, edifici sportivi e industrie) con superficie utile maggiore di 1000 m<sup>2</sup> è obbligatoria la presenza di sistemi schermanti esterni

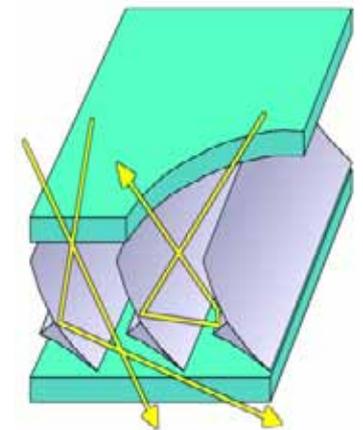
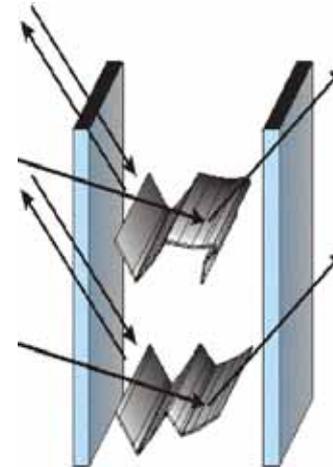
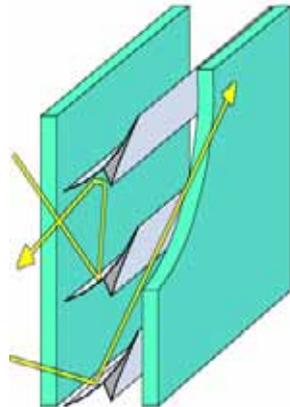
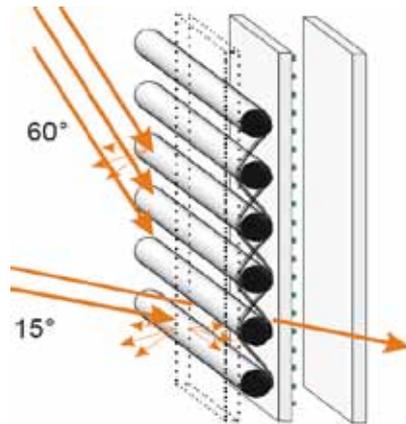
Per il residenziale e gli alberghi verificare che siano presenti efficaci elementi di schermatura delle superfici vetrate



# SCHERMI SOLARI ESTERNI



# SCHERMI SOLARI



Vetrocamere con lamelle fisse o orientabili



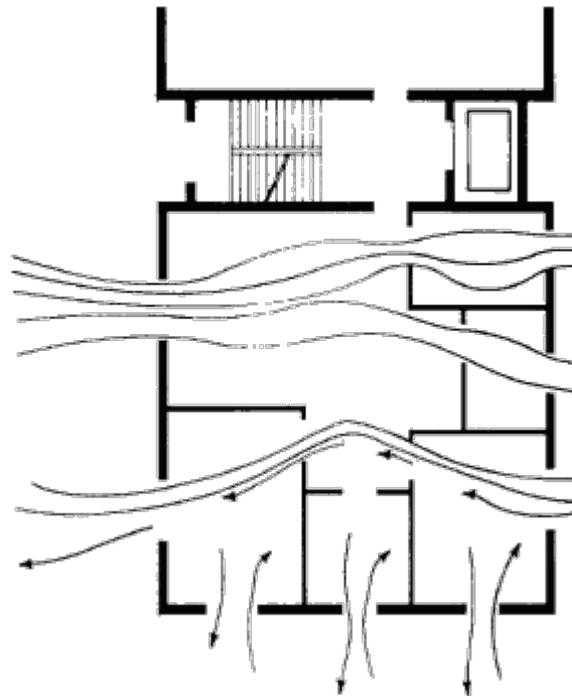
## SCHERMI SOLARI FOTOVOLTAICI



## VENTILAZIONE NATURALE

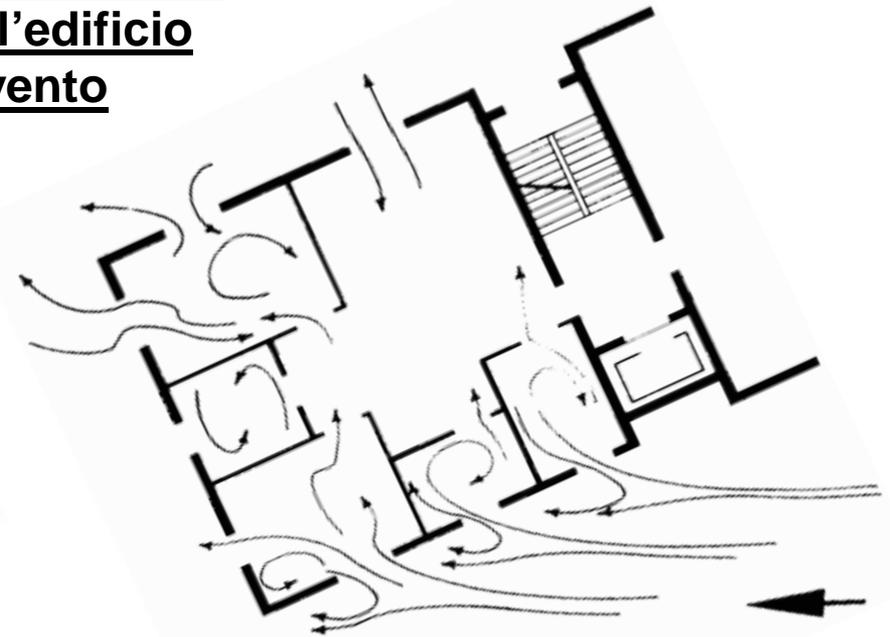
### D.Lgs. n. 311/06 (all. I, comma 9) e s.m.i :

per nuove costruzioni o significative ristrutturazioni o ampliamenti di tutte le tipologie d'edificio (tranne edifici sportivi e industrie) verificare che siano sfruttate al meglio le **condizioni ambientali esterne** e le caratteristiche distributive dell'edificio per ottimizzare la ventilazione naturale



Ottima ventilazione naturale

### Disposizione dell'edificio al vento



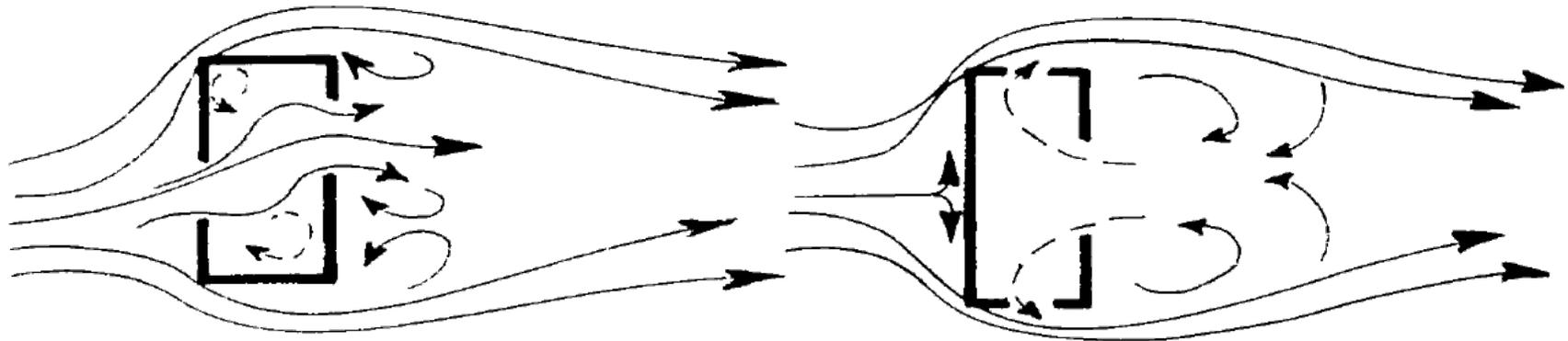
Non ottima ventilazione naturale

## VENTILAZIONE NATURALE

### D.Lgs. n. 311/06 (all. I, comma 9) e s.m.i :

per nuove costruzioni o significative ristrutturazioni o ampliamenti di tutte le tipologie d'edificio (tranne edifici sportivi e industrie) verificare che siano sfruttate al meglio le condizioni ambientali esterne e le **caratteristiche distributive dell'edificio** per ottimizzare la ventilazione naturale

### Disposizione delle aperture dell'edificio



Ottima ventilazione  
naturale

Non ottima ventilazione  
naturale

# SOVRACCOSTI INIZIALI PER IL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA DELL'EDIFICIO

