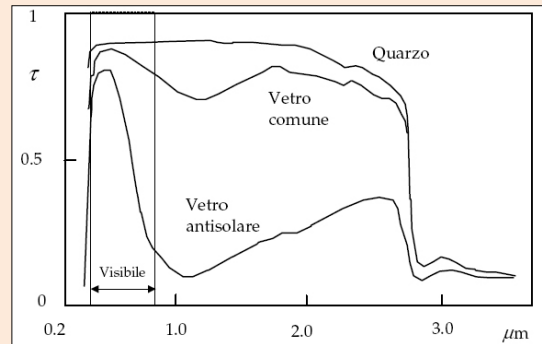


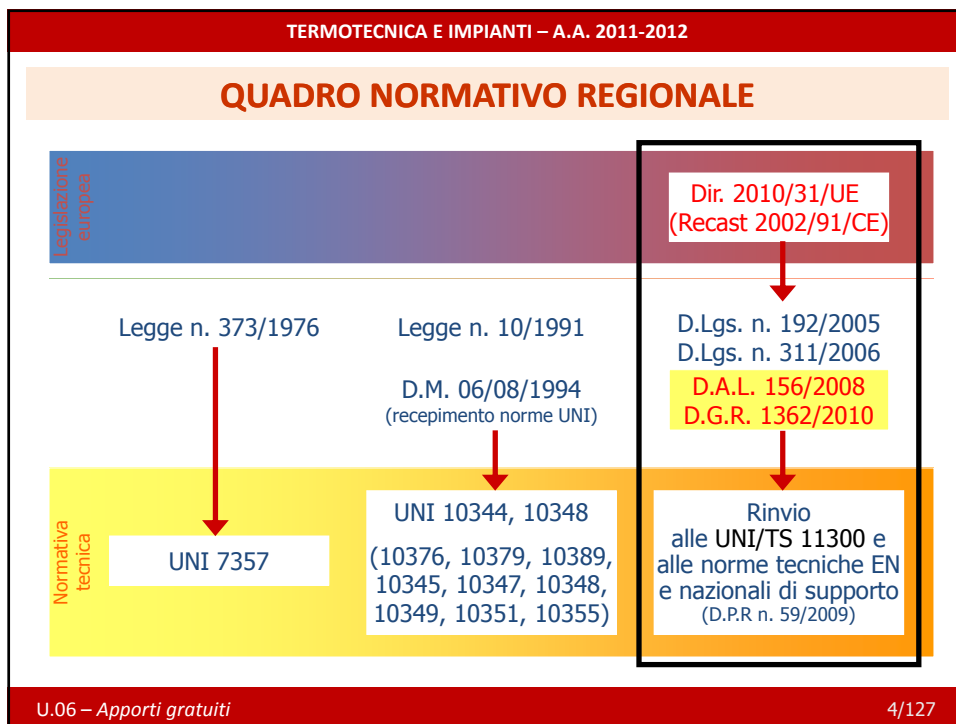
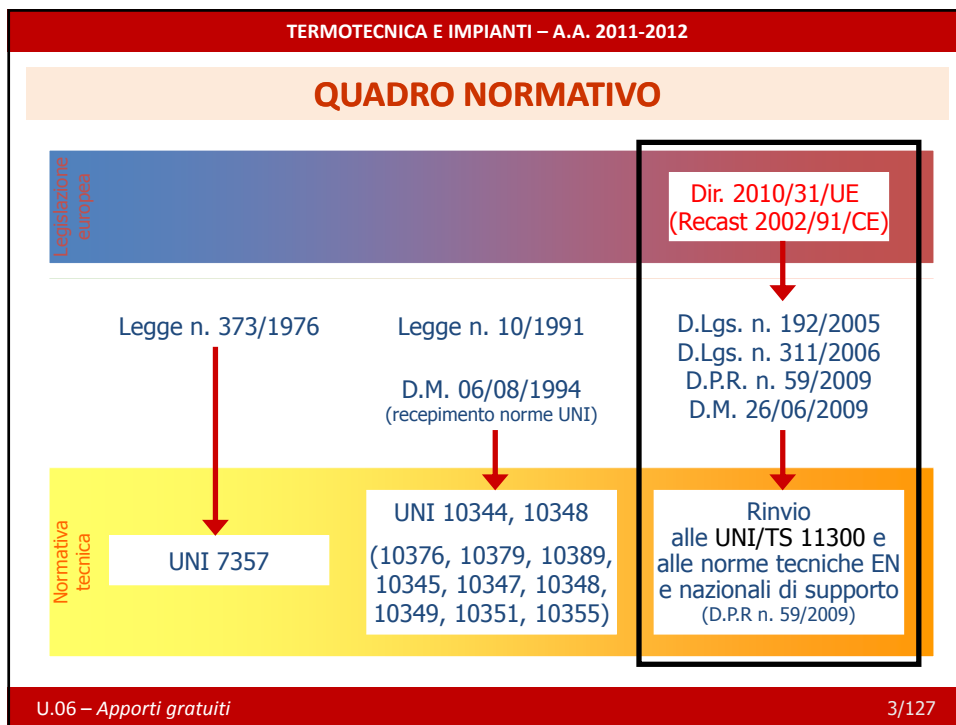
**TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011/2012****U.06 – Apporti gratuiti**

1/127

**TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012****QUADRO NORMATIVO  
GENERALE**

U.06 – Apporti gratuiti

2/127



**EDIFICI A ENERGIA QUASI ZERO (DIRETTIVA 2010/31/UE )****Articolo 9 – Edifici a energia quasi zero**

1. Gli Stati membri provvedono affinché:
  - a) entro il 31 dicembre 2020 **tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero**; e
  - b) a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.

**Articolo 2 – Definizioni**

- 2) «**edificio a energia quasi zero**»: edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze;

**INDICATORI DI PRESTAZIONE (D.Lgs. 192/2005 e s.m.i.)****Allegato A – Ulteriori definizioni**

[...]

- 17. indice di prestazione energetica EP** esprime il consumo di energia primaria totale riferito all'unità di superficie utile o di volume lordo, espresso rispettivamente in kWh/(m<sup>2</sup>anno) o kWh/(m<sup>3</sup>anno).

$$EP = \frac{Q_p}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP = \frac{Q_p}{V}$$

[...]

- 37. superficie utile** è la superficie netta calpestabile di un edificio.

**Allegato C – Requisiti energetici degli edifici**

[...]

- $V$  è il **volume lordo**, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

## INDICATORI DI PRESTAZIONE (D.A.L. 156/2008)

### Allegato 9 – Sistema di classificazione

Tab. 12.1 Classi di prestazione energetica: edifici di **classe E.1** esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme (kWh/m<sup>2</sup>anno).

<b>A<sup>+</sup></b>	EP <sub>tot</sub> inf 25
<b>A</b>	EP <sub>tot</sub> inf 40
<b>B</b>	40 < EP <sub>tot</sub> < 60
<b>C</b>	60 < EP <sub>tot</sub> < 90
<b>D</b>	90 < EP <sub>tot</sub> < 130
<b>E</b>	130 < EP <sub>tot</sub> < 170
<b>F</b>	170 < EP <sub>tot</sub> < 210
<b>G</b>	EP <sub>tot</sub> > 210

$$EP_{\text{tot}} = EP_i + EP_{\text{acs}} + EP_e + EP_{\text{ill}}$$

## INDICATORI DI PRESTAZIONE E FABBISOGNI INVERNALI

$$EP_i = \frac{\sum_{\text{mese}} q_{H,p}}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP_i = \frac{\sum_{\text{mese}} q_{H,p}}{V}$$

$$q_{H,p} \cong \frac{Q_{H,nd}}{\eta_e \times \eta_{rg} \times \eta_d \times \eta_{gn}} \cong \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{g,H}}$$

Soluzione tecnica	$\eta_e$ (emissione)	$\eta_{rg}$ (regolazione)	$\eta_d$ (distribuzione)	$\eta_{gn}$ (produzione)	$\eta_{g,H}$ (globale)
Convenzionale a radiatori	0.92 (radiatori <sup>1</sup> )	0.97 (clim./amb.)	0.980 (distr. orizz.)	0.92 (*** modulante)	<b>0.80</b>
A condensazione	0.94 (pannelli rad. <sup>2</sup> )	0.95 (clim./amb.)	0.980 (distr. orizz.)	1.01 (condensazione)	<b>0.88</b>
Avanzato (pompa di calore)	0.94 (pannelli rad. <sup>2</sup> )	0.95 (clim./amb.)	0.980 (distr. orizz.)	0.50÷1.50 (varie tecnologie)	<b>0.44÷1.30</b>

Note

<sup>1</sup>parete isolata

<sup>2</sup>pannelli non disaccoppiati termicamente dalle strutture

### FABBISOGNO TERMICO INVERNALE

Il **fabbisogno di energia termica per riscaldamento**, cioè la quantità di calore [kWh] che deve essere fornita ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo, si calcola come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} \equiv (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol})$$

ove

$Q_{H,nd}$  fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento [kWh/periodo]

$Q_{H,ht}$  energia termica totale scambiata nel periodo di calcolo, somma degli scambi termici per trasmissione e per ventilazione

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$$

$Q_{gn}$  apporti termici gratuiti totali, somma degli apporti interni e solari

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}$$

$\eta_{H,gn}$  fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti, dipendente dall'inerzia termica dell'edificio e dal rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni

### INDICATORI DI PRESTAZIONE E FABBISOGNI ESTIVI

$$EP_e = \frac{\sum_{\text{mese}} Q_{C,p}}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP_e = \frac{\sum_{\text{mese}} Q_{C,p}}{V}$$

Il **fabbisogno di energia primaria** per la climatizzazione estiva si calcola come:

$$Q_{C,p} = \sum_{\text{mese}} \left[ Q_{aux} \times f_{p,el} + \sum_x \frac{Q_{Cr,x} + Q_{v,x}}{\eta_{mm,x}} \times f_{p,x} \right]$$

ove

$Q_{aux}$  **fabbisogno di energia elettrica per ausiliari** degli impianti di [kWh<sub>el</sub>]

$Q_{Cr,x}$  **fabbisogno effettivo per raffrescamento** [kWh]

$Q_{v,x}$  **fabbisogno per trattamenti dell'aria** [kWh]

$\eta_{mm,x}$  **coefficiente di prestazione medio mensile** del sistema di produzione dell'energia frigorifera

$f_{p,el}$  **fattore di conversione in energia primaria dell'energia elettrica (AEEG)**

$f_{p,x}$  **fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico x-esimo**

$x$  **indice del vettore energetico x-esimo utilizzato e del relativo generatore**

### FABBISOGNO TERMICO ESTIVO

Il **fabbisogno di energia termica per raffrescamento**, cioè la quantità di calore che deve essere sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo, si calcola come:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{C,ht} \equiv (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \times (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

ove

$Q_{C,nd}$  fabbisogno ideale di energia termica per raffrescamento [kWh/periodo]

$Q_{C,ht}$  energia termica totale scambiata nel periodo di calcolo, somma degli scambi termici per trasmissione e per ventilazione

$$Q_{C,ht} = Q_{C,tr} + Q_{C,ve}$$

$Q_{gn}$  apporti termici gratuiti totali, somma degli apporti interni e solari

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}$$

$\eta_{C,ls}$  fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche, dipendente dall'inerzia termica dell'edificio e dal rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni

### DURATA PERIODO RAFFRESCAMENTO

La stagione di raffrescamento è il periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura interna non superiore a quella di progetto, ovvero il periodo durante il quale gli apporti gratuiti superano le dispersioni:

$$\theta_{e,day} > \theta_{i,set,C} - \frac{Q_{gn,day}}{H \times t_{day}} \Leftrightarrow Q_{gn,day} > H \times (\theta_{i,set,C} - \theta_{e,day}) \times t_{day}$$

ove

$\theta_{e,day}$  temperatura esterna media giornaliera [°C]

$\theta_{i,set,C}$  **temperatura interna di regolazione per il raffrescamento** [°C]

$Q_{gn,day}$  apporti interni e solari medi giornalieri [kWh]

$H$  coefficiente globale di cambio termico dell'edificio, pari alla somma dei coefficienti globali di scambio per trasmissione e ventilazione [kW/K]

$t_{day}$  è la durata del giorno [h]

I **giorni limite del periodo di raffrescamento**, in cui  $\theta_{e,day}$  è uguale al secondo membro della disequazione, si determinano interpolando linearmente i valori di temperatura medi mensili della UNI 10349 attribuiti al 15° giorno di ogni mese.

## TEMPERATURA INTERNA DI REGOLAZIONE

### CLIMATIZZAZIONE INVERNALE (RISCALDAMENTO)

Per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1), E.6(2) e E.8, si assume una temperatura interna costante pari a **20°C**.

Per gli edifici di categoria E.6(1) (piscine e saune) si assume una temperatura interna costante pari a **28°C**.

Per gli edifici di categoria E.6(2) (palestre) e E.8 (edifici industriali ed artigianali) si assume una temperatura interna costante pari a **18°C**.

### CLIMATIZZAZIONE ESTIVA (RAFFRESCAMENTO)

Per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1) e E.6(2) si assume una temperatura interna costante pari a **26°C**.

Per gli edifici di categoria E.6(1) (piscine e saune) si assume una temperatura interna costante pari a **28°C**.

Per gli edifici di categoria E.6(2) (palestre) si assume una temperatura interna costante pari a **24°C**.

## FABBISOGNO EFFETTIVO PER RAFFRESCAMENTO

$$Q_{C,p} = \sum_{\text{mese}} \left[ Q_{\text{aux}} \times f_{p,el} + \sum_x \frac{Q_{Cr,x} + Q_{v,x}}{\eta_{mm,x}} \times f_{p,x} \right]$$

Il **fabbisogno effettivo per raffrescamento** nel mese è dato dalla relazione:

$$Q_{Cr} = Q_{C,nd} + Q_{l,e} + Q_{l,rg} + Q_{l,d} + Q_{l,d,s} - Q_{rr}$$

ove

- $Q_{C,nd}$  **fabbisogno ideale dell'edificio** (secondo UNI/TS 11300-1) [kWh]
- $Q_{l,e}$  perdite totali di **emissione** [kWh]
- $Q_{l,rg}$  perdite totali di **regolazione** [kWh]
- $Q_{l,d}$  perdite totali di **distribuzione** [kWh]
- $Q_{l,d,s}$  perdite totali dei **serbatoi di accumulo** inerziale [kWh]
- $Q_{rr}$  energia termica recuperata [kWh]

Qualora sia presente un'unità di trattamento aria, nella formula per il calcolo del fabbisogno ideale dell'edificio si pongono nulle le dispersioni per ventilazione  $Q_{C,ve}$  (che sono incluse in  $Q_v$ ):

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{C,ht} \equiv (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \times (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

## TRATTAMENTI DELL'ARIA

$$Q_{c,p} = \sum_{\text{mese}} \left[ Q_{\text{aux}} \times f_{p,el} + \sum_x \frac{Q_{cr,x} + Q_{v,x}}{\eta_{mm,x}} \times f_{p,x} \right]$$

I **fabbisogni per trattamento dell'aria** (con riferimento alla configurazione classica di un'unità di trattamento aria a tre batterie con umidificazione di tipo adiabatico ed assumendo per le condizioni dell'ambiente interno una temperatura di 26°C e 50% di umidità relativa nel funzionamento estivo) si calcolano per ogni mese con la formula:

$$Q_v = Q_{v,m,h} \times q \times h$$

ove

$Q_{v,m,h}$  fabbisogno specifico orario medio per trattamento dell'aria [kJ/kg]

$q$  portata dell'aria di ventilazione, ricavata dalla UNI/TS 11300-1 [kg/s]

$h$  numero di ore del mese [h]

Il fabbisogno specifico orario medio per trattamento dell'aria si calcola come:

$$Q_{v,m,h} = 1.3615 \times H - 58.54$$

ove

$H$  entalpia dell'aria esterna per il mese in esame [kJ/kg]

## INDICATORI DI PRESTAZIONE ESTIVA (D.P.R. 59/2009)

### Articolo 4

3. Nel caso di **edifici di nuova costruzione** e nei casi di **ristrutturazione di edifici esistenti**, [...] si procede in sede progettuale alla determinazione della **prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio** ( $EP_{e,inv}$ ), pari al rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento dell'edificio, calcolata tenendo conto della temperatura di progetto estiva secondo la norma UNI/TS 11300-1, e la superficie utile, per gli edifici residenziali, o il volume per gli edifici con altre destinazioni d'uso, e alla verifica che la stessa sia **non superiore a**:

- a) per gli **edifici residenziali di cui alla classe E.1** [...]:
  - 1) 40 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
  - 2) 30 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche C, D, E, e F;
- b) per **tutti gli altri edifici** [...]:
  - 1) 14 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
  - 2) 10 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche C, D, E, e F.



### INDICATORI DI PRESTAZIONE ESTIVA (D.P.R. 59/2009)

$$EP_{e,invol} = \frac{\sum_{\text{mese}} Q_{c,nd}}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP_{e,invol} = \frac{\sum_{\text{mese}} Q_{c,nd}}{V}$$

Nel caso di **edifici di nuova costruzione** e nei casi di **ristrutturazione di edifici esistenti**, [...] ( $EP_{e,invol}$ ) [...] **non superiore a:**

- a) per gli **edifici residenziali di cui alla classe E.1** [...]:
  - 1) 40 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
  - 2) 30 kWh/m<sup>2</sup> anno nelle zone climatiche C, D, E, e F;
- b) per **tutti gli altri edifici** [...]:
  - 1) 14 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche A e B;
  - 2) 10 kWh/m<sup>3</sup> anno nelle zone climatiche C, D, E, e F.

### INDICATORI DI PRESTAZIONE E FABBISOGNI PER A.C.S.

$$EP_{acs} = \frac{Q_{w,p}}{S_u}$$

Il **fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria** è dato dalla relazione:

$$Q_{w,p} = \sum_x (Q_{w,h} + Q_{l,w,er} + Q_{l,w,d} + Q_{l,w,s} + Q_{l,w,gn}) \times f_{p,x}$$

ove

$Q_{w,hd}$  **fabbisogno di energia termica per a.c.s.** (secondo UNI/TS 11300-2) [kWh]

$Q_{l,w,er}$  perdite totali di **erogazione** [kWh]

$Q_{l,w,d}$  perdite totali di **distribuzione** [kWh]

$Q_{l,w,s}$  perdite totali di **accumulo** [kWh]

$Q_{l,w,gn}$  perdite totali di **generazione**[kWh]

$f_{p,x}$  **fattore di conversione in energia primaria del vettore energetico x-esimo**

$x$  **indice del vettore energetico x-esimo utilizzato e del relativo generatore**

**FABBISOGNO TERMICO PER A.C.S.**

Il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria è dato dalla relazione:

$$Q_{w,h} = \rho_w \times c_w \times V_w \times (T_{w,er} - T_{w,0}) \times G_w$$

ove

- $Q_{w,h}$  fabbisogno termico per a.c.s. [kWh]  
 $\rho_w$  massa volumica dell'acqua [1 kg/L  $\equiv$  1000 kg/m<sup>3</sup>]  
 $c_w$  calore specifico dell'acqua  
 [convenzionalmente pari a 4183 J/(kg×K)  $\equiv$  1.162 Wh/(kg×K)]  
 $V_w$  volume di a.c.s. richiesto durante il periodo di calcolo [L/G]  
 $T_{w,er}$  temperatura di erogazione [40°C]  
 $T_{w,0}$  temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria [15°C]  
 $G_w$  numero dei giorni del periodo di calcolo [G]

**FABBISOGNO TERMICO PER A.C.S.**

Il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria è dato dalla relazione:

$$Q_{w,h} = \rho_w \times c_w \times V_w \times (T_{w,er} - T_{w,0}) \times G_w$$

Nel caso di abitazioni  $V_w$  è correlato alla superficie utile dell'abitazione  $S_u$  [m<sup>2</sup>]. Il valore del fattore di correlazione  $a$  [L/(G·m<sup>2</sup>)] si ricava dal prospetto. I valori di fabbisogno annuo sono riferiti a  $G_w = 365$  giorni/anno di utilizzo.

Fabbisogni	Calcolo in base al valore di $S_u$ per unità immobiliare [m <sup>2</sup> ]			Valore medio riferito a $S_u = 80$ m <sup>2</sup>
	≤50	51-200	>200	
$a$	1,8	$4,514 \times S_u^{-0,2356}$	1,3	1,6
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [Wh/G m <sup>2</sup> ]	52,3	$131,22 \times S_u^{-0,2356}$	37,7	46,7
Fabbisogno equivalente di energia termica utile [kWh/m <sup>2</sup> anno]	19,09	$47,9 \times S_u^{-0,2356}$	13,8	17,05

## RIEPILOGO

$$EP_i = \frac{\sum_{\text{mese}} q_{H,p}}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP_i = \frac{\sum_{\text{mese}} q_{H,p}}{V}$$

$$q_{H,p} \cong \frac{q_{H,nd}}{\eta_e \times \eta_{rg} \times \eta_d \times \eta_{gn}} \cong \frac{q_{H,nd}}{\eta_{g,H}}$$

$$EP_e = \frac{\sum_{\text{mese}} q_{C,p}}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP_e = \frac{\sum_{\text{mese}} q_{C,p}}{V}$$

$$q_{C,p} = \sum_{\text{mese}} \left[ q_{aux} \times f_{p,el} + \sum_x \frac{q_{Cr,x} + q_{v,x}}{\eta_{mm,x}} \times f_{p,x} \right]$$

$$EP_{acs} = \frac{q_{W,p}}{S_u}$$

In generale, per ottenere un edificio ad energia quasi zero si devono sfruttare in modo estensivo fonti energetiche rinnovabili (e gratuite), oppure si devono limitare notevolmente i fabbisogni termici dell'involucro!

APPORTI  
INTERNI

### FABBISOGNO TERMICO INVERNALE

Il **fabbisogno di energia termica per riscaldamento**, cioè la quantità di calore [kWh] che deve essere fornita ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo, si calcola come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} \equiv (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \times (Q_{int} + Q_{sol})$$

ove

$Q_{H,nd}$  fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento [kWh/periodo]

$Q_{H,ht}$  energia termica totale scambiata nel periodo di calcolo, somma degli scambi termici per trasmissione e per ventilazione

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$$

$Q_{gn}$  apporti termici gratuiti totali, somma degli apporti interni e solari

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}$$

$\eta_{H,gn}$  fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti, dipendente dall'inerzia termica dell'edificio e dal rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni

### FABBISOGNO TERMICO ESTIVO

Il **fabbisogno di energia termica per raffrescamento**, cioè la quantità di calore che deve essere sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo, si calcola come:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{C,ht} \equiv (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \times (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

ove

$Q_{C,nd}$  fabbisogno ideale di energia termica per raffrescamento [kWh/periodo]

$Q_{C,ht}$  energia termica totale scambiata nel periodo di calcolo, somma degli scambi termici per trasmissione e per ventilazione

$$Q_{C,ht} = Q_{C,tr} + Q_{C,ve}$$

$Q_{gn}$  apporti termici gratuiti totali, somma degli apporti interni e solari

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}$$

$\eta_{C,ls}$  fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche, dipendente dall'inerzia termica dell'edificio e dal rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni

## DURATA PERIODO RAFFRESCAMENTO

La stagione di raffrescamento è il periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura interna non superiore a quella di progetto, ovvero il periodo durante il quale gli apporti gratuiti superano le dispersioni:

$$T_{e,day} > T_{i,set,C} - \frac{Q_{gn,day}}{H \times t_{day}} \Leftrightarrow Q_{gn,day} > H \times (T_{i,set,C} - T_{e,day}) \times t_{day}$$

ove

$T_{e,day}$  temperatura esterna media giornaliera [°C]

$T_{i,set,C}$  **temperatura interna di regolazione per il raffrescamento** [°C]

$Q_{gn,day}$  apporti interni e solari medi giornalieri [kWh]

$H$  coefficiente globale di cambio termico dell'edificio, pari alla somma dei coefficienti globali di scambio per trasmissione e ventilazione [kW/K]

$t_{day}$  è la durata del giorno [h]

I giorni limite del periodo di raffrescamento, in cui  $T_{e,day}$  è uguale al secondo membro della disequazione, si determinano interpolando linearmente i valori di temperatura medi mensili della UNI 10349 attribuiti al 15° giorno di ogni mese.

Prospetto VI – Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna															
N°	Sigla Provincia	Località	Altitudine m	GEN. °C	FEB. °C	MAR. °C	APR. °C	MAG. °C	GIU. °C	LUG. °C	AGO. °C	SET. °C	OTT. °C	NOV. °C	DIC. °C
1	AG	Agrirento	230	10,4	10,8	12,7	15,6	19,4	24,1	26,9	26,5	24,0	19,9	15,9	12,2
2	AL	Alessandria	95	0,0	2,8	8,1	13,1	17,3	22,0	24,7	23,6	19,9	13,1	6,9	1,9
3	AN	Ancona	16	6,3	7,1	9,9	13,4	17,0	21,8	24,4	24,1	21,3	16,5	12,1	7,8
4	AO	Aosta	583	-0,3	2,6	6,7	11,0	14,7	18,7	20,5	19,4	15,9	10,3	4,8	0,8
5	AP	Ascoli Piceno	154	5,5	6,6	9,5	13,3	17,2	21,7	24,4	24,3	21,1	15,8	10,9	7,0
6	AQ	L'Aquila	714	2,0	3,6	7,1	11,4	15,0	19,1	22,0	21,8	18,6	13,1	8,2	3,8
7	AR	Arezzo	246	5,1	5,9	9,2	12,6	16,4	20,9	24,0	23,4	20,3	15,0	10,2	6,1
8	AT	Asti	123	-0,4	2,7	7,9	13,0	17,0	21,6	24,2	22,9	18,9	12,7	6,1	1,3
9	AV	Avellino	348	5,5	6,5	8,8	12,4	16,0	20,3	23,1	22,6	19,6	14,8	10,4	6,8
10	BA	Bari	5	8,6	9,2	11,1	14,2	18,0	22,3	24,7	24,5	22,0	17,9	14,0	10,2
11	BG	Bergamo	249	3,1	4,9	8,9	13,3	17,0	21,3	23,7	23,2	19,9	14,2	8,6	4,5
12	BL	Belluno	383	0,1	2,3	6,8	11,2	14,9	18,9	21,2	20,8	17,7	12,4	6,5	1,7
13	BN	Benevento	135	6,8	7,7	10,3	13,7	17,5	22,1	24,8	24,3	21,4	16,5	12,1	8,0
14	BO	Bologna	54	2,1	4,6	9,4	14,2	18,2	22,9	25,4	24,9	21,2	14,9	8,7	4,0
15	BR	Brindisi	15	9,3	9,6	11,4	14,2	18,0	22,0	24,5	24,5	22,1	18,3	14,4	10,9
16	BS	Brescia	149	1,5	4,2	9,3	13,5	17,7	22,0	24,4	23,7	19,9	14,0	7,8	3,5
17	BZ	Boziano	262	1,2	4,2	9,0	13,4	16,9	21,0	22,7	22,0	18,8	12,9	6,7	2,2
18	CA	Cagliari	4	10,3	10,8	12,8	15,1	18,4	22,9	25,5	25,5	23,3	19,4	15,5	11,7
19	CB	Campobasso	701	3,7	4,8	7,3	11,1	14,8	19,6	22,5	22,2	18,9	13,5	9,0	5,0
20	CE	Caserta	68	8,7	9,4	12,0	15,3	19,1	23,5	26,2	26,1	23,0	18,2	13,9	10,3
21	CH	Chieti	330	5,8	6,8	9,6	13,5	17,2	22,0	24,7	24,3	21,2	15,9	11,3	7,2
22	CL	Caltanissetta	568	7,2	7,8	9,9	13,1	17,3	22,5	25,7	25,2	22,1	17,3	12,8	8,9
23	CN	Cuneo	534	1,1	2,9	6,9	11,3	14,8	19,4	21,9	21,0	17,7	11,7	6,2	2,5
24	CO	Como	201	2,9	5,0	8,8	12,7	16,7	21,1	23,6	23,1	19,6	13,7	8,4	4,4
25	CR	Cremona	45	0,7	3,3	8,4	13,3	17,4	21,9	24,3	23,4	19,7	13,4	7,2	2,5
26	CS	Cosenza	238	8,1	8,8	11,3	14,4	18,1	23,1	26,0	25,8	22,7	17,8	13,4	9,4
27	CT	Catania	7	10,7	11,2	12,9	15,5	19,1	23,5	26,5	26,5	24,1	19,9	15,9	12,3
28	CZ	Catanzaro	320	8,3	8,7	10,4	13,4	17,0	21,7	24,4	24,8	22,3	17,9	13,7	10,1
29	EN	Enna	931	4,5	5,1	7,1	10,7	14,9	20,6	23,9	23,2	19,9	14,5	9,8	6,4
30	FE	Ferrara	9	1,4	3,3	7,8	12,8	17,3	21,6	23,9	23,5	20,1	14,0	8,2	3,2
31	FG	Foggia	76	6,4	7,3	10,0	13,8	17,9	23,2	26,0	25,5	22,1	16,9	12,2	7,9
32	FI	Firenze	40	5,3	6,5	9,9	13,8	17,8	22,2	25,0	24,3	20,9	15,3	10,2	6,3
33	FO	Forlì	34	3,0	4,6	9,0	13,7	17,8	22,6	25,3	24,8	21,1	15,1	9,3	4,4
34	FR	Frosinone	291	5,8	6,2	8,0	11,0	15,2	18,5	21,5	20,9	18,8	13,4	9,2	5,0
35	GE	Genova	19	7,9	8,9	11,6	14,7	17,8	21,9	24,5	24,6	22,3	17,1	12,9	9,3
36	GO	Gorizia	84	4,7	5,6	8,2	11,9	16,7	19,9	22,0	22,2	18,6	13,2	9,2	4,7
37	GR	Grosseto	10	6,8	8,1	10,3	13,2	17,1	21,2	24,1	23,9	21,3	16,4	11,7	8,1

(segue prospetto)

## INTERPOLAZIONE LINEARE

	$GG_M$	$G_{15,M}$	$T_M$
dicembre	31	-16	4.0
gennaio	31	15	2.1
febbraio	28	46	4.6
marzo	31	74	9.4
aprile	30	105	14.2
maggio	31	135	18.2
giugno	30	166	22.9
luglio	31	196	25.4
agosto	31	227	24.9
settembre	30	258	21.2
ottobre	31	288	14.9
novembre	30	319	8.7
dicembre	31	349	4.0
gennaio	31	380	2.1

$$T_{\text{day}}(G_{\text{day}}) = \theta_A + (T_B - T_A) \times \frac{G_{\text{day}} - G_{15,A}}{G_{15,B} - G_{15,A}}$$

$G_{\text{day}}$  giorno di riferimento nell'anno di 365 G

$GG_M$  durata del mese in giorni

$G_{15,M}$  15° giorno del mese nell'anno di 365 G

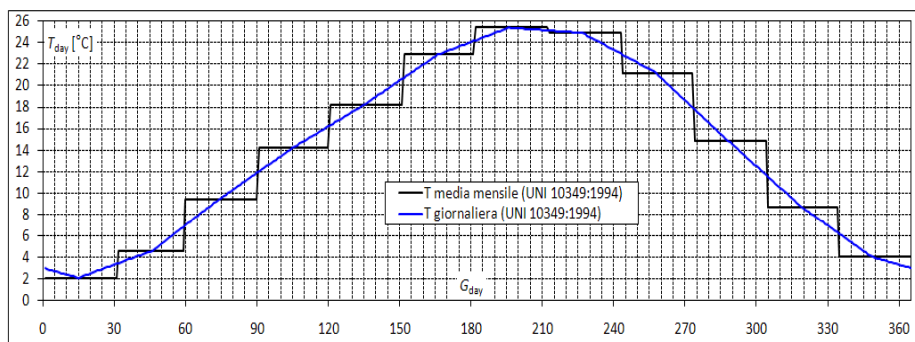
$T_M$  temperatura media mensile

A,B pedici identificativi dei mesi di riferimento per l'interpolazione, tali che:

$$G_{15,A} < G_{\text{day}} < G_{15,B}$$

## INTERPOLAZIONE LINEARE

$$T_{\text{day}}(G_{\text{day}}) = \theta_A + (T_B - T_A) \times \frac{G_{\text{day}} - G_{15,A}}{G_{15,B} - G_{15,A}}$$



(Temperatura esterna, Bologna)

**APPORTI INTERNI (UNI/TS 11300-1)**

Gli apporti (gratuiti) **interni**  $Q_{int}$  si valutano con la formula:

$$Q_{int} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{int,mn,k} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{tr,x}) \times \Phi_{int,mn,x,j} \right] \right\} \times t$$

ove

$Q_{int}$  apporti interni [J/periodo oppure kWh/periodo]

$\Phi_{int,mn,k}$  flusso termico prodotto dalla **k-esima sorgente di calore interna** mediato sul tempo [W oppure kW]

$b_{tr,x}$  **fattore di riduzione** per l'ambiente adiacente non climatizzato x

$\Phi_{int,mn,x,j}$  flusso termico prodotto dalla **j-esima sorgente di calore interna nell'ambiente adiacente non climatizzato x**, mediato sul tempo [W oppure kW]

$t$  durata del periodo considerato (il mese oppure il periodo considerato) [s oppure h]

**APPORTI INTERNI (UNI/TS 11300-1)**

Per gli edifici di categoria E.1 (1) e E.1 (2) (abitazioni), aventi superficie utile di pavimento  $A_f$  minore o uguale a 170 m<sup>2</sup>, il **valore globale degli apporti interni**  $\Phi_{int}$  [W] è ricavato con la formula:

$$\Phi_{int} = 5.294 \times A_f - 0.01557 \times A_f^2$$

Categoria di edificio	Destinazione d'uso	Apporti medi globali
		W/m <sup>2</sup>
E.1 (3)	Edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari	6
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili	6
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili	8
E.4 (1)	Cinema e teatri, sale di riunione per congressi	8
E.4 (2)	Mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto	8
E.4 (3)	Bar, ristoranti, sale da ballo	10
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili	8
E.6 (1)	Piscine, saune e assimilabili	10
E.6 (2)	Palestre e assimilabili	5
E.6 (3)	Servizi di supporto alle attività sportive	4
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili	4
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili	6

Per superficie utile di pavimento superiore a 170 m<sup>2</sup>:

$$\Phi_{int} = 450 \text{ W}$$

Nei casi di valutazione di progetto o di valutazione standard, per gli edifici diversi dalle abitazioni gli apporti termici interni sono espressi, in funzione della destinazione d'uso secondo quanto riportato nel prospetto.

**AMBIENTI NON RISCALDATI (UNI/TS 11300-1)**

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione,  $H_U$ , tra il volume climatizzato e l'ambiente esterno attraverso un ambiente adiacente x non climatizzato si calcola come:

$$H_U = H_{ix} \times b_{tr,x}$$

ove

$b_{tr,x}$  **fattore di correzione dello scambio termico tra ambiente climatizzato e ambiente adiacente non climatizzato**, diverso da 1 nel caso in cui la temperatura del secondo sia diversa da quella dell'ambiente esterno

$H_{ix}$  coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato (per trasmissione e ventilazione) [W/K]

Il fattore di correzione si calcola con la relazione:

$$b_{tr,x} = \frac{H_{xe}}{H_{ix} + H_{xe}}$$

ove

$H_{xe}$  coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno (per trasmissione e ventilazione) [W/K]

**AMBIENTI NON RISCALDATI (UNI/TS 11300-1)**

Per edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori di  $b_{tr,x}$  si possono desumere dal prospetto:

Ambiente confinante	$b_{tr,x}$
<b>Ambiente</b>	
- con una parete esterna	0,4
- senza serramenti esterni e con almeno due pareti esterne	0,5
- con serramenti esterni e con almeno due pareti esterne (per esempio autorimesse)	0,6
- con tre pareti esterne (per esempio vani scala esterni)	0,8
<b>Piano interrato o seminterrato</b>	
- senza finestre o serramenti esterni	0,5
- con finestre o serramenti esterni	0,8
<b>Sottotetto</b>	
- tasso di ventilazione del sottotetto elevato (per esempio tetti ricoperti con tegole o altri materiali di copertura discontinua) senza rivestimento con feltro o assito	1,0
- altro tetto non isolato	0,9
- tetto isolato	0,7
Aree interne di circolazione (senza muri esterni e con tasso di ricambio d'aria minore di $0,5 \text{ h}^{-1}$ )	0,0
Aree interne di circolazione liberamente ventilate (rapporto tra l'area delle aperture e volume dell'ambiente maggiore di $0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$ )	1,0



**APPORTI SOLARI (UNI/TS 11300-1)**

Gli apporti (gratuiti) solari  $Q_{sol}$  si valutano con la formula:

$$Q_{sol} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{tr,x}) \times \Phi_{sol,mn,x,j} \right] \right\} \times t$$

ove

$Q_{sol}$  apporti solari [J/periodo oppure kWh/periodo]

$\Phi_{sol,mn,k}$  flusso termico k-esimo di origine solare mediato sul tempo [W oppure kW]

$b_{tr,x}$  fattore di riduzione per l'ambiente adiacente non climatizzato x

$\Phi_{int,mn,x,j}$  flusso termico j-esimo di origine solare nell'ambiente adiacente non climatizzato x, mediato sul tempo [W oppure kW]

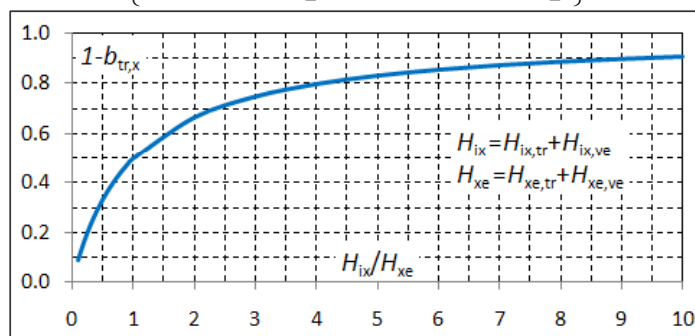
t durata del periodo considerato (il mese oppure il periodo considerato) [s oppure h]

**APPORTI SOLARI (UNI/TS 11300-1)**

Gli apporti (gratuiti) solari  $Q_{sol}$  si valutano con la formula:

$$Q_{sol} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{tr,x}) \times \Phi_{sol,mn,x,j} \right] \right\} \times t =$$

$$= \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right] + \left[ \sum_j \frac{H_{ix}}{H_{ix} + H_{xe}} \times \Phi_{sol,mn,x,j} \right] \right\} \times t$$



### FLUSSO TERMICO DI ORIGINE SOLARE (UNI/TS 11300-1)

Il **flusso termico di origine solare** sulla superficie k-esima si calcola con la formula:

$$\Phi_{\text{sol,mn,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,mn,k}}$$

ove

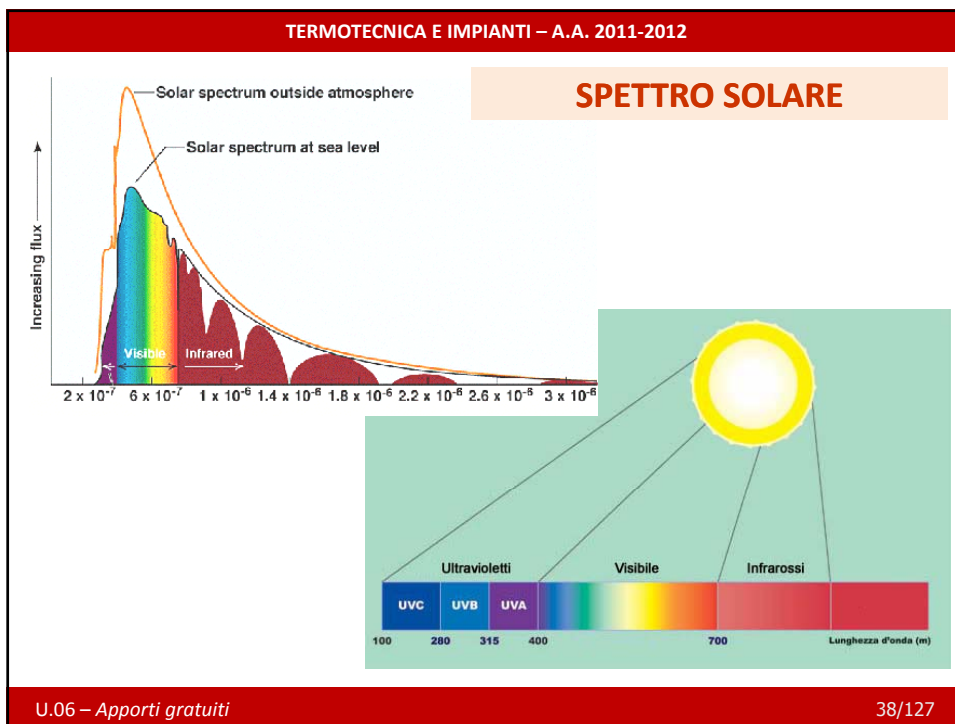
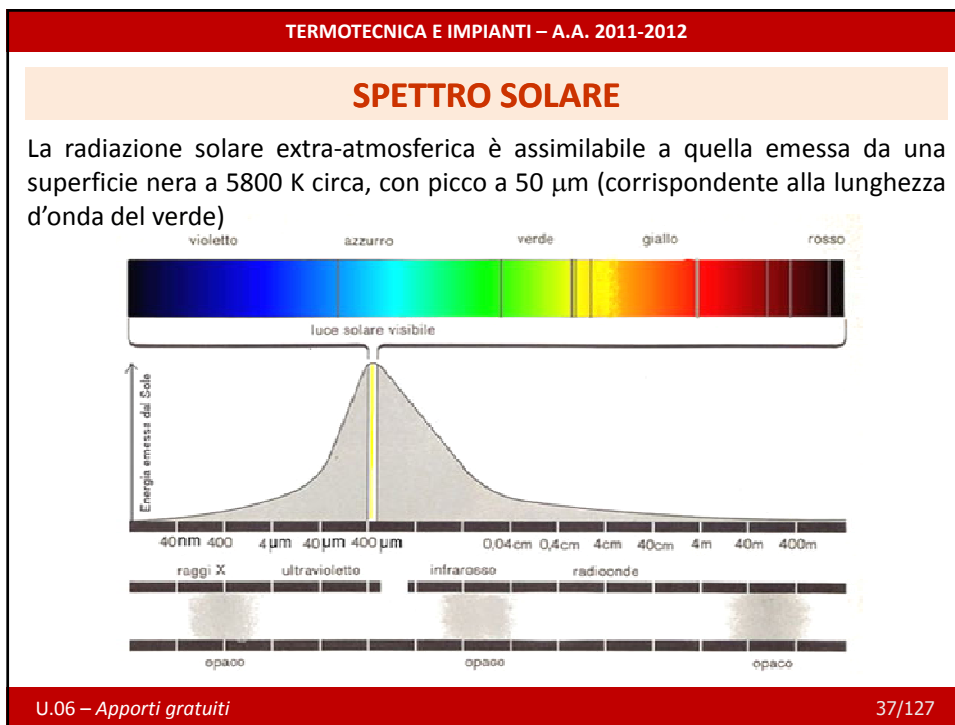
$F_{\text{sh,ob,k}}$  **fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni** per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima, ottenibile da UNI/TS 11300-1 o altre norme

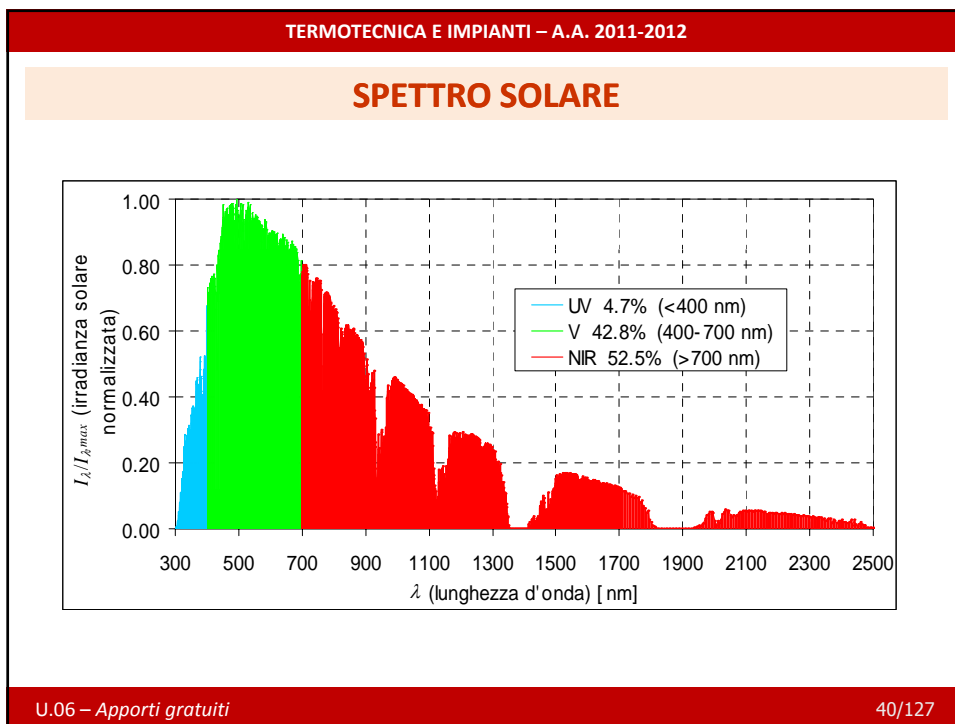
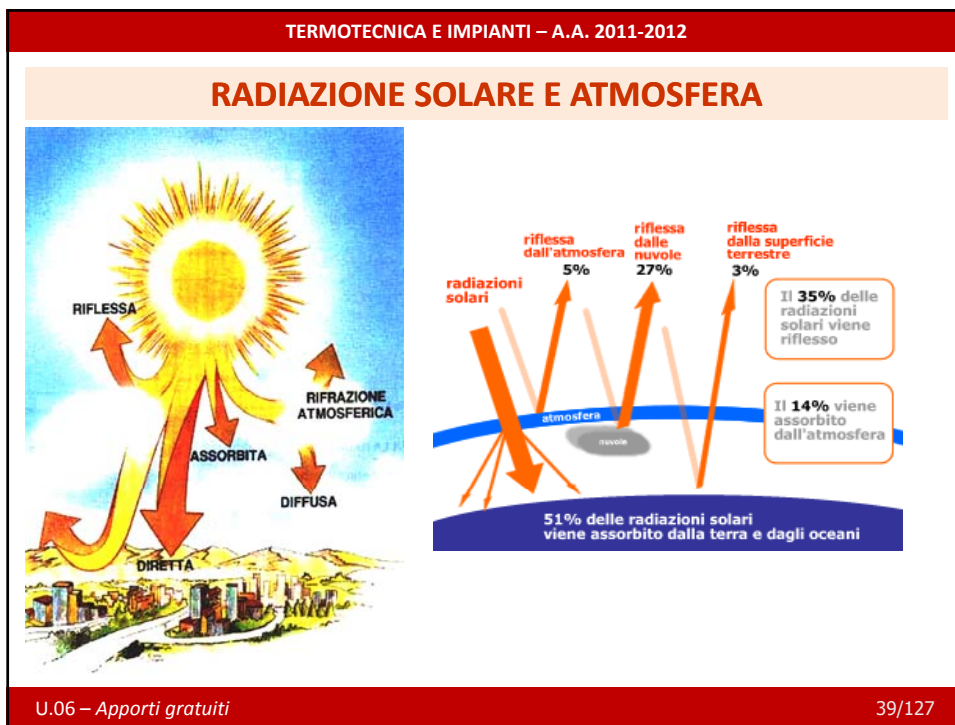
$A_{\text{sol,k}}$  **area di captazione solare effettiva** della superficie k-esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale [m<sup>2</sup>], la cui metodologia di valutazione per componenti trasparenti dell'involucro è completamente diversa da quella per componenti opachi

$I_{\text{sol,mn,k}}$  **irradianza solare media giornaliera** (media effettuata su base mensile) incidente sulla superficie k-esima, con orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale assegnati [W/m<sup>2</sup>]

I dati di irradianza solare media giornaliera si possono ottenere dalla **UNI 10349**.

### RADIAZIONE SOLARE





## RIFLETTANZA SOLARE ED EMISSIVITA' TERMICA

**Riflettanza solare**  $\rho_{sol}$ : rapporto tra la radiazione solare riflessa da una superficie e la radiazione totale incidente

**Assorbanza (o coefficiente di assorbimento della radiazione) solare**  $\alpha_{sol}$ : rapporto tra la radiazione solare assorbita da una superficie e la radiazione totale incidente. Per corpi opachi:

$$\rho_{sol} = 1 - \alpha_{sol}$$

**Emissività termica**  $\varepsilon_{ter}$ : rapporto tra la radiazione termica emessa da una superficie ad una data temperatura e la massima radiazione che può essere emessa (da una superficie nera) alla medesima temperatura

Si noti che la radiazione solare è tutta compresa nella banda da 0.3 a 2.5  $\mu\text{m}$ , mentre la radiazione termica per superfici a temperatura ambiente (circa 300 K) cade nell'intervallo tra 2.5 e 100  $\mu\text{m}$ . Non esiste pertanto relazione tra emissività termica e riflettanza solare

## DATI STANDARD SULLA RADIAZIONE SOLARE

**Irradianza** [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]: potenza radiativa incidente (istantaneamente) sull'unità di area della superficie irradiata

**Irradiazione** [ $\text{MJ}/\text{m}^2$ ]: energia radiativa incidente sull'unità di area della superficie irradiata durante un periodo di riferimento (ad es. 24 ore)

**Irradiazione giornaliera media mensile**: energia radiativa incidente sull'unità di area della superficie irradiata durante le 24 ore, mediata su tutti i giorni del mese considerato

**Irradianza media giornaliera** [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]: potenza radiativa mediamente incidente sull'unità di area della superficie irradiata nel corso delle 24 ore, calcolata come il rapporto tra l'irradiazione giornaliera (media mensile) e la durata di un giorno

La norma [UNI 10349](#) riporta dati di irradiazione solare giornaliera media mensile al suolo, sul piano orizzontale, per tutti i capoluoghi di provincia italiani, distinguendo tra irradiazione diretta e diffusa. Riporta inoltre l'irradiazione totale (diretta + diffusa) su piani verticali variamente orientati (S, SE, E, NE, N, NO, O, SO). Per orientazioni non contemplate si interpola, oppure si utilizza la norma [UNI/TR 11328](#) (che ha sostituito la [UNI 8477-1](#)).





## DATI STANDARD SULLA RADIAZIONE SOLARE (UNI 10349)

### Irradiazione solare giornaliera media mensile

I valori della irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia sono riportati, nelle componenti  $\overline{H}_{gh}$  diretta e  $\overline{H}_{dh}$  diffusa e per ogni mese dell'anno, nel prospetto VIII, ordinati per codice di provincia. Il codice di provincia (qui inteso come numero d'ordine nella classificazione per sigla), il nome del relativo capoluogo e le sue coordinate geografiche, altitudine, latitudine e longitudine sono invece riportati nel prospetto VII.

Per le località non comprese è possibile calcolare una irradiazione corretta che tenga conto della diversa localizzazione, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identificano due località di riferimento, ovvero i capoluoghi di provincia più vicini in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata;
- si calcola il valore della irradiazione della località considerata come media ponderale dei valori delle due località di riferimento pesate rispetto alla latitudine, secondo la seguente relazione:

$$\overline{H} = \overline{H}_{r1} + \frac{\overline{H}_{r2} - \overline{H}_{r1}}{\varphi_{r2} - \varphi_{r1}} (\varphi - \varphi_{r1}) \quad [2]$$

dove:  $\overline{H}_{r1}$  è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento;

$\overline{H}_{r2}$  è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento;

$\varphi_{r1}$  è la latitudine della prima località di riferimento;

$\varphi_{r2}$  è la latitudine della seconda località di riferimento;

$\varphi$  è la latitudine della località considerata.

Per il calcolo dell'irradiazione solare su superfici non orizzontali si rimanda alla UNI 8477/1.

Applicando la citata norma sono state precalcolate, utilizzando un coefficiente di albedo medio pari a 0,2, le irradiazioni solari globali giornaliere medie mensili, per ogni capoluogo di provincia e per ogni mese dell'anno, relativamente a superfici verticali orientate a Sud, Sud-Ovest o Sud-Est, Est od Ovest, Nord-Ovest o Nord-Est, Nord, riportate rispettivamente nei prospetti IX, X, XI, XII, XIII.

The screenshot shows a web browser window displaying the 'Atlante italiano della radiazione solare' website. The page title is 'Atlante italiano della radiazione solare' and the URL is 'http://www.solaritaly.enea.it/CalcRgmmIncl/Calcola1.php'. The page content includes a navigation menu with 'Home', 'Chi siamo', 'Archivio', 'Calcoli', 'Previsioni', and 'Contatto'. The main content area is titled 'Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata' and 'Media quinquennale 1995+1999'. It provides an 'Input per il calcolo' section with the following fields and options:

- Posizione della località: Latitudine (esempio: 42°02'36"):  Longitudine (esempio: 12°18'28"):
- Angoli che definiscono la posizione della superficie ricevente: Azimut (esempio: -10°00'00"):  Inclinazione rispetto al piano orizzontale (esempio: 30°00'00"):
- Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale:
  - ENEA-SOLTERM
  - UNI 8477
  - Iqbal
- Coefficiente di riflessione del suolo (0+1; esempio: 0.25):
- Unità di misura per la R, g, g, m, m.:
- Effettuare il calcolo per:
- 

The status bar at the bottom of the browser window shows 'Completato'.



Atlante italiano della radiazione solare - Mozilla Firefox

File Modifica Visualizza Cronologia Segnalibri Strumenti ?

http://www.solaritaly.enea.it/CalcRgmmIncl/Calc063.php

Più visti Come iniziare Ultime notizie

Archivio on line  
Calcoli  
Previsioni  
Documentazione  
Strumenti  
Collegamenti utili  
Informazioni sul sito  
Contatto

### Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Media quinquennale 1995-1999

**Dati di input:**

- Latitudine: 44°29'00"; longitudine: 11°20'00"
- Azimut: 0°00'00"
- Inclinazione rispetto al piano orizzontale: 30°00'00"
- Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale: ENEA-SOLTERM
- Coefficiente di riflessione del suolo: 0.25
- Unità di misura: MJ/m2
- Calcolo per tutti i mesi

**Risultato:**

Mese	Ostacolo	Rgmm su sup.incl.	Errore
Gennaio	presente tutto il giorno	2.69	MJ/m2
Febbraio	dalle 6h 00'00.0" alle 12h 00'00.0"	8.82	MJ/m2
Marzo	dalle 6h 00'00.0" alle 10h 00'00.0"	14.82	MJ/m2
Aprile	assente	18.72	MJ/m2
Maggio	assente	20.77	MJ/m2
Giugno	assente	21.75	MJ/m2
Luglio	assente	22.21	MJ/m2
Agosto	assente	19.89	MJ/m2
Settembre	assente	17.42	MJ/m2
Ottobre	assente	13.20	MJ/m2
Novembre	dalle 8h 00'00.0" alle 10h 00'00.0"	8.34	MJ/m2
Dicembre	dalle 6h 00'00.0" alle 12h 00'00.0"	4.92	MJ/m2

Radiazione globale annua sulla superficie inclinata: 5290 MJ/m2  
(anno convenzionale di 365.25 giorni)

Scarica il file dei risultati in una delle due versioni:

[formato csv con la virgola come separatore decimale](#)  
[formato csv con il punto come separatore decimale](#)

Completato

## OMBREGGIAMENTI

## FATTORE DI OMBREGGIATURA (UNI/TS 11300-1)

$$Q_{sol} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{tr,x}) \times \Phi_{sol,mn,x,j} \right] \right\} \times t$$

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \times A_{sol,k} \times I_{sol,mn,k}$$

Il **fattore di riduzione per ombreggiatura**  $F_{sh,ob}$  può essere calcolato come prodotto dei fattori di ombreggiatura relativi ad ostruzioni esterne ( $F_{hor}$ ), aggetti orizzontali ( $F_{ov}$ ) e aggetti verticali ( $F_{fin}$ ):

$$F_{sh,ob,k} = F_{hor} \times F_{ov} \times F_{fin}$$

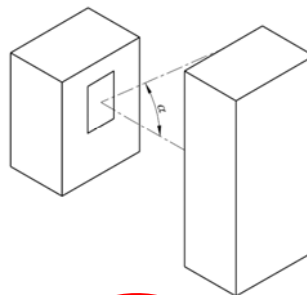
I valori dei fattori di riduzione per ombreggiatura dipendono da:

- latitudine
- clima
- periodo considerato
- orientamento dell'elemento ombreggiato
- caratteristiche geometriche degli elementi ombreggianti

## FATTORE DI OMBREGGIATURA: OSTRUZIONE ESTERNA

(UNI/TS 11300-1, Appendice D)

Esempi: edifici prospicienti, rilievi, vegetazione, ecc.



prospetto D.7 **Fattore di ombreggiatura  $F_{hor}$  relativo ad ostruzioni esterne. Mese di LUGLIO**

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,89	0,85	0,79	0,90	0,85	0,78	0,90	0,85	0,79	0,90	0,86	0,81	0,91	0,86	0,82	0,91	0,87	0,83
20°	0,79	0,71	0,67	0,80	0,70	0,65	0,81	0,70	0,64	0,81	0,71	0,64	0,82	0,71	0,63	0,82	0,71	0,64
30°	0,69	0,56	0,56	0,71	0,55	0,54	0,72	0,55	0,53	0,73	0,55	0,53	0,74	0,55	0,52	0,73	0,55	0,52
40°	0,60	0,40	0,37	0,63	0,39	0,37	0,64	0,39	0,38	0,65	0,39	0,40	0,66	0,38	0,41	0,65	0,38	0,41

**TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012**

**Prospetto VII – Coordinate geografiche dei capoluoghi di provincia** (segue del prospetto VII)

N°	Sigla Provincia	Località	Altitudine m	Latitudine ° ' "	Longitudine ° ' "	N°	Sigla Provincia	Località	Altitudine m	Latitudine ° ' "	Longitudine ° ' "
1	AG	Agrigento	230	37 18	13 35	38	IM	Imperia	10	43 53	8 01
2	AL	Alessandria	95	44 54	8 36	39	IS	Isernia	423	41 35	14 13
3	AN	Ancona	16	43 36	16 30	40	KR	Crotone	8	39 04	17 07
4	AO	Aosta	583	45 44	7 18	41	LC	Lecco	214	45 51	9 24
5	AP	Ascoli Piceno	154	42 51	13 34	42	LD	Lodi	87	45 18	9 30
6	AQ	L'Aquila	714	42 21	13 23	43	LE	Lecce	49	40 21	18 10
7	AR	Arezzo	246	43 27	11 52	44	LI	Livorno	3	43 33	10 19
8	AT	Asti	123	44 53	8 12	45	LT	Latina	21	41 27	12 54
9	AV	Avellino	348	40 54	14 47	46	LU	Lucca	19	43 50	10 03
10	BA	Bari	5	41 08	16 50	47	MC	Macerata	315	43 17	13 27
11	BG	Bergamo	249	45 41	9 40	48	ME	Messina	3	38 11	15 32
12	BL	Belluno	383	46 08	12 13	49	MI	Milano	122	45 27	9 11
13	BN	Benevento	135	41 07	14 46	50	MN	Mantova	19	45 09	10 46
14	BO	Bologna	54	44 29	11 20	51	MO	Modena	34	44 38	10 55
15	BR	Brindisi	15	40 38	17 56	52	MS	Massa-Carrara	65	44 01	10 07
16	BS	Brescia	149	45 32	10 12	53	MT	Matera	200	40 39	16 36
17	BZ	Bolzano	262	46 29	11 21	54	NA	Napoli	17	40 51	14 15
18	CA	Cagliari	4	39 13	9 07	55	NO	Novara	159	45 25	8 37
19	CB	Campobasso	701	41 33	14 40	56	NU	Nuoro	546	40 19	9 19
20	CE	Caserta	68	41 04	14 19	57	OR	Oristano	9	39 54	8 35
21	CH	Chieti	330	42 21	14 10	58	PA	Palermo	14	38 07	13 21
22	CL	Caltanissetta	568	37 29	14 03	59	PC	Piacenza	61	45 03	9 41
23	CN	Cuneo	534	44 22	7 32	60	PD	Padova	12	45 24	11 52
24	CO	Como	201	45 48	9 05	61	PE	Pescara	4	42 27	14 12
25	CR	Cremona	45	45 08	10 01	62	PG	Perugia	493	43 06	12 23
26	CS	Cosenza	238	39 18	16 15	63	PI	Pisa	4	43 42	10 24
27	CT	Catania	7	37 30	15 05	64	PN	Pordenone	24	45 57	12 39
28	CZ	Catanzaro	320	38 54	16 35	65	PO	Prato	61	43 52	11 05
29	EN	Enna	931	37 33	14 16	66	PR	Parma	57	44 48	10 19
30	FE	Ferrara	9	44 50	11 37	67	PS	Pesaro e Urbino	11	43 54	12 54
31	FG	Foggia	76	41 27	15 33	68	PT	Pistoia	67	43 55	10 54
32	FI	Firenze	40	43 41	11 15	69	PV	Pavia	77	45 11	9 09
33	FO	Folli	34	44 13	12 02						
34	FR	Frosinone	291	41 38	13 20						
35	GE	Genova	19	44 25	8 53						
36	GO	Gorizia	84	45 56	13 37						
37	GR	Grosseto	10	42 45	11 06						

(segue prospetto)

(segue prospetto)

**U.06 – Apporti gratuiti** 53/127

**TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012**

**FATTORE DI OMBREGGIATURA: OSTRUZIONE ESTERNA**

(UNI/TS 11300-1, Appendice D)

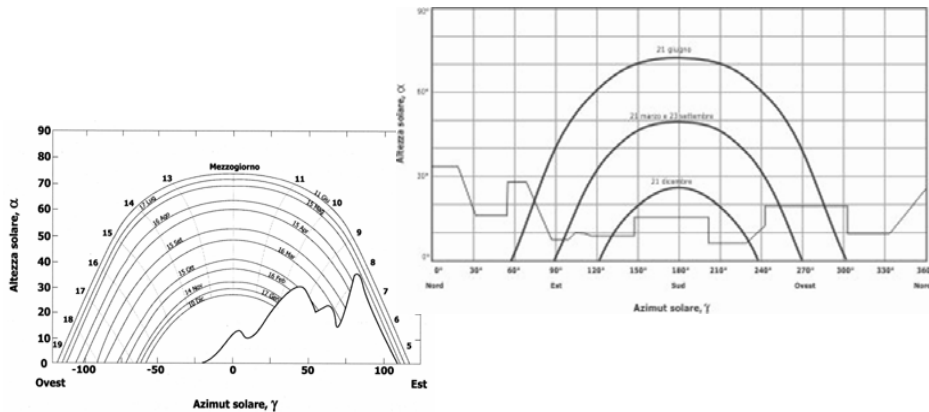
Esempi: edifici prospicienti, rilievi, vegetazione, ecc.

prospetto D.1 **Fattore di ombreggiatura  $F_{hor}$  relativo ad ostruzioni esterne. Mese di GENNAIO**

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,86	0,83	0,95	0,85	0,83	0,94	0,83	0,83	0,93	0,81	0,83	0,91	0,80	0,83	0,88	0,76	0,83
20°	0,85	0,67	0,67	0,82	0,65	0,67	0,77	0,63	0,67	0,70	0,60	0,67	0,59	0,58	0,67	0,47	0,54	0,67
30°	0,46	0,47	0,52	0,34	0,45	0,52	0,25	0,44	0,52	0,15	0,44	0,52	0,09	0,44	0,52	0,05	0,39	0,52
40°	0,05	0,37	0,38	0,05	0,33	0,38	0,05	0,30	0,38	0,05	0,27	0,38	0,05	0,23	0,38	0,04	0,21	0,38

**U.06 – Apporti gratuiti** 54/127

## FATTORE DI OMBREGGIATURA: OSTRUZIONE ESTERNA



Gli ombreggiamenti dovuti a edifici, alberi o rilievi che non sono perfettamente rappresentati dai diagrammi della UNI/TS 11300-1 possono essere eventualmente previsti mediante **diagrammi delle traiettorie solari**, sui quali si riporta il profilo angolare degli ostacoli (rilevabile con bussola e clinometro).

## FATTORE DI OMBREGGIATURA: OSTRUZIONE ESTERNA

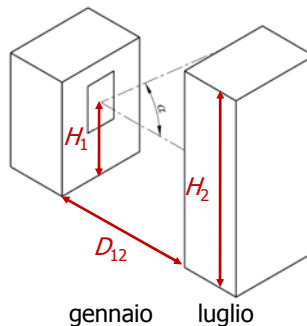
Gli ombreggiamenti dovuti a edifici, alberi o rilievi possono essere stimati tramite i diagrammi della UNI/TS 11300-1 anche quando non sono da questi perfettamente rappresentati ove si adotti un **approccio conservativo**, differente a seconda che si consideri la stagione invernale o estiva. In particolare:

- Nella **stagione invernale**, ai fini del calcolo inerente il riscaldamento degli ambienti, si può assumere che l'elemento ombreggiante fronteggi perfettamente l'elemento ombreggiato ed abbia altezza uniforme pari a quella del suo punto più alto – in questo modo si sottostimano gli apporti solari
- Nella **stagione estiva**, ai fini del calcolo inerente il raffrescamento degli ambienti, si può assumere che l'elemento ombreggiante sia assente, oppure che fronteggi perfettamente l'elemento ombreggiato ma con altezza ridotta a quella della sua parte che lo fronteggia perfettamente – in questo modo si sovrastimano gli apporti solari

**FATTORE DI OMBREGGIATURA: OSTRUZIONE ESTERNA**

Esempio:

- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto **sud**, al **piano terra** ( $H_1=2.10\text{m}$  su piano di campagna)
- edificio prospiciente a distanza minima di legge ( $D_{12}=10\text{m}$ )
- edificio prospiciente con tre piani fuori terra, incluso pianterreno ( $H_2=10.30\text{m}$ )



$$\alpha = \arctan\left(\frac{H_2 - H_1}{D_{12}}\right) \cong 39^\circ$$

$$F_{\text{sh,ob,gennaio}} = 0.05$$

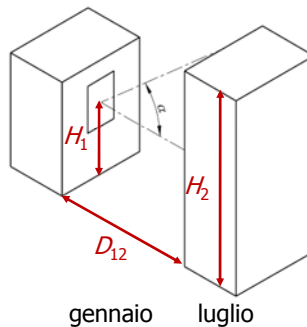
$$F_{\text{sh,ob,luglio}} = 0.66$$

Angolo su orizzonte	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,91	0,80	0,83	0,91	0,86	0,82
20°	0,59	0,58	0,67	0,82	0,71	0,63
30°	0,09	0,44	0,52	0,74	0,55	0,52
40°	0,05	0,23	0,38	0,66	0,38	0,41

**FATTORE DI OMBREGGIATURA: OSTRUZIONE ESTERNA**

Esempio:

- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto **sud**, al **secondo piano** fuori terra ( $H_1=7.70\text{m}$  su piano di campagna)
- edificio prospiciente a distanza minima di legge ( $D_{12}=10\text{m}$ )
- edificio prospiciente con tre piani fuori terra, incluso pianterreno ( $H_2=10.30\text{m}$ )



$$\alpha = \arctan\left(\frac{H_2 - H_1}{D_{12}}\right) \cong 15^\circ$$

$$F_{\text{sh,ob,gennaio}} = 0.75$$

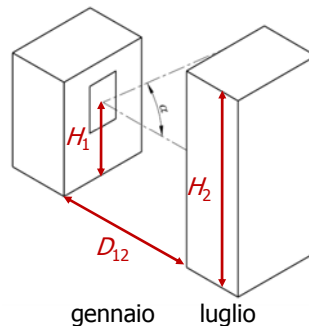
$$F_{\text{sh,ob,luglio}} = 0.87$$

Angolo su orizzonte	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,91	0,80	0,83	0,91	0,86	0,82
20°	0,59	0,58	0,67	0,82	0,71	0,63
30°	0,09	0,44	0,52	0,74	0,55	0,52
40°	0,05	0,23	0,38	0,66	0,38	0,41

## FATTORE DI OMBREGGIATURA: OSTRUZIONE ESTERNA

Esempio:

- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto **nord**, al **secondo piano** fuori terra ( $H_1=7.70\text{m}$  su piano di campagna)
- **edificio prospiciente** a distanza minima di legge ( $D_{12}=10\text{m}$ )
- edificio prospiciente con tre piani fuori terra, incluso pianterreno ( $H_2=10.30\text{m}$ )



$$\alpha = \arctan\left(\frac{H_2 - H_1}{D_{12}}\right) \cong 15^\circ$$

$$F_{\text{sh,ob,gennaio}} = 0.75$$

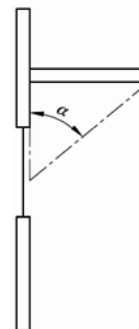
$$F_{\text{sh,ob,luglio}} = 0.73$$

Angolo su orizzonte	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,91	0,80	0,83	0,91	0,86	0,82
20°	0,59	0,58	0,67	0,82	0,71	0,63
30°	0,09	0,44	0,52	0,74	0,55	0,52
40°	0,05	0,23	0,38	0,66	0,38	0,41

## FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI ORIZZONTALI

(UNI/TS 11300-1, Appendice D)

Esempi: solai di balconi, pensiline, cornicioni, cornici finestre, tendaggi esterni, brise-soleil, ecc.



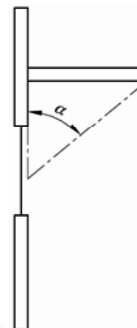
prospetto D.19 **Fattore di ombreggiatura  $F_{ov}$  relativo ad aggetti orizzontali. Mese di LUGLIO**

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,60	0,76	0,83	0,58	0,77	0,83	0,59	0,77	0,83	0,61	0,78	0,83	0,63	0,78	0,83	0,65	0,78	0,82
45°	0,55	0,65	0,77	0,53	0,66	0,78	0,52	0,66	0,77	0,53	0,67	0,77	0,52	0,68	0,77	0,53	0,68	0,76
60°	0,50	0,53	0,72	0,49	0,54	0,73	0,48	0,55	0,72	0,49	0,55	0,71	0,48	0,56	0,71	0,49	0,57	0,70

## FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI ORIZZONTALI

(UNI/TS 11300-1, Appendice D)

Esempi: solai di balconi, pensiline, cornicioni, cornici finestre, tendaggi esterni, brise-soleil, ecc.



prospetto D.13 **Fattore di ombreggiatura  $F_{ov}$  relativo ad aggetti orizzontali. Mese di GENNAIO**

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,85	0,85	0,80	0,86	0,85	0,80	0,87	0,86	0,80	0,88	0,87	0,80	0,89	0,87	0,80	0,90	0,88	0,80
45°	0,77	0,80	0,72	0,78	0,81	0,72	0,80	0,81	0,72	0,81	0,83	0,72	0,82	0,83	0,72	0,84	0,85	0,72
60°	0,66	0,77	0,65	0,68	0,77	0,65	0,70	0,78	0,65	0,72	0,80	0,65	0,74	0,81	0,65	0,77	0,83	0,65

U.06 – Apporti gratuiti

61/127

## FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI ORIZZONTALI

Esempio:

- località: Bologna (44° 29')
- portafinestra su prospetto sud ( $H=1.65\text{m}$ )
- solaio di balcone superiore ( $L=1.20\text{m}$  inclusa distanza tra piano del vetro e superficie esterna)

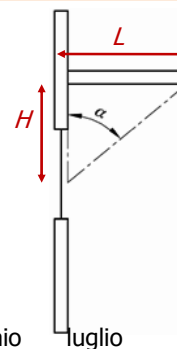
$$\alpha = \arctan\left(\frac{L}{H}\right) \cong 36^\circ$$

$$F_{sh,ob} = F_{sh,ob,30^\circ} +$$

$$+ (F_{sh,ob,45^\circ} - F_{sh,ob,30^\circ}) \times \frac{\alpha - 30^\circ}{45^\circ - 30^\circ}$$

$$F_{sh,ob,gennaio} = 0.86$$

$$F_{sh,ob,luglio} = 0.59$$



Angolo	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,89	0,87	0,80	0,63	0,78	0,83
45°	0,82	0,83	0,72	0,52	0,68	0,77
60°	0,74	0,81	0,65	0,48	0,56	0,71

U.06 – Apporti gratuiti

62/127

### FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI ORIZZONTALI

Esempio:

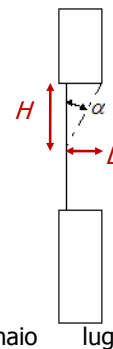
- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto sud ( $H=0.80$  m)
- **architrave** di finestra a filo interno su **muro due teste** ( $L=0.15$ m, distanza tra piano del vetro e superficie esterna della parete)

$$\alpha = \arctan\left(\frac{L}{H}\right) \cong 11^\circ$$

$$F_{sh,ob} = F_{sh,ob,0^\circ} + (F_{sh,ob,30^\circ} - F_{sh,ob,0^\circ}) \times \frac{\alpha - 0^\circ}{30^\circ - 0^\circ}$$

$$F_{sh,ob,gennaio} = 0.96$$

$$F_{sh,ob,luglio} = 0.87$$



Angolo	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,89	0,87	0,80	0,63	0,78	0,83
45°	0,82	0,83	0,72	0,52	0,68	0,77
60°	0,74	0,81	0,65	0,48	0,56	0,71

### FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI ORIZZONTALI

Esempio:

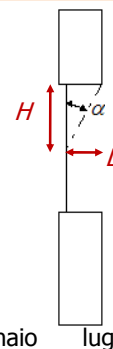
- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto sud ( $H=0.80$  m)
- **architrave** di finestra a filo interno su **muro con spessore elevato** ( $L=0.40$ m, distanza tra piano del vetro e superficie esterna della parete)

$$\alpha = \arctan\left(\frac{L}{H}\right) \cong 27^\circ$$

$$F_{sh,ob} = F_{sh,ob,0^\circ} + (F_{sh,ob,30^\circ} - F_{sh,ob,0^\circ}) \times \frac{\alpha - 0^\circ}{30^\circ - 0^\circ}$$

$$F_{sh,ob,gennaio} = 0.90$$

$$F_{sh,ob,luglio} = 0.67$$

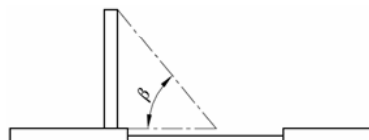


Angolo	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,89	0,87	0,80	0,63	0,78	0,83
45°	0,82	0,83	0,72	0,52	0,68	0,77
60°	0,74	0,81	0,65	0,48	0,56	0,71



**FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI VERTICALI**

(UNI/TS 11300-1, Appendice D)

Esempi: elementi architettonici,  
cornici finestre, brise-soleil, ecc.prospetto D.31 **Fattore di ombreggiatura  $F_{in}$  relativo ad aggetti verticali. Mese di LUGLIO**

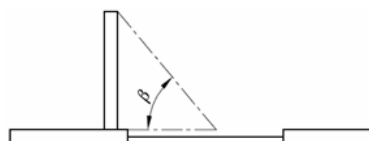
Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,89	0,94	0,82	0,89	0,94	0,82	0,89	0,93	0,82	0,88	0,93	0,83	0,88	0,92	0,83	0,88	0,92	0,84
45°	0,86	0,92	0,76	0,86	0,91	0,76	0,86	0,91	0,76	0,85	0,90	0,77	0,85	0,89	0,77	0,85	0,88	0,78
60°	0,83	0,89	0,73	0,83	0,89	0,72	0,83	0,88	0,73	0,82	0,87	0,73	0,82	0,87	0,73	0,82	0,85	0,74

U.06 – Apporti gratuiti

65/127

**FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI VERTICALI**

(UNI/TS 11300-1, Appendice D)

Esempi: elementi architettonici,  
brise soleil, cornici finestre, ecc.prospetto D.25 **Fattore di ombreggiatura  $F_{in}$  relativo ad aggetti verticali. Mese di GENNAIO**

Angolo	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,91	0,73	0,89	0,92	0,72	0,89	0,92	0,72	0,89	0,92	0,71	0,89	0,92	0,70	0,89	0,92	0,68	0,89
45°	0,86	0,60	0,85	0,86	0,59	0,85	0,86	0,59	0,85	0,87	0,57	0,85	0,87	0,56	0,85	0,87	0,54	0,85
60°	0,79	0,46	0,80	0,79	0,46	0,80	0,80	0,45	0,80	0,80	0,43	0,80	0,80	0,42	0,80	0,80	0,38	0,80

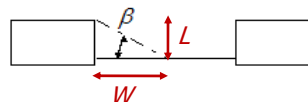
U.06 – Apporti gratuiti

66/127

### FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI VERTICALI

Esempio:

- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto sud ( $W=0.55$  m)
- spalla di finestra a filo interno su **muro due teste** (0.25m, distanza tra piano del vetro e superficie esterna della parete  $L=0.15$ m)



$$\alpha = \arctan\left(\frac{L}{W}\right) \cong 15^\circ$$

$$F_{sh,ob} = F_{sh,ob,0^\circ} + (F_{sh,ob,30^\circ} - F_{sh,ob,0^\circ}) \times \frac{\alpha - 0^\circ}{30^\circ - 0^\circ}$$

$$F_{sh,ob,gennaio} = 0.96$$

$$F_{sh,ob,luglio} = 0.94$$

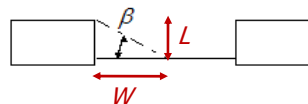
gennaio luglio

Angolo	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,92	0,70	0,89	0,88	0,92	0,83
45°	0,87	0,56	0,85	0,85	0,89	0,77
60°	0,80	0,42	0,80	0,82	0,87	0,73

### FATTORE DI OMBREGGIATURA: AGGETTI VERTICALI

Esempio:

- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto sud ( $W=0.55$  m)
- spalla di finestra a filo interno su **muro con spessore elevato** (0.55m, distanza tra piano del vetro e sup. esterna della parete  $L=0.40$ m)



$$\alpha = \arctan\left(\frac{L}{W}\right) \cong 36^\circ$$

$$F_{sh,ob} = F_{sh,ob,30^\circ} + (F_{sh,ob,45^\circ} - F_{sh,ob,30^\circ}) \times \frac{\alpha - 30^\circ}{45^\circ - 30^\circ}$$

$$F_{sh,ob,gennaio} = 0.90$$

$$F_{sh,ob,luglio} = 0.87$$

gennaio luglio

Angolo	44° N latitudine			44° N latitudine		
	S	E/O	N	S	E/O	N
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30°	0,92	0,70	0,89	0,88	0,92	0,83
45°	0,87	0,56	0,85	0,85	0,89	0,77
60°	0,80	0,42	0,80	0,82	0,87	0,73

**FATTORE DI OMBREGGIATURA: COMPLESSIVO**

Esempio:

- località: Bologna (44° 29')
- finestra su prospetto sud, al **secondo piano** fuori terra
- **edificio prospiciente** a distanza minima di legge (10m) e con tre piani fuori terra
- **architrave e spalle** di finestra a filo interno su **muro con spessore elevato** (L=0.40m, distanza tra piano del vetro e superficie esterna della parete)
- Ombreggiamenti da edificio prospiciente, architrave e (due) spalle finestra:

$$F_{sh,ob,k} = F_{hor} \times F_{ov} \times F_{fin}$$

$$F_{sh,ob,gennaio} = 0.75 \times 0.90 \times 0.90 (\times 2) = 0.55$$

$$F_{sh,ob,luglio} = 0.87 \times 0.67 \times 0.87 (\times 2) = 0.44$$

**ELEMENTI VETRATI**

**AREA DI CAPTAZIONE EFFETTIVA (UNI/TS 11300-1)**

$$Q_{\text{sol}} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{\text{tr,x}}) \times \Phi_{\text{sol,mn,x,j}} \right] \right\} \times t$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,mn,k}}$$

L'area di captazione solare effettiva  $A_{\text{sol,k}}$  [m<sup>2</sup>] di un k-esimo componente vetrato (trasparente) dell'involucro si calcola con la formula:

$$A_{\text{sol,k}} = g_{\text{gl,k}} \times F_{\text{sh,gl,k}} \times (1 - F_{\text{F,k}}) \times A_{\text{w,p,k}}$$

ove

$g_{\text{gl,k}}$  trasmittanza solare della parte trasparente del componente vetrato

$F_{\text{sh,gl,k}}$  fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili

$F_{\text{F,k}}$  frazione di area relativa al telaio (rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente vetrato)

$A_{\text{w,p,k}}$  area proiettata totale del componente vetrato (area luce finestra) [m<sup>2</sup>]

**TELAIO SERRAMENTO (UNI/TS 11300-1)**

$$Q_{\text{sol}} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{\text{tr,x}}) \times \Phi_{\text{sol,mn,x,j}} \right] \right\} \times t$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,mn,k}}$$

$$A_{\text{sol,k}} = g_{\text{gl,k}} \times F_{\text{sh,gl,k}} \times (1 - F_{\text{F,k}}) \times A_{\text{w,p,k}}$$

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, si può assumere un valore convenzionale della frazione di area relativa al telaio  $F_{\text{F,k}}$  pari al 20%, tale che:

$$(1 - F_{\text{F,k}}) = 0.8 \quad \Leftrightarrow \quad F_{\text{F,k}} = 0.2$$

I nuovi serramenti vedono generalmente un incremento, rispetto al passato, della frazione di area relativa al telaio.

## TRASMITTANZA SOLARE (UNI/TS 11300-1)

$$Q_{\text{sol}} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{\text{tr,x}}) \times \Phi_{\text{sol,mn,x,j}} \right] \right\} \times t$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,mn,k}}$$

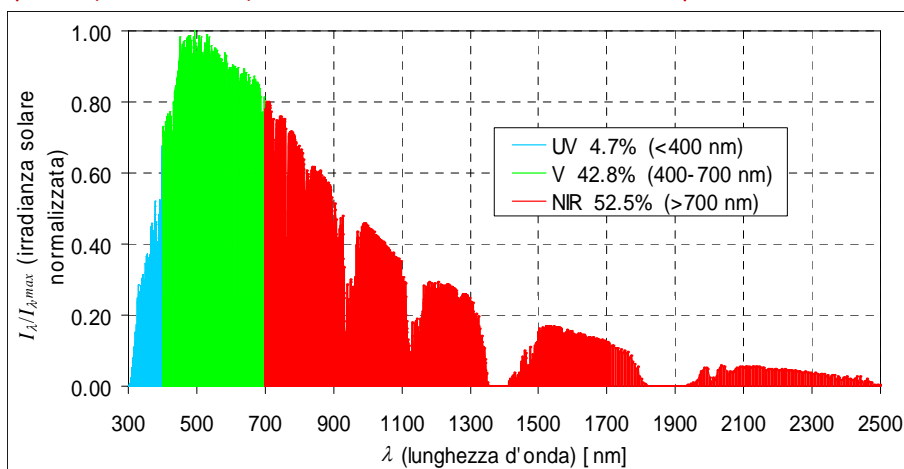
$$A_{\text{sol,k}} = g_{\text{gl,k}} \times F_{\text{sh,gl,k}} \times (1 - F_{\text{F,k}}) \times A_{\text{w,p,k}}$$

La **trasmissione solare**  $g_{\text{gl,k}}$  della parte trasparente del componente vetrato k-esimo può essere ricavata moltiplicando i valori di **trasmissione solare per incidenza normale** ( $g_{\text{gl,n}}$ ) per un fattore di esposizione ( $F_w$ ) assunto pari a 0.9.

$$g_{\text{gl,k}} = g_{\text{gl,n,k}} \times F_w$$

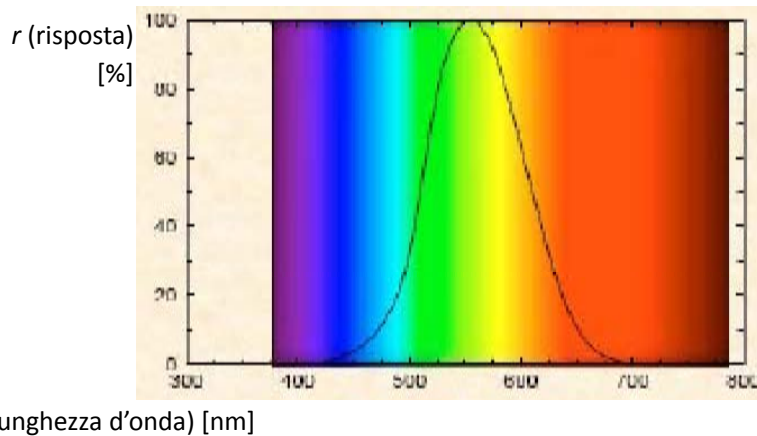
## IRRADIANZA SOLARE

Spettro (normalizzato) standard dell'irradianza solare alla superficie terrestre



## TRASMITTANZA OTTICA

Curva di risposta dell'occhio umano in funzione della lunghezza d'onda



## TRASMITTANZA OTTICA

La curva di risposta dell'occhio umano in funzione della lunghezza d'onda è descritta dalla relazione:

$$r(\lambda) = \exp \left[ -2 \times \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{\Delta \lambda_0^2} \right]$$

ove

$$\lambda_0 = 555 \text{ nm}, \Delta \lambda_0 = 83 \text{ nm}$$

Data la trasmittività spettrale  $\tau(\lambda)$  di un elemento trasparente, cioè il rapporto tra radiazione trasmessa e radiazione incidente alla lunghezza d'onda  $\lambda$ , la sua **trasmittanza ottica per incidenza normale** (o trasparenza ottica) si può stimare come:

$$T_{\text{opt}} = \frac{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} \tau(\lambda) \times r(\lambda) \times I_{\lambda_{\text{sol}}} \times d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} r(\lambda) \times I_{\lambda_{\text{sol}}} \times d\lambda}$$

ove

$$\lambda_{\text{min}} = 380 \text{ nm}, \lambda_{\text{max}} = 780 \text{ nm} \text{ (ma i confini del visibile sono in realtà soggettivi)}$$

## TRASMITTANZA SOLARE DIRETTA

Dati lo spettro standard dell'irradianza solare  $I_{\lambda, \text{sol}}$  e la trasmittività spettrale  $\tau(\lambda)$  di un elemento trasparente, per tale elemento la **trasmittanza solare diretta per incidenza normale** si può stimare come:

$$T_{\text{sol}} = \frac{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} \tau(\lambda) \times I_{\lambda, \text{sol}} \times d\lambda}{\int_{\lambda_{\text{min}}}^{\lambda_{\text{max}}} I_{\lambda, \text{sol}} \times d\lambda}$$

ove

$$\lambda_{\text{min}} = 300 \text{ nm}, \lambda_{\text{max}} = 2500 \text{ nm}$$

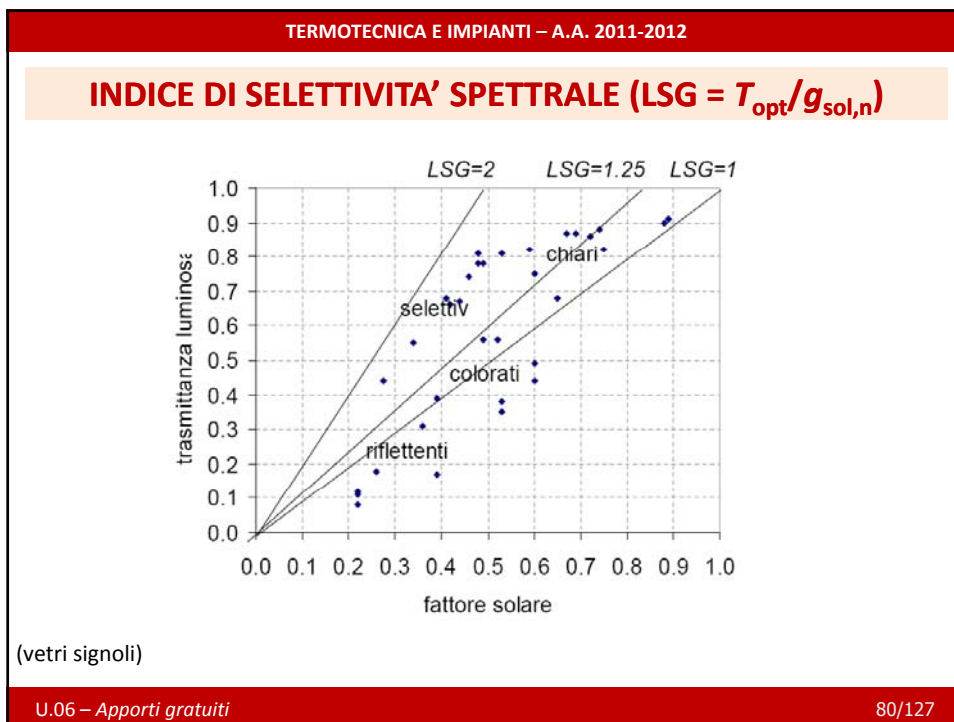
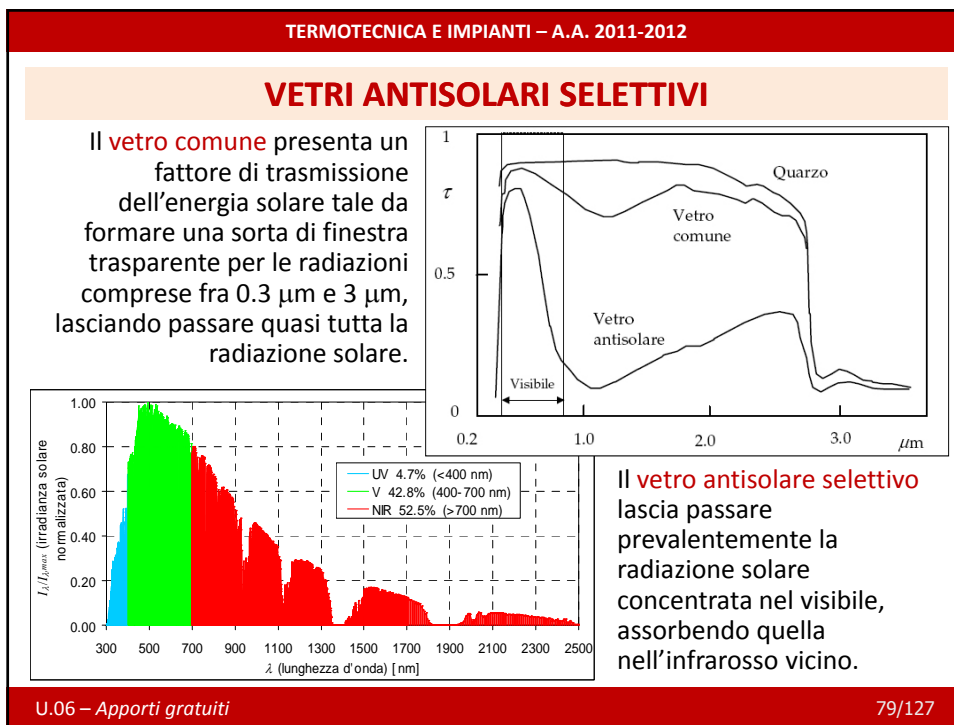
(intervallo spettrale che contiene il 99% dell'energia solare irradiata)

## TRASMITTANZA SOLARE (TOTALE, O FATTORE SOLARE)

La **trasmittanza (totale dell'energia) solare** o **fattore solare** (SHGC – solar heat gain coefficient) della parte trasparente dei componenti vetrati rappresenta la **somma dell'energia apportata direttamente dalla radiazione solare**, prodotto della trasmittanza solare diretta e dell'irradiazione, e di quella apportata indirettamente a causa dell'assorbimento di radiazione e del successivo parziale rilascio di calore nell'ambiente interno per convezione e irraggiamento IR.

La trasmittanza solare per incidenza normale della parte trasparente dei componenti vetrati può essere determinata attraverso la **UNI EN 410**. In assenza di dati documentati, si può usare il prospetto:

Tipo di vetro	$g_{\text{gl,n}}$
Vetro singolo	0,85
Doppio vetro normale	0,75
Doppio vetro con rivestimento basso-emissivo	0,67
Triplo vetro normale	0,70
Triplo vetro con doppio rivestimento basso-emissivo	0,50
Doppia finestra	0,75





**D.P.R. n. 59/2009 (art. 3)**

19. Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione delle categorie E.6 ed E.8, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, **nel caso di edifici di nuova costruzione e nel caso di ristrutturazioni di edifici esistenti di cui all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), questo ultimo limitatamente alle ristrutturazioni totali, del decreto legislativo, è resa obbligatoria la presenza di sistemi schermanti 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 di cui al comma 25.

**D.P.R. n. 59/2009 (art. 3)**

20. **Nel caso di ristrutturazione di edifici esistenti di cui all'articolo 3, comma 2, lettera c), numeri 1) e 2), del decreto legislativo, per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione delle categoria E.6 ed E.8, il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi filtranti o schermanti delle superfici vetrate,** tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare. Gli eventuali impedimenti di natura tecnica ed economica all'utilizzo dei predetti sistemi devono essere evidenziati nella relazione tecnica di cui al comma 25. **La predetta valutazione può essere omessa in presenza di superfici vetrate con fattore solare (UNI EN 410) minore o uguale a 0,5.**

### SCHERMATURE MOBILI (UNI/TS 11300-1)

$$Q_{sol} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{tr,x}) \times \Phi_{sol,mn,x,j} \right] \right\} \times t$$

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \times A_{sol,k} \times I_{sol,mn,k}$$

$$A_{sol,k} = g_{gl,k} \times F_{sh,gl,k} \times (1 - F_{F,k}) \times A_{w,p,k}$$

In presenza di schermature mobili, il **fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili** si determina identificando innanzitutto il **rapporto tra i valori di trasmittanza solare della finestra con ( $g_{gl+sh,k}$ ) e senza ( $g_{gl,k}$ ) schermatura.**

### SCHERMATURE MOBILI (UNI/TS 11300-1)

Il **fattore di riduzione ( $g_{gl+sh,k}/g_{gl,k}$ )**, si valuta, in assenza di dati di progetto, con:

Tipo di tenda	Proprietà ottiche della tenda		Fattori di riduzione con	
	assorbimento	trasmissione	tenda interna	tenda esterna
Veneziane bianche	0,1	0,05	0,25	0,10
		0,1	0,30	0,15
		0,3	0,45	0,35
Tende bianche	0,1	0,5	0,65	0,55
		0,7	0,80	0,75
		0,9	0,95	0,95
Tessuti colorati	0,3	0,1	0,42	0,17
		0,3	0,57	0,37
		0,5	0,77	0,57
Tessuti rivestiti di alluminio	0,2	0,05	0,20	0,08

$$g_{gl+sh,k} \equiv (g_{gl+sh,k} / g_{gl,k}) \times g_{gl,k}$$

Nella valutazione di progetto o nella valutazione standard si prende in considerazione solo l'effetto delle **schermature mobili permanenti**, cioè integrate nell'involucro edilizio e non liberamente montabili e smontabili dall'utente.

**SCHERMATURE MOBILI (UNI/TS 11300-1)**

Il **fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili** (accoppiate al componente vetrato k-esimo)  $F_{sh,gl,k}$  si calcola con la formula:

$$F_{sh,gl,k} = [(1 - f_{sh,with,k}) \times g_{gl,k} + f_{sh,with,k} \times g_{gl+sh,k}] / g_{gl,k}$$

ove

$f_{sh,with,k}$  frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata pesata sull'irraggiamento solare incidente

La **frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata**  $f_{sh,with,k}$  va pesata sull'irradianza solare incidente e dipende dal profilo temporale di questa, quindi dal clima, dalla stagione e dall'esposizione. Per ciascun mese e per ciascuna esposizione il valore di  $f_{sh,with,k}$  può essere ricavato come rapporto tra la somma dei valori orari di irradianza maggiori di 300 W/m<sup>2</sup> e la somma di tutti i valori **orari** di irradianza del mese considerato

**SCHERMATURE MOBILI (UNI/TS 11300-1)**

$$F_{sh,gl,k} = [(1 - f_{sh,with,k}) \times g_{gl,k} + f_{sh,with,k} \times g_{gl+sh,k}] / g_{gl,k}$$

Nella valutazione di progetto o nella valutazione standard i valori di  $f_{sh,with,k}$  devono essere ricavati dal prospetto in funzione del mese e dell'orientamento, procedendo per interpolazione lineare per orientamenti non considerati.

Mese	Nord	Est	Sud	Ovest
1	0,00	0,52	0,81	0,39
2	0,00	0,48	0,82	0,55
3	0,00	0,66	0,81	0,63
4	0,00	0,71	0,74	0,62
5	0,00	0,71	0,62	0,64
6	0,00	0,75	0,56	0,68
7	0,00	0,74	0,62	0,73
8	0,00	0,75	0,76	0,72
9	0,00	0,73	0,82	0,67
10	0,00	0,72	0,86	0,60
11	0,00	0,62	0,84	0,30
12	0,00	0,50	0,86	0,42

## ELEMENTI OPACHI

## APPORTI SOLARI (UNI/TS 11300-1)

Gli apporti (gratuiti) solari  $Q_{sol}$  si valutano con la formula:

$$Q_{sol} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{tr,x}) \times \Phi_{sol,mn,x,j} \right] \right\} \times t$$

ove

$Q_{sol}$  apporti solari [J/periodo oppure kWh/periodo]

$\Phi_{sol,mn,k}$  flusso termico k-esimo di origine solare mediato sul tempo [W oppure kW]

$b_{tr,x}$  fattore di riduzione per l'ambiente adiacente non climatizzato x

$\Phi_{int,mn,x,j}$  flusso termico j-esimo di origine solare nell'ambiente adiacente non climatizzato x, mediato sul tempo [W oppure kW]

t durata del periodo considerato (il mese oppure il periodo considerato) [s oppure h]

**FLUSSO TERMICO DI ORIGINE SOLARE (UNI/TS 11300-1)**

Il **flusso termico di origine solare** sulla superficie k-esima si calcola con la formula:

$$\Phi_{\text{sol,mn,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,mn,k}}$$

ove

$F_{\text{sh,ob,k}}$  **fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni** per l'area di captazione solare effettiva della superficie k-esima, ottenibile da UNI/TS 11300-1 o altre norme

$A_{\text{sol,k}}$  **area di captazione solare effettiva** della superficie k-esima con dato orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale [m<sup>2</sup>], la cui metodologia di valutazione per componenti trasparenti dell'involucro è completamente diversa da quella per componenti opachi

$I_{\text{sol,mn,k}}$  **irradianza solare media giornaliera** (media effettuata su base mensile) incidente sulla superficie k-esima, con orientamento e angolo d'inclinazione sul piano orizzontale assegnati [W/m<sup>2</sup>]

I dati di irradianza solare media giornaliera si possono ottenere dalla **UNI 10349**.

**ELEMENTI VETRATI (UNI/TS 11300-1)**

$$Q_{\text{sol}} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{\text{tr,x}}) \times \Phi_{\text{sol,mn,x,j}} \right] \right\} \times t$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,mn,k}}$$

L'**area di captazione solare effettiva**  $A_{\text{sol,k}}$  [m<sup>2</sup>] di un k-esimo **componente vetrato** (trasparente) dell'involucro si calcola con la formula:

$$A_{\text{sol,k}} = g_{\text{gl,k}} \times F_{\text{sh,gl,k}} \times (1 - F_{\text{F,k}}) \times A_{\text{w,p,k}}$$

ove

$g_{\text{gl,k}}$  **trasmissione solare** della parte trasparente del componente vetrato

$F_{\text{sh,gl,k}}$  **fattore di riduzione degli apporti solari relativo all'utilizzo di schermature mobili**

$F_{\text{F,k}}$  **frazione di area relativa al telaio** (rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente vetrato)

$A_{\text{w,p,k}}$  **area proiettata totale** del componente vetrato (area luce finestra) [m<sup>2</sup>]

**ELEMENTI OPACHI (UNI/TS 11300-1)**

$$Q_{\text{sol}} = \left\{ \left[ \sum_k \Phi_{\text{sol,mn,k}} \right] + \left[ \sum_j (1 - b_{\text{tr,x}}) \times \Phi_{\text{sol,mn,x,j}} \right] \right\} \times t$$

$$\Phi_{\text{sol,mn,k}} = F_{\text{sh,ob,k}} \times A_{\text{sol,k}} \times I_{\text{sol,mn,k}}$$

L'area di captazione solare effettiva  $A_{\text{sol,k}}$  [m<sup>2</sup>] di un k-esimo componente opaco dell'involucro si calcola con la formula:

$$A_{\text{sol,k}} = \alpha_{\text{sol,c,k}} \times R_{\text{se,k}} \times U_{\text{c,k}} \times A_{\text{c,k}}$$

ove

$\alpha_{\text{sol,c,k}}$  **fattore di assorbimento solare** del componente opaco

$R_{\text{se,k}}$  **resistenza termica superficiale** esterna del componente opaco, calcolabile secondo UNI EN ISO 6946 [m<sup>2</sup>K/W]

$U_{\text{c,k}}$  **trasmissione termica** del componente opaco [W/(m<sup>2</sup>K)]

$A_{\text{c,k}}$  **area proiettata totale** del componente opaco (area irradiata) [m<sup>2</sup>]

**TRASMITTANZA TERMICA (UNI EN ISO 6946)**

$$Q_{\text{ht}} = U \times A \times (T_i - T_e) \times t / 1000$$

La **trasmissione termica** o **coefficiente globale di scambio termico**  $U$  [W/(m<sup>2</sup>K)] per una parete piana può essere calcolata con la formula:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k \frac{1}{K_k} + \frac{1}{\alpha_e}} \equiv \frac{1}{R_{\text{si}} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k R_k + R_{\text{se}}} = \frac{1}{R}$$

ove

$\alpha_i, \alpha_e$  coefficienti di scambio termico addittivo interno ed esterno [W/(m<sup>2</sup>K)]

$L_j$  spessore dello strato j-esimo [m]

$\lambda_j$  conduttività termica dello strato j-esimo [W/(m×K)]

$K_k$  conduttanza termica del componente non omogeneo k-esimo [W/(m<sup>2</sup>K)]

$R_k = 1/K_k$  resistenza del componente non omogeneo k-esimo [m<sup>2</sup>K/W]

$R_{\text{si}} = 1/\alpha_i$  resistenza superficiale interna [m<sup>2</sup>K/W]

$R_{\text{se}} = 1/\alpha_e$  resistenza superficiale esterna [m<sup>2</sup>K/W]

$R = 1/U$  resistenza termica totale di parete [m<sup>2</sup>K/W]

**RESISTENZA TERMICA SUPERFICIALE (UNI EN ISO 6946)**

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k \frac{1}{K_k} + \frac{1}{\alpha_e}} \equiv \frac{1}{R_{si} + \sum_j \frac{L_j}{\lambda_j} + \sum_k R_k + R_{se}} = \frac{1}{R}$$

Superfici in aria calma (all'interno di locali)	$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha_i$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
sup. orizzontale, flusso termico ascendente (soffitto, lato interno)	0.10	10
sup. verticale, flusso termico orizzontale (muro, lato interno)	0.13	7.69
sup. orizzontale, flusso termico discendente (pavimento, lato interno)	0.17	5.88
Superfici verso l'esterno ( $v \leq 4$ m/s)	$R_{se}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha_e$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	0.04	25
Superfici verso l'esterno ( $v > 4$ m/s)	$R_{se}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha_e$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	$1/(8.16+4 \times v)$	$8.16+4 \times v$

**TRASMISSIONE E APPORTI DIRETTI (UNI/TS 11300-1)**

L'energia termica che attraversa un componente opaco nel periodo temporale  $t$  è data dalla relazione:

$$Q_k = Q_{tr,k} + Q_{sol,k}$$

Il primo termine della somma rappresenta **gli scambi termici per trasmissione**, in questo caso dall'ambiente esterno a quello interno, dovuti alla differenza di temperatura tra i due ambienti (e quindi negativi se  $T_e < T_i$ ):

$$Q_{tr,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times (T_e - T_i) \times t$$

Il secondo termine della somma rappresenta **gli apporti solari diretti attraverso il componente opaco**:

$$Q_{sol,k} = [F_{sh,ob,k} \times (A_{c,k} \times U_{c,k} \times R_{se,k} \times \alpha_{sol,c,k}) \times I_{sol,mn,k}] \times t$$

**TEMPERATURA SOLE-ARIA**

$$Q_k = Q_{tr,k} + Q_{sol,k}$$

$$Q_{tr,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times (T_e - T_i) \times t$$

$$Q_{sol,k} = [F_{sh,ob,k} \times (A_{c,k} \times U_{c,k} \times R_{se,k} \times \alpha_{sol,c,k}) \times I_{sol,mn,k}] \times t$$

Combinando le relazioni, l'energia che complessivamente attraversa un componente opaco (assunta positiva se entrante) vale:

$$Q_k = A_{c,k} \times U_{c,k} \times (T_e - T_i) \times t + [F_{sh,ob,k} \times (A_{c,k} \times U_{c,k} \times R_{se,k} \times \alpha_{sol,c,k}) \times I_{sol,mn,k}] \times t$$

ovvero

$$Q_k = A_{c,k} \times U_{c,k} \times [(T_e + \Delta T_{eq,sol,k}) - T_i] \times t$$

ove  $\Delta T_{eq,sol,k}$  [K] è un incremento fittizio della temperatura esterna i cui effetti sono equivalenti a quelli dell'irraggiamento solare. Nella relazione, il termine tra parentesi tonde rappresenta la cosiddetta **temperatura sole-aria**:

$$T_{sole-aria,k} = T_e + \Delta T_{eq,sol,k} = T_e + R_{se,k} \times F_{sh,ob,k} \times \alpha_{sol,c,k} \times I_{sol,mn,k}$$

**ASSORBANZA SOLARE E RIFLETTANZA SOLARE**

$$Q_k = Q_{tr,k} + Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times [(T_e + \Delta T_{eq,sol,k}) - T_i] \times t$$

$$\Delta T_{eq,sol,k} = R_{se,k} \times F_{sh,ob,k} \times \alpha_{sol,c,k} \times I_{sol,mn,k}$$

L'incremento della temperatura ambiente esterno dovuto all'irradiazione solare che va a determinare la temperatura sole-aria include l'**assorbanza solare** o **fattore di assorbimento solare** del componente opaco,  $\alpha_{sol,c,k}$ , **complementare a 1 della riflettanza solare** del componente opaco,  $\rho_{sol,c,k}$ :

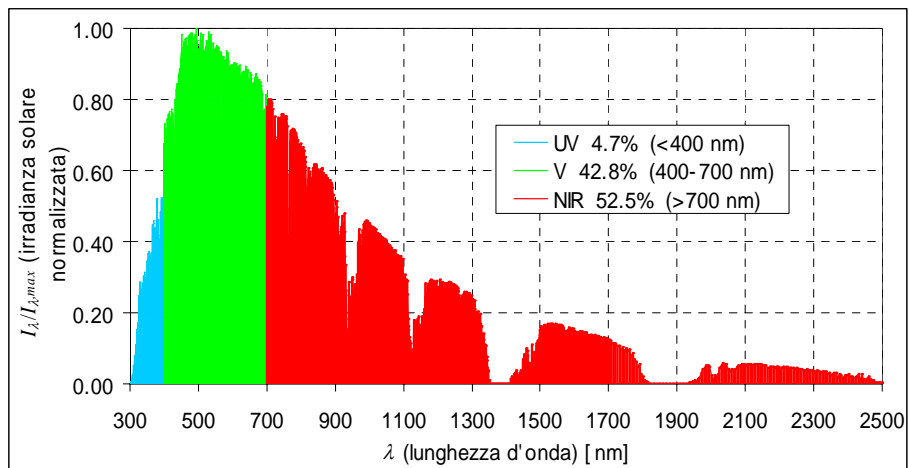
$$\rho_{sol,c,k} = 1 - \alpha_{sol,c,k} \quad \Leftrightarrow \quad \alpha_{sol,c,k} = 1 - \rho_{sol,c,k}$$

L'assorbanza solare di una superficie rappresenta il rapporto tra la radiazione solare assorbita e la radiazione totale incidente

La riflettanza solare di una superficie rappresenta il rapporto tra la radiazione solare riflessa e la radiazione totale incidente.



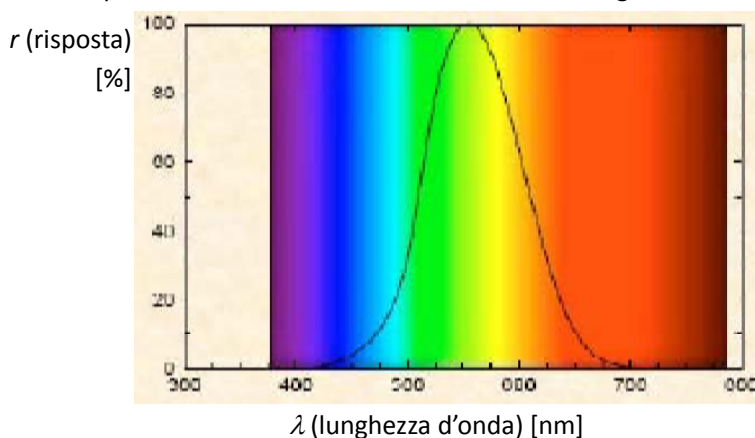
## RIFLETTANZA SOLARE E RIFLESSIONE OTTICA



La riflettanza solare rende misura del comportamento della superficie rispetto a tutto lo spettro dell'irradiazione solare

## RIFLETTANZA SOLARE E RIFLESSIONE OTTICA

Curva di risposta dell'occhio umano in funzione della lunghezza d'onda



Il colore rende misura del comportamento della superficie soltanto nella banda del visibile

## COEFFICIENTE DI CONVEZIONE

La **potenza termica trasmessa per convezione**  $Q'_c$  fra una parete solida a temperatura  $T_s$  ed un fluido che la lambisce a temperatura  $T_f$  è **direttamente proporzionale**:

- alla **differenza di temperatura** fra parete solida e fluido
- all'**area**  $A_s$  della superficie di parete lambita dal fluido

Introducendo una **costante di proporzionalità** che permetta di rispettare le dimensioni fisiche delle grandezze in gioco, si ottiene la **legge di Newton per la convezione**:

$$Q'_c = h_c \times A_s \times (T_s - T_f)$$

La costante di proporzionalità  $h_c$  è detta **coefficiente di (trasmissione del calore per) convezione**, e **NON** è una proprietà fisica. Deve essere necessariamente espressa in  $W/(m^2 \times ^\circ C)$  oppure in  $W/(m^2 \times K)$ .

## COEFFICIENTE DI CONVEZIONE (UNI EN ISO 6946)

Molti problemi sono sufficientemente ripetitivi da garantire che il corrispondente coefficiente di convezione  $h_c$  possa essere assunto come noto sperimentalmente, con una precisione accettabile per la maggior parte delle applicazioni.

Coefficiente di convezione sulle **superfici interne** delle pareti edili ( $h_c = h_{ci}$ ):

- per flusso di calore ascendente  $h_{ci} = 5.0 W/(m^2 \times K)$
- per flusso di calore orizzontale  $h_{ci} = 2.5 W/(m^2 \times K)$
- per flusso di calore discendente  $h_{ci} = 0.7 W/(m^2 \times K)$

Coefficiente di convezione sulle **superfici esterne** delle pareti edili ( $h_c = h_{ce}$ ):

$$h_{ce} = 4 + 4 \times v \quad [W/(m^2 \times K)]$$

ove

$v$       velocità del vento [m/s]

**COEFFICIENTE DI IRRAGGIAMENTO (UNI EN ISO 6946)**

$$Q'_r = A_s \times \varepsilon_{\text{ter}} \times \sigma_0 \times (T_s^4 - T_a^4) \cong A_s \times h_r \times (T_s - T_a)$$

Nella relazione si è introdotto un **coefficiente di scambio termico per irraggiamento**  $h_r$ , dimensionalmente omogeneo al coefficiente di scambio termico per convezione:

$$h_r = \varepsilon_{\text{ter}} \times h_{r,\text{max}} = \varepsilon_{\text{ter}} \times \sigma_0 \times 4 \times T_m^3$$

ove

$h_{r,\text{max}}$  coefficiente di scambio termico per un corpo nero [W/(m<sup>2</sup>K)]

$\varepsilon_{\text{ter}}$  emissività della superficie ( $\approx 0.9$  per superfici non metalliche)

$T_m$ [°C]	$h_{r,\text{max}}$ [W/(m <sup>2</sup> ×K)]	$0.9 \times h_{r,\text{max}}$ [W/(m <sup>2</sup> ×K)]
-10	4.13	3.72
0	4.62	4.16
10	5.15	4.63
20	5.71	5.14
30	6.32	5.69

**COEFFICIENTE DI ADDUZIONE E RESISTENZA SUPERFICIALE**

Potenza termica **scambiata per irraggiamento termico** tra una superficie e l'ambiente circostante:

$$Q'_r = h_r \times A_s \times (T_s - T_a)$$

Potenza termica **scambiata per convezione** tra una superficie e l'aria ambiente circostante ( $T_{\text{aria}} \approx T_a$ ):

$$Q'_c = h_c \times A_s \times (T_s - T_a)$$

Potenza termica **complessivamente scambiata** per convezione e irraggiamento:

$$Q' = Q'_r + Q'_c = h_r \times A_s \times (T_s - T_a) + h_c \times A_s \times (T_s - T_a) = \alpha \times A_s \times (T_s - T_a)$$

Il coefficiente  $\alpha$  (indicato anche con  $h$  in norme e manuali) è detto **coefficiente di adduzione** (o liminare).

$$\alpha = h_c + h_r = \frac{1}{R_s}$$

Con tale coefficiente, oppure con il suo inverso  $R_s$ , detto **resistenza superficiale**, si tiene conto delle interazioni per convezione e per irraggiamento fra superficie solida in esame ed ambiente.

**RESISTENZA TERMICA SUPERFICIALE (UNI EN ISO 6946)**

Superfici in aria calma (all'interno di locali)	$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha_i$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
sup. orizzontale, flusso termico ascendente (soffitto, lato interno)	0.10	10
sup. verticale, flusso termico orizzontale (muro, lato interno)	0.13	7.69
sup. orizzontale, flusso termico discendente (pavimento, lato interno)	0.17	5.88
Superfici verso l'esterno ( $v \leq 4$ m/s)	$R_{se}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha_e$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	0.04	25
Superfici verso l'esterno ( $v > 4$ m/s)	$R_{se}$ [m <sup>2</sup> K/W]	$\alpha_e$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	$1/(8.16+4 \times v)$	$8.16+4 \times v$

ai fini del calcolo di  $R_s$  (ovvero di  $\alpha$ ), si assume:

$$\varepsilon_{ter,i} \approx 0.9, T_{mi} = 20^\circ\text{C}, \varepsilon_{ter,e} \approx 0.9, T_{me} = 0^\circ\text{C}, v = 4 \text{ m/s}$$

Tali assunzioni sono conservative nel calcolo invernale, ma non in quello estivo

**RESISTENZA SUPERFICIALE ESTERNA**

Per quanto visto precedentemente, la **resistenza superficiale esterna**  $R_{se,k}$  [m<sup>2</sup>K/W] include i contributi convettivo e radiativo allo scambio termico:

$$R_{se,k} = \frac{1}{h_{ce} + h_{re,k}}$$

ove

$h_{ce}$  **coefficiente di convezione esterno** [W/(m<sup>2</sup>K)]:

$$h_{ce} = 4 + 4 \times v$$

$v$  velocità del vento [m/s]

$h_{re,k}$  **coefficiente di irraggiamento esterno** [W/(m<sup>2</sup>K)]

$$h_{re,k} = \varepsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3 \equiv \varepsilon_{ter,k} \times h_{re,max}(T_{me,k})$$

$\varepsilon_{ter,k}$  **emissività termica della superficie esterna** del componente opaco k-esimo ( $\varepsilon_{ter} \approx 0.9$  per sup. non metalliche)

$\sigma_0$  =  $5.67 \times 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>) costante di Stefan-Boltzmann

$T_{me,k}$  temperatura (termodinamica assoluta) media della sup. considerata e dell'ambiente esterno [K]

### RIFLETTANZA, EMISSIVITA' E APPORTI SOLARI

$$Q_k = Q_{tr,k} + Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times [(T_e + \Delta T_{eq,sol,k}) - T_i] \times t$$

$$\Delta T_{eq,sol,k} = R_{se,k} \times F_{sh,ob,k} \times (1 - \rho_{sol,c,k}) \times I_{sol,mn,k}$$

$$R_{se,k} = \frac{1}{h_{ce} + h_{re,k}} = \frac{1}{(4 + 4 \times v) + \varepsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3}$$

In definitiva, il contributo degli **apporti solari attraverso i componenti opachi dipende**, oltre che dalle condizioni meteorologiche del sito (irradianza solare media giornaliera, temperatura esterna, velocità del vento) e di ombreggiamento della parete, **dalla riflettanza solare e dall'emissività termica**:

$$Q_k = Q_{tr,k} + Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times \left[ T_e + \frac{F_{sh,ob,k} \times (1 - \rho_{sol,k}) \times I_{sol,mn,k}}{(4 + 4 \times v) + \varepsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3} - T_i \right] \times t$$

Per il **calcolo invernale** si assume generalmente  $T_{me,k} = 0^\circ\text{C} \equiv 273\text{ K}$ ,  $v = 4\text{ m/s}$ .

Per il **calcolo estivo** si può assumere  $T_{me,k} = 30^\circ\text{C} \equiv 303\text{ K}$  e  $v = 0\text{ m/s}$  (scelta conservativa), oppure  $v$  pari alla velocità media del vento nella località in esame.

### RIFLETTANZA, EMISSIVITA' E APPORTI SOLARI

$$Q_k = Q_{tr,k} + Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times [(T_e + \Delta T_{eq,sol,k}) - T_i] \times t$$

$$Q_{tr,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times (T_e - T_i) \times t$$

$$\Delta T_{eq,sol,k} = \frac{F_{sh,ob,k} \times (1 - \rho_{sol,k}) \times I_{sol,mn,k}}{(4 + 4 \times v) + \varepsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3}$$

Confrontando gli apporti totali con quelli per trasmissione dovuti alla differenza di temperatura reale, si desume che i soli **apporti solari** sono dati dalla formula:

$$Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times \Delta T_{eq,sol,k} \times t = A_{c,k} \times U_{c,k} \times \left[ \frac{F_{sh,ob,k} \times (1 - \rho_{sol,k}) \times I_{sol,mn,k}}{(4 + 4 \times v) + \varepsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3} \right] \times t$$

ovvero

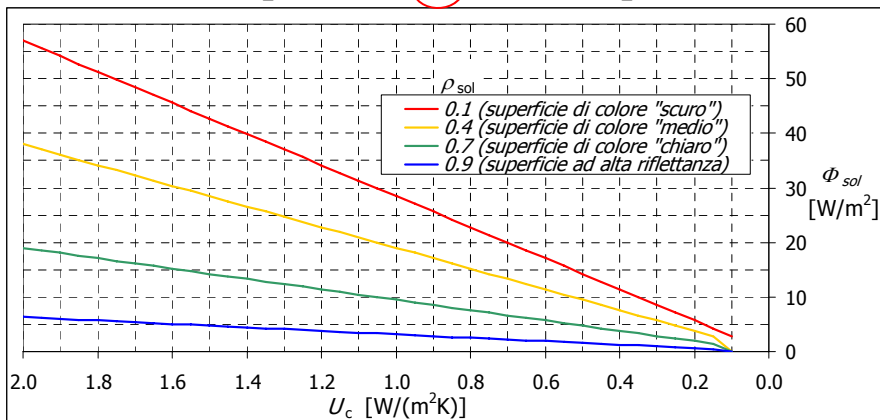
$$Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times \Delta T_{eq,sol,k} \times t \equiv A_{c,k} \times \Phi_{sol,k} \times t$$

ove il **flusso termico apportato per unità superficie irradiata**  $\Phi_{sol,k}$  [W/m<sup>2</sup>] è

$$\Phi_{sol,k} = U_{c,k} \times \Delta T_{eq,sol,k} = U_{c,k} \times \left[ \frac{F_{sh,ob,k} \times (1 - \rho_{sol,k}) \times I_{sol,mn,k}}{(4 + 4 \times v) + \varepsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3} \right]$$

### APPORTI SOLARI ESTIVI (MEDI GIORNALIERI)

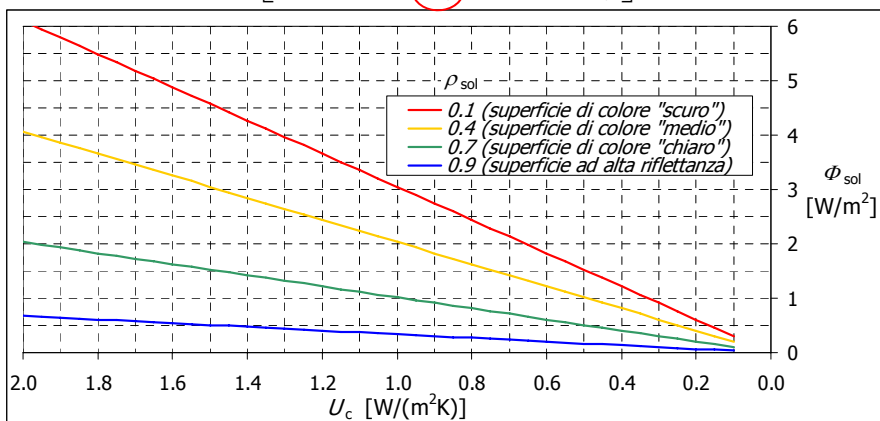
$$Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times \left[ \frac{F_{sh,ob,k} \times (1 - \rho_{sol,k}) \times I_{sol,mn,k}}{(4 + 4 \times v) + \epsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3} \right] \times t \equiv A_{c,k} \times \Phi_{sol,k} \times t$$



Modena, superficie orizzontale, mese di luglio,  $v=0$  m/s,  $e_{ter}=0.9$

### APPORTI SOLARI INVERNALI (MEDI GIORNALIERI)

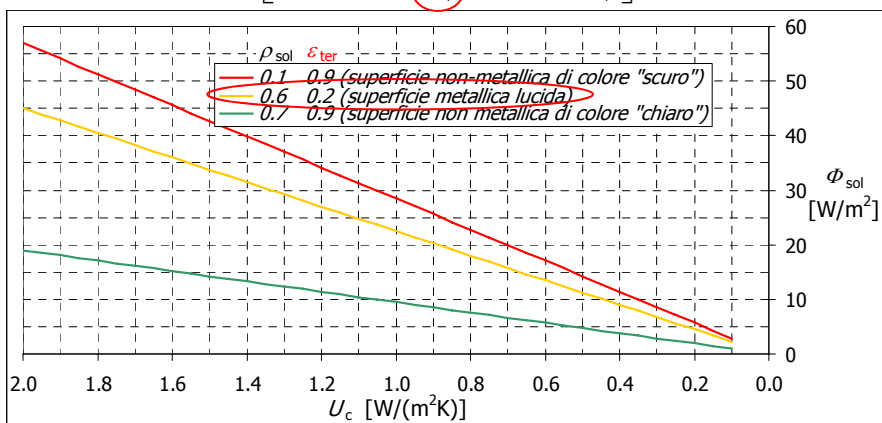
$$Q_{sol,k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times \left[ \frac{F_{sh,ob,k} \times (1 - \rho_{sol,k}) \times I_{sol,mn,k}}{(4 + 4 \times v) + \epsilon_{ter,k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{me,k}^3} \right] \times t \equiv A_{c,k} \times \Phi_{sol,k} \times t$$



Modena, superficie orizzontale, mese di gennaio,  $v=1.6$  m/s,  $e_{ter}=0.9$

## SUPERFICI NON METALLICHE E METALLICHE

$$Q_{\text{sol},k} = A_{c,k} \times U_{c,k} \times \left[ \frac{F_{\text{sh},\text{ob},k} \times (1 - \rho_{\text{sol},k}) \times I_{\text{sol},\text{mn},k}}{(4 + 4 \times v) + \varepsilon_{\text{ter},k} \times 4 \times \sigma_0 \times T_{\text{me},k}^3} \right] \times t \equiv A_{c,k} \times \Phi_{\text{sol},k} \times t$$



Modena, superficie orizzontale, mese di luglio,  $v=0$  m/s

## COOL ROOFS

## COOL ROOFS (TETTI FREDDI)

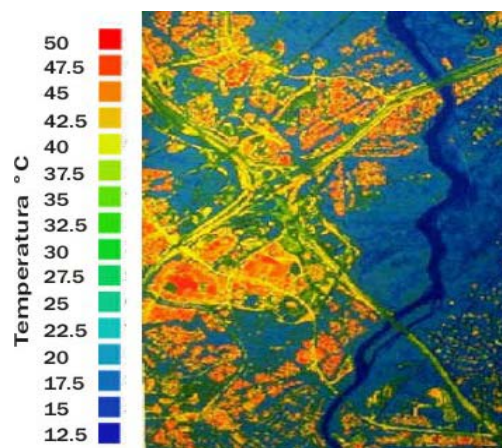
Nella terminologia tecnica U.S.A., un **cool roof** è una copertura che si riscalda poco grazie a:

- Riflettanza solare elevata
- Emissività termica nell'infrarosso elevata
- Stabilità nel tempo delle proprietà superficiali
- Ridotta tendenza allo sporciamento

## COOL ROOFS (TETTI FREDDI)

I cool roof sono nati in risposta al problema dell'**isola di calore urbana** (urban heat island), fenomeno che si verifica nelle aree altamente urbanizzate

- Le coperture degli edifici e del manto stradale si riscaldano a causa dell'irradiazione solare
- Gli edifici e l'asfalto rilasciano calore all'aria, di giorno e anche di notte
- La temperatura dell'aria rimane 4÷5°C e oltre più alta che nelle campagne





**COOL ROOFS (TETTI FREDDI)**

Vantaggi **diretti** (per l'utenza):

- Minori costi di condizionamento
- Maggiore benessere all'interno degli edifici (minore temperatura percepita, no effetto testa calda)
- Minori sollecitazioni strutturali e a fatica del tetto
- Minore degrado chimico-fisico dei materiali (ricoprimenti, isolanti, ecc.)

Vantaggi **indiretti** (per la collettività):

- Minore rilascio di inquinanti per degrado chimico-fisico dei materiali
- Minore riscaldamento dell'ambiente urbano circostante (isola di calore)
- Riduzione dello smog foto-chimico
- Riduzione dei consumi elettrici e del rilascio di anidride carbonica

**COOL ROOFS (TETTI FREDDI)**

**Svantaggi:**

- Impatto estetico (eventuale) in contesti di interesse storico artistico
- Costo di installazione o conversione (ridotto e ammortizzabile)
- Necessità di manutenzione periodica (lavaggio)

## COOL ROOFS E ISOLAMENTO TERMICO

Conviene l'installazione di un cool roof:

- Nelle zone in cui il clima è caldo e soleggiato per buona parte dell'anno
- Per edifici bassi e con elevata estensione in pianta
- Se il consumo dell'impianto di climatizzazione è elevato e/o il comfort estivo insufficiente
- Quando si hanno problemi di fatica termica delle strutture

È invece preferibile investire in isolamento termico:

- Nelle zone in cui il clima è freddo e poco soleggiato per buona parte dell'anno (località montane, Europa del Nord)
- In edifici alti e con ridotta estensione in pianta
- Se l'isolamento termico è assente o inadeguato

## COOL ROOFS E ISOLAMENTO TERMICO

Un cool roof NON diminuisce i consumi energetici invernali: fa perdere gli apporti solari gratuiti e causa una maggiore perdita di calore verso l'ambiente esterno per irraggiamento termico nell'infrarosso.

Tuttavia, nei climi prevalentemente caldi o con estati torride, i vantaggi che si hanno nel periodo estivo compensano largamente gli svantaggi nel periodo invernale.

L'adozione combinata di un cool roof e di un migliore isolamento termico è in generale vantaggiosa

**COOL ROOFS: SOLUZIONI REALIZZATIVE****Verniciatura** delle superfici

- Riflettanza solare dipendente dal colore (>0.80÷0.90 per colore bianco)
- Emissività termica influenzata dal materiale di base (0.50÷0.90)
- Problemi di adesione al materiale di base e di durata

**Membrane** polimeriche

- Riflettanza solare dipendente dal colore (>0.70 per colore bianco)
- Emissività termica elevata (>0.90)

**Granulati** chiari su base asfaltata

- Riflettanza solare dipendente dal colore (>0.60 per colore bianco)
- Emissività termica elevata (>0.90)

**Scaglie riflettenti** (metalli, ossidi) disperse in matrice bituminosa

- Riflettanza solare >0.50
- Emissività termica >0.50

**COOL ROOFS: SOLUZIONI REALIZZATIVE****Piastrelle e pietre** in lastra

- Riflettanza solare >0.70÷0.80
- Emissività termica elevata >0.90

**Tetti metallici** (alluminio, rame, ecc.) verniciati chiari

- Riflettanza solare >0.70÷0.80
- Emissività termica >0.60÷0.70

Una **tegola** o un **mattone in terracotta rossa** presentano riflettanza solare <0.30, emissività termica >0.90.

Una **guaina catramata nera** presenta riflettanza solare <0.10, emissività termica >0.90

## COOL ROOFS: STUDI SCIENTIFICI

Principali laboratori attivi:

- Oak Ridge National Laboratory
- Florida Solar Energy Center
- Lawrence Berkeley Laboratory



Location	Description	Insulation Roof Slope	Albedo uncoated	Albedo coated	Cooling Energy Savings
Sacramento, CA	One-Story Residence	R-11 Flat Roof	0.18	0.77	67%
Sacramento, CA	One-Story School	R-19 Flat Roof	0.08	0.68	40%
Cocoa Beach, FL	One-Story Residence	R-11 22° Slope	0.21	0.70	25%
Cocoa Beach, FL	One-Story Residence	Uninsulated Flat Roof	0.20	0.73	43%
Cocoa Beach, FL	One-Story School	R-19 Flat Roof	0.23	0.67	35%

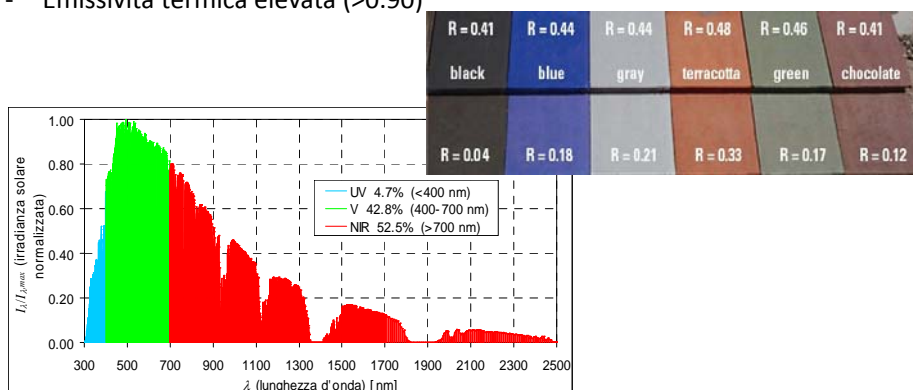
U.06 – Apporti gratuiti

119/127

## COOL COLORS

Si basano su pigmenti depositati su un substrato ad alta riflettività nell'infrarosso vicino, che conferiscono:

- Riflettanza solare relativamente elevata (>0.40÷0.50 per colori tradizionali dell'edilizia come il rosso mattone o il grigio chiaro)
- Emissività termica elevata (>0.90)



U.06 – Apporti gratuiti

120/127

## COOL ROOFS: PROGRAMMI DI INCENTIVAZIONE

### Energy Star

Possono fregiarsi del logo materiali per coperture edilizie orizzontali o poco inclinate con:

- riflettanza solare iniziale >0.65
- riflettanza solare dopo 3 anni >0.50 (misurata in tre installazioni diverse, di cui almeno una in un'area metropolitana)
- emissività termica >0.80



### LEED Green Building Rating System

È un sistema volontario di classificazione della sostenibilità energetica e ambientale degli edifici.

Viene definisce un sistema di classificazione (rating) basato sull'attribuzione di crediti per ciascuno dei requisiti soddisfatti

(approfondimento in una prossima lezione)



## COOL ROOFS: PROGRAMMI DI CERTIFICAZIONE

### Cool Roof Rating Council (CRRC)

Organizzazione nata nel 1998 per sviluppare metodi di misura di riflettanza solare ed emissività termica dei prodotti per coperture edili

- Non prescrive valori minimi delle proprietà emissive, ma procedure per la loro determinazione
- La procedura standard prevede l'analisi di campioni sia nuovi che dopo invecchiamento di 3 anni, installati in 3 località diverse di cui almeno una in area metropolitana
- Le analisi sono svolte da laboratori certificati e indipendenti
- I materiali analizzati possono fregiarsi dell'etichetta

	Initial	Weathered
Solar Reflectance	0.00	Pending
Thermal Emittance	0.00	Pending
Rated Product ID	XXXXX	
Licensed Manufacturer ID	XXXXX	
Classification	Production Line	

Cool Roof Rating Council ratings are determined for a fixed set of conditions, and may not be appropriate for determining seasonal energy performance. The actual effect of solar reflectance and thermal emittance on building performance may vary.  
Manufacturer of product stipulates that these ratings were determined in accordance with the applicable Cool Roof Rating Council procedures.

**COOL ROOFS: STUDIO SPERIMENTALE AL DIMeC**

La temperatura interna estiva >35°C, combinata con l'umidità modenese, rendeva l'edificio inabitabile tra giugno e settembre

U.06 – Apporti gratuiti

123/127

**COOL ROOFS: STUDIO SPERIMENTALE AL DIMeC**

Preparazione della superficie  
(pulitura e lavaggio)



Energy Seal Coatings ACU-SHIELD

Tipologia	Vernice sigillante a base acqua
Riflettanza solare	<b>0.88</b> (0.84 dopo tre anni)
Emissività termica	<b>0.94</b> (0.98 con ACU-GLOSS)



U.06 – Apporti gratuiti

124/127

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

**COOL ROOFS: STUDIO SPERIMENTALE AL DIMeC**

Applicazione  
(tre passate  
successive e finitura  
con ACU-GLOSS)



U.06 – Apporti gratuiti

125/127

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011-2012

**COOL ROOFS: STUDIO SPERIMENTALE AL DIMeC**

Stato iniziale

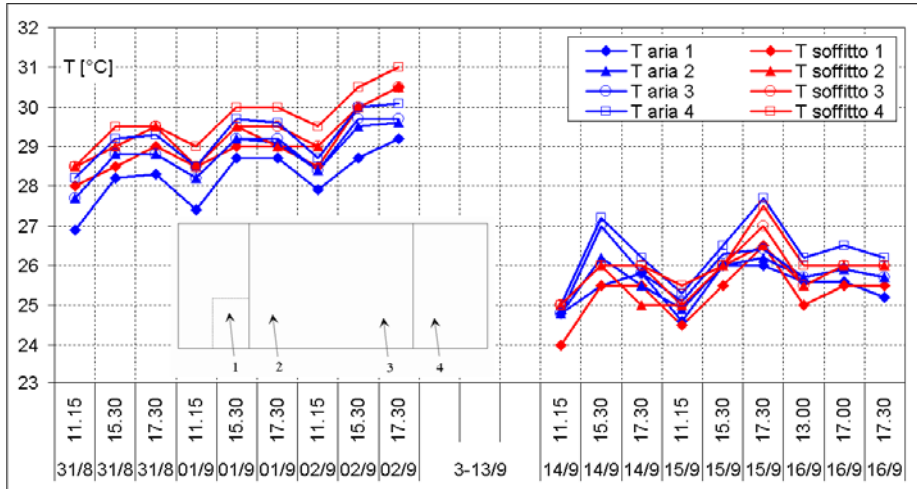


Stato finale

U.06 – Apporti gratuiti

126/127

**COOL ROOFS: STUDIO SPERIMENTALE AL DIMeC**



Si è riscontrata una diminuzione significativa delle temperature a terra (-3.0°C) e al soffitto (-3.7°C)