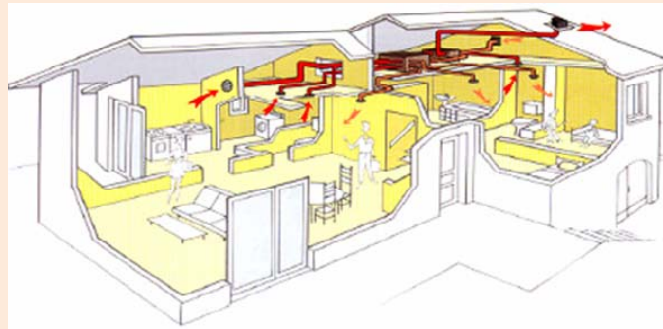


TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011/2012

U.02 – *Involucro edilizio*



U.02 – *Involucro edilizio*

1/68

TERMOTECNICA E IMPIANTI – A.A. 2011/2012

INDICATORI DI PRESTAZIONE E FABBISOGNI

U.02 – *Involucro edilizio*

2/68

INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

(D.Lgs. n. 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/(m²anno) o kWh/(m³anno).

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

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

(D.Lgs. n. 192/2005 e s.m.i., 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 ENERGETICA

(Delibera A.L. n. 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/m²anno).

A⁺	$EP_{tot} \text{ inf } 25$
A	$EP_{tot} \text{ inf } 40$
B	$40 < EP_{tot} < 60$
C	$60 < EP_{tot} < 90$
D	$90 < EP_{tot} < 130$
E	$130 < EP_{tot} < 170$
F	$170 < EP_{tot} < 210$
G	$EP_{tot} > 210$

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

INDICATORI DI PRESTAZIONE E FABBISOGNI ENERGETICI

$$EP_i = \frac{\sum Q_{p,H,mese}}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP = \frac{\sum Q_{p,H,mese}}{V}$$

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

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

Note
¹parete isolata
²pannelli non disaccoppiati termicamente dalle strutture

FABBISOGNO TERMICO INVERNALE (UNI/TS 11300-1)

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

SCAMBI TERMICI (UNI/TS 11300-1)

Gli **scambi termici tra esterno e interno** per trasmissione e ventilazione si valutano [in kWh], comprendendo anche le dispersioni verso la volta celeste, con la formula:

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} = [H \times (T_{i,set} - T_e) + \sum_k (F_{r,k} \times \Phi_{r,mn,k})] \times t / 1000$$

ove

H **coefficiente di dispersione per trasmissione e ventilazione** [W/K], somma dei coeff.ti di scambio termico per trasmissione H_{tr} e per ventilazione H_{ve} :

$$H = H_{tr} + H_{ve}$$

$T_{i,set}$ temperatura interna di regolazione [20°C nel periodo invernale]

T_e temperatura esterna media mensile [°C]

$F_{r,k}$ fattore di forma tra il componente edilizio k-esimo e la volta celeste

$\Phi_{r,mn,k}$ **extra flusso termico dovuto alla radiazione IR verso la volta celeste** dal componente edilizio k-esimo, mediato sul tempo [W oppure kW]

t durata del periodo di calcolo considerato [h]

Il calcolo si effettua mese per mese e poi si sommano i risultati per tutti i mesi del periodo di riscaldamento

SCAMBI TERMICI (UNI EN ISO 13790)

L'**extra flusso verso la volta celeste** si calcola mediante la relazione:

$$\Phi_{r,mn,k} = R_{se} \times U_k \times A_k \times h_{r,k} \times \Delta\theta_{er}$$

ove

A_k superficie di scambio del componente edilizio k-esimo [m²]

$h_{r,k}$ coefficiente di scambio termico per irraggiamento [W/(m²K)]

$$h_{r,k} = 5 \times \varepsilon_k$$

ε_k emissività termica superficiale esterna

$\Delta\theta_{er}$ = 11 K, differenza tra temperatura dell'aria esterna e temperatura apparente del cielo (variabile, limitata in presenza di cappa di vapore)

Il **fattore di forma tra componente edilizio k-esimo e volta celeste** si calcola come:

$$F_{r,k} = F_{sh,ob,dif} \times (1 + \cos S) / 2$$

ove

S angolo d'inclinazione sull'orizzonte [rad] $\Rightarrow (1 + \cos S) / 2 = 1$ per $S=0$

$F_{sh,ob,dif}$ fattore di riduzione per ombreggiatura relativo alla sola radiazione diffusa, pari a 1 in assenza di ombreggiature esterne

COEFFICIENTE DI UTILIZZO INVERNALE

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

$$\eta_{H,gn} = f(\gamma_H, \tau)$$

ove

γ_H **rapporto tra apporti gratuiti** (interni e solari) e **dispersioni** (per trasmissione e ventilazione)

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \equiv \frac{Q_{H,int} + Q_{H,sol}}{Q_{H,tr} + Q_{H,ve}}$$

τ **costante tempo** della zona termica [s]

$$\tau = \frac{C_m}{H} \equiv \frac{C_m}{H_{tr} + H_{ve}}$$

C_m **capacità termica interna** (efficace) dell'edificio [J/K]

H **coefficiente di dispersione** (per trasmissione e ventilazione) [W/K]

COEFFICIENTE DI UTILIZZO INVERNALE

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

$$\eta_{H,gn} = f(\gamma_H, \tau)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \equiv \frac{Q_{H,int} + Q_{H,sol}}{Q_{H,tr} + Q_{H,ve}}$$

$$\tau = \frac{C_m}{H} \equiv \frac{\sum_j \kappa_j \times A_j}{H_{tr} + H_{ve}}$$

Nella costante tempo figurano:

κ_j **capacità termica per unità di area** della j-esima superficie interna [J/(m²K)]

A_j **area** della j-esima superficie interna [m²]

La capacità termica per unità di area si ricava secondo la procedura descritta dalla norma UNI EN ISO 13786, che tiene conto della propagazione delle oscillazioni di temperatura nei primi strati della parete.

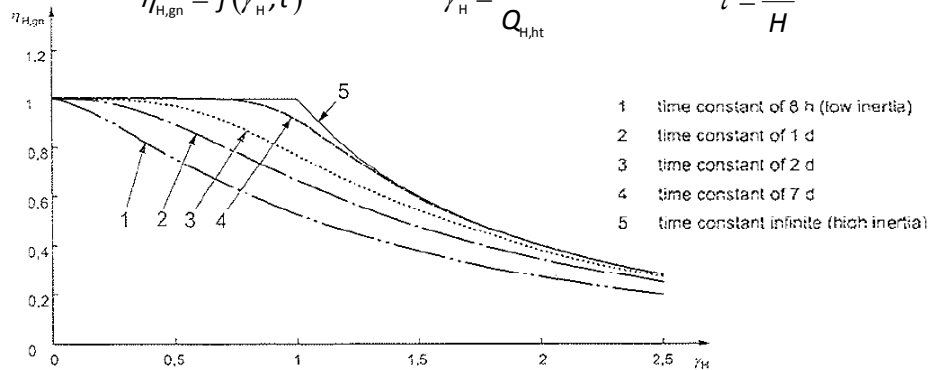
COEFFICIENTE DI UTILIZZO INVERNALE

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

$$\eta_{H,gn} = f(\gamma_H, \tau)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$$

$$\tau = \frac{C_m}{H}$$



All'aumentare del rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni, ovvero al diminuire della costante tempo dell'edificio, aumenta la probabilità che gli apporti gratuiti diano luogo a surriscaldamenti interni e, quindi, a maggiori dispersioni.

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**.

TEMPERATURA ESTERNA MEDIA MENSILE (UNI 10349)

(seguito del prospetto VI)

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
38	IM	Imperia	10	8,6	9,4	11,6	14,7	17,9	21,7	24,5	24,1	21,8	17,4	12,7	9,5
39	IS	Isernia	423	5,5	5,7	8,6	11,2	15,5	20,1	23,1	22,8	19,7	14,7	10,3	6,9
40	KR	Crotone	8	9,5	9,8	11,5	14,7	18,4	22,9	26,2	26,0	23,5	19,9	15,1	11,2
41	LC	Lecce	214	3,9	5,7	9,6	13,3	16,0	20,1	22,6	22,1	19,2	14,3	9,2	5,3
42	LD	Lodi	87	0,9	3,3	8,6	13,5	17,8	22,5	24,5	23,4	19,6	13,4	7,3	2,5
43	LE	Lecce	49	9,0	9,3	11,4	14,7	18,9	23,4	26,1	25,9	23,0	18,5	14,3	10,7
44	LI	Livorno	3	7,5	8,2	11,1	13,9	17,3	21,8	24,4	24,1	21,5	17,1	12,7	9,0
45	LT	Latina	21	6,3	9,0	10,9	13,5	16,9	20,9	23,7	23,8	21,5	17,9	12,9	9,5
46	LU	Lucca	19	6,1	7,2	10,1	13,3	17,1	21,2	23,8	23,6	20,9	15,8	10,9	7,3
47	MC	Macerata	315	3,8	5,3	8,3	12,4	16,3	20,7	23,5	23,2	19,9	14,4	9,5	5,7
48	ME	Messina	3	11,7	12,0	13,2	15,7	19,2	23,5	26,4	26,5	24,2	20,3	16,6	13,3
49	MI	Milano	122	1,7	4,2	9,2	14,0	17,9	22,5	25,1	24,1	20,4	14,0	7,9	3,1
50	MN	Mantova	19	1,0	3,3	8,4	13,3	17,4	22,0	24,3	23,6	20,0	14,0	8,0	2,9
51	MO	Modena	94	1,4	3,5	8,6	13,3	17,2	21,8	24,3	23,6	20,1	14,0	8,1	3,1
52	MS	Matera-Cannara	65	6,8	7,4	10,3	13,2	16,9	21,3	23,7	23,3	20,6	15,9	11,3	7,9
53	MT	Matera	200	7,7	8,4	10,5	14,2	18,5	23,6	26,7	26,2	22,9	18,0	13,3	9,3
54	NA	Napoli	17	10,5	10,6	13,2	16,0	19,5	24,1	26,7	26,5	23,8	19,6	15,5	12,1
55	NO	Novara	159	0,9	3,3	8,4	13,1	17,4	21,8	24,3	23,3	19,2	12,9	7,1	2,4
56	NU	Nuoro	546	6,2	8,7	9,5	12,4	15,7	21,1	24,3	24,1	20,9	15,7	11,2	7,6
57	OR	Oristano	9	9,6	10,2	12,3	14,5	17,4	21,4	23,5	24,1	22,6	18,7	14,4	10,8
58	PA	Palermo	14	11,1	11,6	13,1	15,5	18,8	22,7	25,5	25,4	23,6	19,8	16,0	12,6
59	PC	Piacenza	61	0,1	2,4	7,7	12,2	16,3	20,7	23,2	22,3	18,9	12,8	6,9	2,0
60	PD	Padova	12	1,9	4,0	8,4	13,0	17,1	21,3	23,6	23,1	19,7	13,8	8,2	3,6
61	PE	Pescara	4	7,2	8,4	10,9	14,2	18,5	22,7	25,4	25,0	22,0	17,4	12,5	8,7
62	PG	Perugia	483	4,0	5,0	8,1	11,5	15,4	20,1	23,1	22,7	19,6	14,1	9,4	5,5
63	PI	Pisa	4	6,7	7,7	10,6	13,6	17,2	21,1	23,5	23,5	20,9	16,3	11,7	7,8
64	PN	Pordenone	24	2,3	4,4	8,1	12,1	15,7	19,4	21,5	21,2	18,3	12,9	7,4	3,8
65	PO	Prato	61	5,6	6,9	10,4	14,3	18,0	22,3	25,0	24,7	21,6	16,1	10,9	6,8
66	PR	Parma	57	0,9	3,5	8,9	13,7	17,6	22,2	24,7	24,0	20,2	14,1	8,0	2,8
67	PS	Pesaro e Urbino	11	3,6	4,7	8,4	12,9	16,2	20,6	23,2	22,7	19,7	14,7	9,9	5,4
68	PT	Pistoia	67	5,3	6,5	9,9	13,4	17,2	21,3	24,1	23,6	20,9	15,3	10,4	6,3
69	PV	Pavia	77	0,5	3,2	8,4	12,9	17,1	21,3	23,5	22,7	19,3	13,3	7,1	2,3
70	PZ	Potenza	819	3,6	4,3	6,8	10,6	14,7	19,1	21,9	21,9	18,9	13,7	9,3	5,2
71	RA	Ravenna	4	1,9	3,4	8,1	12,4	16,4	20,9	23,4	22,9	19,7	14,3	8,9	3,8
72	RC	Raggio di Calabria	15	11,1	11,5	12,8	15,3	18,7	23,0	25,7	26,1	23,8	20,0	16,5	12,7
73	RE	Reggio nell'Emilia	58	1,1	3,2	8,2	12,7	16,9	21,2	23,8	22,9	19,6	13,3	7,2	2,6
74	RG	Ragusa	502	8,6	9,2	11,2	14,1	18,5	23,6	26,6	26,4	23,2	18,4	14,3	10,1

(segue prospetto)

U.02 – Involucro edilizio

13/68

DURATA CONVENZIONALE PERIODO DI RISCALDAMENTO

(D.P.R. 412/1993 e UNI/TS 11300-1)

- A 1 dicembre – 15 marzo
- B 1 dicembre – 31 marzo
- C 15 novembre – 31 marzo
- D 1 novembre – 15 aprile
- E 15 ottobre – 15 aprile
- F 5 ottobre – 22 aprile

La durata della stagione di calcolo è determinata in funzione della zona climatica, dipendente dai gradi giorno della località.

GRADI GIORNO

$$GG = \sum_{\text{mese}} [(q_i - q_{e,\text{mese}}) \times G_{\text{mese}}]$$

ove

q_i temperatura di progetto (edilizia residenziale, inverno $\Rightarrow 20^\circ\text{C}$)

$q_{e,\text{mese}}$ temperatura media mensile esterna (\Rightarrow UNI 10349)

G_{mese} giorni a riscaldamento attivato nel mese in esame

U.02 – Involucro edilizio

14/68

GRADI GIORNO E ZONIZZAZIONE CLIMATICA

(D.Lgs. n. 192/2005 e s.m.i., Allegato C – Requisiti energetici degli edifici)

1. Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale

- 1.1 Edifici residenziali della classe E1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme
 Tabella 1.1 Valori limite, applicabili dal 1 gennaio 2010, dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale, espresso in kWh/m² anno

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica										
	A		B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG	
≤0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8	
≥0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116	

GRADI GIORNO E ZONIZZAZIONE CLIMATICA

(D.Lgs. n. 192/2005 e s.m.i., Allegato C – Requisiti energetici degli edifici)

1. Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale

[...]

I valori limite riportati nelle tabelle sono espressi in funzione della zona climatica [...] e del rapporto di forma dell'edificio S/V, ove:

- S, espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento), il volume riscaldato V;
- V è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Per valori di S/V compresi nell'intervallo 0,2 – 0,9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella si procede mediante interpolazione lineare.

Per località caratterizzate da un numero di gradi giorno superiori a 3001 i valori limite sono determinati per estrapolazione lineare [...]

GRADI GIORNO E ZONIZZAZIONE CLIMATICA

(D.Lgs. n. 192/2005 e s.m.i., Allegato C – Requisiti energetici degli edifici)

$$EP_{i,lim,GG_{min}} = EP_{i,lim,GG_{min},0.2} + \frac{S/V - 0.2}{0.9 - 0.2} \times (EP_{i,lim,GG_{min},0.9} - EP_{i,lim,GG_{min},0.2})$$

$$EP_{i,lim,GG_{max}} = EP_{i,lim,GG_{max},0.2} + \frac{S/V - 0.2}{0.9 - 0.2} \times (EP_{i,lim,GG_{max},0.9} - EP_{i,lim,GG_{max},0.2})$$

$$EP_{i,lim} = EP_{i,lim,GG_{min}} + \frac{GG - GG_{min}}{GG_{max} - GG_{min}} \times (EP_{i,lim,GG_{max}} - EP_{i,lim,GG_{min}})$$

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica										
	A		B		C		D		E		F
	<i>fino a</i> 600 GG	<i>a</i> 601 GG	<i>a</i> 900 GG	<i>a</i> 901 GG	<i>a</i> 1400 GG	<i>a</i> 1401 GG	<i>a</i> 2100 GG	<i>a</i> 2101 GG	<i>a</i> 3000 GG	<i>oltre</i> 3000 GG	
≤0.2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8	
≥0.9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116	

CLASSIFICAZIONE DEGLI EDIFICI

(D.P.R. 412/1993, art. 3)

Classificazione *generale* degli edifici per categorie

- E.1 (1) Edifici RESIDENZIALI con occupazione continuativa
- E.1 (2) Edifici RESIDENZIALI con occupazione saltuaria
- E.1 (3) Edifici ADIBITI ad ALBERGO, PENSIONE ed attività similari
- E.2 Edifici per UFFICI e assimilabili
- E.3 OSPEDALI, CASE DI CURA e CLINICHE
- E.4 (1) Edifici adibiti a CINEMA e TEATRI, SALE PER CONGRESSI, ecc.
- E.4 (2) Edifici adibiti a MOSTRE, MUSEI e BIBLIOTECHE, luoghi di CULTO
- E.4 (3) Edifici adibiti BAR, RISTORANTI, SALE DA BALLO
- E.5 Edifici adibiti ad attività COMMERCIALI
- E.6 (1) Edifici adibiti ad attività SPORTIVE: PISCINE E SAUNE
- E.6 (2) Edifici adibiti ad attività SPORTIVE: PALESTRE
- E.6 (3) Edifici adibiti ad attività SPORTIVE: SERVIZI DI SUPPORTO
- E.7 Edifici adibiti ad attività SCOLASTICHE
- E.8 Edifici INDUSTRIALI E ARTIGIANALI (riscaldati per il comfort)

RIEPILOGO

$$EP_1 = \frac{\sum Q_{p,H,mese}}{S_u} \quad \text{oppure} \quad EP = \frac{\sum Q_{p,H,mese}}{V}$$

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

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

$$Q_{H,tr} + Q_{H,ve} = [H \times (T_{i,set} - T_e) + \sum_k (F_{r,k} \times \Phi_{r,mn,k})] \times t / 1000$$

SCAMBI TERMICI PER
TRASMISSIONE E VENTILAZIONE

SCAMBI TERMICI PER TRASMISSIONE (UNI/TS 11300-1)

Il coefficiente di dispersione per trasmissione si valuta tramite la formula

$$H_{tr} = \sum_i (U_i \times A_i) + \sum_k (\Psi_k \times L_k) + \chi_j$$

ove

- H_{tr} coefficiente di dispersione per trasmissione [W/K]
 U_i trasmittanza termica (areica) dell'elemento di parete i-esimo [W/(m²K)]
 A_i area frontale dell'elemento di parete i-esimo [m²]
 Ψ_k trasmittanza termica lineica del ponte termico lineare k-esimo [W/(m×K)]
 L_k sviluppo (lunghezza) del ponte termico lineare k-esimo [m]
 χ_j trasmittanza termica puntuale ponte termico puntiforme j-esimo [W/K]

La corretta valutazione degli effetti dei ponti termici non può prescindere da una corretta valutazione delle proprietà delle pareti su cui i ponti termici insistono!

SCAMBI TERMICI PER VENTILAZIONE (UNI/TS 11300-1)

Il coefficiente di dispersione per ventilazione si valuta [W/K] tramite la formula

$$H_{ve} = \rho_a \times c_a \times V_{ve} \times n_{ve} / 3600$$

ove

- ρ_a densità dell'aria [kg/m³]
 c_a calore specifico a pressione costante dell'aria [J/(kg K)]
 Convenzionalmente, $\rho_a \times c_a = 1200$ J/(m³K)
 V_{ve} volume interno ventilato [m³]
 n_{ve} tasso di ventilazione convenzionale (numero di ricambi d'aria) [vol/h]
 Convenzionalmente, per edifici residenziali, $n_{ve} = 0.3$ (UNI/TS 11300-1)

In assenza di informazioni, il volume interno ventilato può essere ottenuto moltiplicando il volume lordo per un fattore ricavabile dal prospetto a lato.

Categoria di edificio ¹⁹⁾	Tipo di costruzione	
	E.1, E.2, E.3, E.7	Pareti di spessore maggiore di 45 cm
	0,6	0,7
E.4, E.5, E.6, E.8	Con partizioni interne	Senza partizioni interne
	0,8	0,9

SCAMBI TERMICI PER VENTILAZIONE (UNI/TS 11300-1)

Nel caso di **ventilazione naturale**:

- per gli edifici residenziali si assume un tasso di ventilazione di 0.3 vol/h;
- per tutti gli altri edifici si assumono i tassi di ventilazione ex UNI 10339.

Nel caso di **ventilazione meccanica a semplice flusso** (aspirazione) il tasso di ventilazione è fissato pari a:

$$n_{ve} = n_{ve,des} \times k$$

ove

$n_{ve,des}$ portata d'aria di progetto

k coefficiente di contemporaneità di utilizzo delle bocchette aspiranti.

In assenza di dati di progetto attendibili o di informazioni più precise, si assume $k = 1$ per sistemi a portata fissa, $k = 0.6$ per ventilazione igro-regolabile.

Nel caso di **ventilazione meccanica a doppio flusso con recuperatore di calore** il tasso di ventilazione è fissato pari a:

$$n_{ve} = n_{ve,des} \times (1 - \eta_{ve})$$

ove

η_{ve} fattore di efficienza dell'eventuale recuperatore (0 se assente)

TASSO DI RINNOVO DELL'ARIA (UNI 10339)

Categorie di edifici	Portata di aria esterna o di estrazione		Note
	Q_{op} (10^{-3} m ³ /s per persona)	Q_{os} (10^{-3} m ³ /s m ²)	
EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI			
RESIDENZE A CARATTERE CONTINUATIVO			
- Abitazioni civili:			
• soggiorni, camere da letto	11	-	
• cucina, bagni, servizi		estrazioni	A
- Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi:			
• sale riunioni	9*	-	-
• dormitori/camere	11	-	-
• cucina	-	16,5	-
• bagni/servizi		estrazioni	A
RESIDENZE OCCUPATE SALTUARIAMENTE			
Vale quanto prescritto per le residenze a carattere continuativo			
ALBERGHI, PENSIONI ecc.			
• ingresso, soggiorni	11	-	-
• sale conferenze (piccole)	5,5*	-	-
• auditori (grandi)	5,5*	-	-
• sale da pranzo	10	-	-
• camere da letto	11	-	-
• bagni, servizi		estrazioni	-
EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI			
• uffici singoli	11	-	-
• uffici open space	11	-	-
• locali riunione	10*	-	-
• centri elaborazione dati	7	-	-
• servizi		estrazioni	A

(segue prospetto)

TASSO DI RINNOVO DELL'ARIA (UNI 10339)

EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI			
- asili nido e scuole materne	4	-	-
- aule scuole elementari	5	-	-
- aule scuole medie inferiori	6	-	-
- aule scuole medie superiori	7	-	-
- aule universitarie	7	-	-
• transiti, corridoi	-	-	-
• servizi		estrazioni	A
- altri locali:			
• biblioteche, sale lettura	6	-	-
• aule musica e lingue	7	-	-
• laboratori	7	-	-
• sale insegnanti	6	-	-

* Salvo le indicazioni di cui in 9.1.1.1.
 ** Per gli ambienti di questa categoria non è ammesso utilizzare aria di ricircolo.

Note:

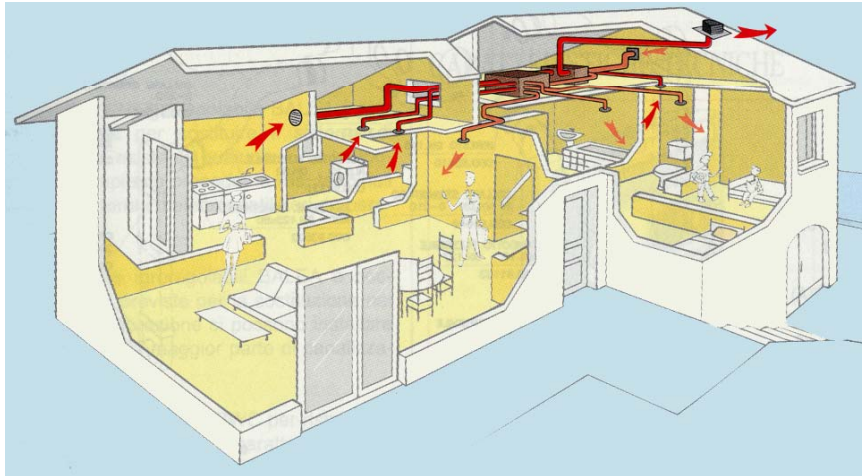
- A - Ricambio richiesto nei servizi igienici:
 - edifici adibiti a residenza e assimilabili 0,0011 vol/s (4 vol/h);
 - altre categorie in tabella 0,0022 vol/s (8 vol/h);
 Il volume è quello relativo ai bagni (antibagni esclusi).
- B - Verificare i regolamenti locali.
- C - Valori più elevati possono essere richiesti per il controllo dell'umidità.
- D - Per questi ambienti le portate d'aria devono essere stabilite in relazione alle prescrizioni vigenti ed alle specifiche esigenze delle singole applicazioni.

INDICE DI AFFOLLAMENTO (UNI 10339)

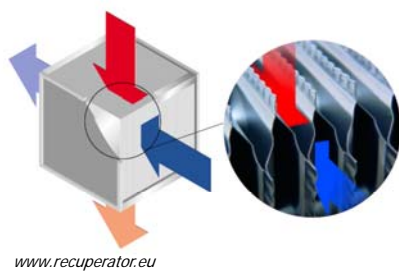
 n_s [persone/m²]

Classificazione degli edifici per categorie	n_s
EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI	
- abitazioni civili:	
soggiorni, camere letto	0,04
- collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi:	
• soggiorni	0,20
• sale riunioni	0,60
• dormitori	0,10
• camere letto	0,05
- alberghi, pensioni:	
• ingresso, soggiorni	0,20
• sale conferenze (piccole)	0,60
• camere letto	0,05
EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI	
• uffici singoli	0,06
• uffici open space	0,12
• locali riunione	0,60
• centri elaborazione dati	0,08
OSPEDALI, CLINICHE, CASE DI CURA E ASSIMILABILI	
• riagenza (2-3 letti)	0,08
• corsie	0,12
• camere sterili e infettive	0,08
• visita medica	0,05
• soggiorni, terapie fisiche	0,20
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ RICREATIVE, ASSOCIATIVE, DI CULTO	
- cinematografi, teatri, sale congressi	
• sale in genere	1,50
• biglietterie, ingressi	0,20 (medio)
• borse titoli e simili	0,50
• sale attesa stazioni e metropolitane, ecc.	1,00

IMPIANTO A DOPPIO FLUSSO CON RECUPERO



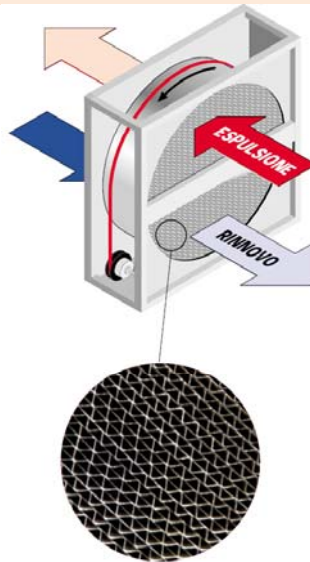
RECUPERATORI DI CALORE A PIASTRE



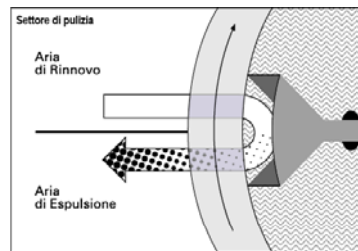
www.recuperator.eu

<p>Flusso incrociato Cross flow</p>	<p>Flusso incrociato Cross flow</p>	<p>Apparecchi in serie Models in series</p>
<p>Apparecchi in serie Models in series</p>	<p>Apparecchi in parallelo Flusso incrociato Models in parallel Cross flow</p>	<p>Apparecchi in serie - parallelo Models in series - parallel</p>
<p>Controcorrente Counter flow</p>	<p>Equicorrente Parallel flow</p>	<p>Apparecchi in serie - parallelo Models in series - parallel</p>

RECUPERATORI DI CALORE ROTATIVI



$\eta_{ve} = 60\% \div 90\%$ e recupero umidità



www.recuperator.eu

RECUPERATORI DI CALORE: EFFICIENZA

Nella pratica, l'efficienza del recupero di calore dipende da:

- superficie di scambio del calore
- velocità di attraversamento dell'aria
- portate in massa dei due flussi d'aria
- configurazione geometrica
- contenuto di umidità nell'aria più calda

Efficienza in funzione delle direzioni con cui i due flussi d'aria attraversano lo scambiatore:

- equicorrente: $h_{ve} < 50\%$
- controcorrente: h_{ve} fino (teoricamente) al 100%
- a flussi incrociati: $50 < h_{ve} < 70\%$

Basse velocità dei flussi aumentano l'efficienza e riducono l'assorbimento dei ventilatori, ma richiedono superfici di scambio termico più grandi a parità di potenza termica scambiata.

L'efficienza di recupero del calore andrebbe sempre valutata
al netto degli assorbimenti elettrici dei ventilatori, riportati ad energia

RECUPERATORI DI CALORE: EFFICIENZA

Portata aria nominale	m ³ /h	350	550	750	1000	1500	2100	3300
Recuperatore:								
Efficienza	%	52,1	55	54,3	54,4	53,1	52,7	52
Potenza termica recuperata	kW	1,5	2,5	3,4	4,6	6,7	9,3	14,3
Potenza frigorifera recuperata	kW	0,4	0,7	1	1,3	1,9	2,6	4,3
Temperatura in uscita	°C	8	8,7	8,6	8,6	8,3	8,2	8
Gruppo motoventilante:								
Numero ventilatori	n.	2	2	2	2	2	2	4
Potenza assorbita totale	kW	0,27	0,44	0,65	1,12	1,12	2	4
Corrente massima assorbita	A	1,1	1,7	2,8	5	5	8,6	17,2
Variazione velocità ventilatori		continua	continua	continua	continua	continua	continua	continua
Prevalenza utile (Pa)	UR Standard	125	140	170	150	150	120	150
	UR E	115	130	160	140	140	110	140
Gradi di protezione	UR W	50	50	50	70	50	50	50
	IP	44	54	44	55	55	55	55
Classe di isolamento		B	F	F	F	F	F	F
Filtri:								
Classificazione secondo EN779		G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3
Efficienza	%	80	80	80	80	80	80	80
Batteria di riscaldamento ad acqua (UR W):								
Geometria		P2519	P2519	P2519	P2519	P2519	P2519	P2519
Ranghi	n.	3	3	3	3	3	3	3
Passo alette	mm	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,1
Superficie frontale	m ²	0,027	0,047	0,052	0,092	0,119	0,165	0,237
Potenza termica ⁽¹⁾	kW	4,9	8,1	10,6	15,5	22,4	31	43
Temperatura uscita aria ⁽²⁾	°C	48	50	48	52	51	50	46
Potenza termica ⁽³⁾	kW	4,1	6,7	8,8	13	18,7	25,9	36,6
Temperatura uscita aria ⁽⁴⁾	°C	41,2	43	41,3	45	43,6	43	39,5
Potenza termica ⁽⁵⁾	kW	2,4	4	5,2	7,7	11,2	15,4	22
Temperatura uscita aria ⁽⁶⁾	°C	27,7	28,7	27,8	30	29,2	29	27

$$\eta_{ve} \approx \frac{\dot{Q}_{recuperato} - \dot{L}_{elettrica,assorbita}}{\dot{Q}_{recuperato} / \eta_{ve,nominale}} / \eta_{elettrica,produzione}$$

$$\eta_{elettrica,produzione} \approx 0.46 \text{ (AEEG 2008)}$$

ESEMPI (RISANAMENTO ENERGETICO)

ESEMPIO: RISTRUTTURAZIONE DELL' INVOLUCRO

Edificio: appartamento in condominio ad un piano intermedio

Località: Modena città (GG convenzionali 2258, zona climatica E)

Superficie lorda in pianta: 10 m x 10 m

Altezza lorda: 3.30 m (incluso metà spessore dei solai sopra e sotto)

Superfici disperdenti: muri verticali (due teste non isolati) su tre lati

Serramenti: 6 finestre 1.00 m x 1.50 m senza cassonetti e nicchie

Trasmittanze: pareti 1.4 W/(m²K) inclusi p.t., serramenti 4.0 W/(m²K)

ESEMPIO: RISTRUTTURAZIONE DELL' INVOLUCRO

	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	H_{tr} [W/K]	H_{tr} / H [%]
Finestre	4.0	9	36	19
Murature	1.4	90	126	68
	n_{ve} [vol/h]	$0.7 \times V$ [m ³]	H_{ve} [W/K]	H_{ve} / H [%]
Ventilazione	0.3	231	23.1	12
		$H=$	185.1	100

Il cappotto sembrerebbe l'unico intervento veramente efficace sull'involucro. In realtà, il tasso di ventilazione convenzionale (0.3) potrebbe sottostimare notevolmente quello reale in presenza di vecchi serramenti con tenuta scarsa.

Classe di esposizione al vento ¹⁾	Più di una facciata esposta			Un'unica facciata esposta		
	Permeabilità dell'edificio			Permeabilità dell'edificio		
	Bassa	Media	Alta	Bassa	Media	Alta
Nessun riparo	1,2	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Riparo moderato	0,9	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5
Riparo consistente	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

(UNI EN 832, App. F)

ESEMPIO: RISTRUTTURAZIONE DELL' INVOLUCRO

	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	H_{tr} [W/K]	H_{tr} / H [%]
Finestre	4.0	9	36	14
Murature	1.4	90	126	50
	n_{ve} [vol/h]	$0.7 \times V$ [m ³]	H_{ve} [W/K]	H_{ve} / H [%]
Ventilazione	1.2	231	92.4	36
		$H=$	254.4	100

I serramenti possono avere un impatto reale complessivo sulle dispersioni per trasmissione e ventilazione comparabile a quello delle murature.

L'installazione di moderni serramenti con bassa trasmittanza ed efficaci guarnizioni di tenuta all'aria è in generale più vantaggioso della cappottatura, che comporta notevoli problematiche di correzione dei ponti termici.

ESEMPIO: RISTRUTTURAZIONE DELL' INVOLUCRO

	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	H_{tr} [W/K]	H_{tr} / H [%]
Finestre	1.6	9	14.4	9
Murature	1.4	90	126	77
	n_{ve} [vol/h]	$0.7 \times V$ [m ³]	H_{ve} [W/K]	H_{ve} / H [%]
Ventilazione	0.3	231	23.1	14
		$H=$	163.5	100
			(-36%)	

L'abbattimento delle dispersioni e, quindi, dei fabbisogni energetici ottenibile tramite la semplice sostituzione dei serramenti è considerevole

Tuttavia, un paradosso dell'installazione di serramenti ad elevatissima tenuta dell'aria, sia nelle nuove costruzioni che nelle ristrutturazioni, è che, se la ventilazione è lasciata all'apertura manuale delle finestre, il tasso di ricambio medio dell'aria può essere molto elevato, circa 1.8 vol/h (CEN TR 14788).

ESEMPIO: RISTRUTTURAZIONE DELL' INVOLUCRO

	U [W/(m ² K)]	A [m ²]	H_{tr} [W/K]	H_{tr} / H [%]
Finestre	1.6	9	14.4	5
Murature	1.4	90	126	45
	n_{ve} [vol/h]	$0.7 \times V$ [m ³]	H_{ve} [W/K]	H_{ve} / H [%]
Ventilazione	1.8	231	138.6	50
			$H =$ 279	100
			(+10%)	

La sostituzione dei serramenti porta ad un aumento delle dispersioni!

Il graduale ricambio dato dagli spifferi può quindi produrre un tasso di ricambio medio inferiore a quello associato all'apertura sistematica di una o più finestre.

Inoltre, e soprattutto, in alcuni ambienti il tasso di ricambio può risultare anche un ordine di grandezza inferiore a quello convenzionale, con il rischio di avere localmente elevate concentrazioni di umidità e **formazione di condensa superficiale, principalmente sulle superfici in corrispondenza dei ponti termici.**

VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA (VMC)

Una soluzione per controllare con precisione il tasso di ricambio dell'aria, e portarlo ai livelli convenzionali, è l'adozione della **ventilazione meccanica controllata.**

L'aria esausta e, eventualmente, carica di umidità prodotta dalle attività abitative (cucina, lavaggi, sudorazione) viene estratta attraverso bocchette di estrazione opportunamente posizionate. Aria fresca al tasso di umidità esterno, generalmente più basso in inverno, viene richiamata all'interno attraverso bocchette di immissione opportunamente posizionate.

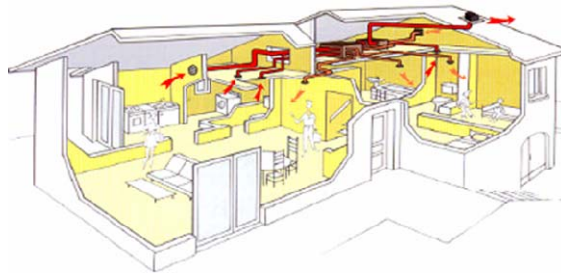
Il ricambio continuo dell'aria ha una serie di **effetti positivi:**

- Ossigenazione dei locali mantenuta a livelli sempre adeguati
- Smaltimento delle esalazioni di cucina, mobilio, finiture, ecc.
- Riduzione degli sbalzi di temperatura
- Mantenimento dell'isolamento acustico, ove presente
- **Mantenimento dell'umidità interna su livelli sufficientemente bassi da evitare fenomeni di condensa superficiale**

VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA (VMC)

Ove, in un edificio di nuova costruzione o ristrutturato, si verificano fenomeni di condensazione superficiale, in genere corrispondenza dei ponti termici, l'installazione di un impianto VMC è spesso la strategia correttiva più efficace.

A tal scopo, non sono generalmente consigliabili impianti a doppio flusso con recupero di calore, costosi (circa 5000-7000 €), invasivi (servono canalizzazioni di distribuzione e di raccolta con bocchette in ogni ambiente) e energeticamente poco efficaci (il risparmio dato dal recupero di calore è in buona parte vanificato dal maggior consumo dei ventilatori).



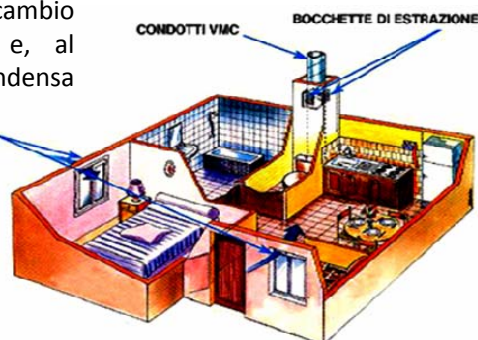
DOPPIO FLUSSO

VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA (VMC)

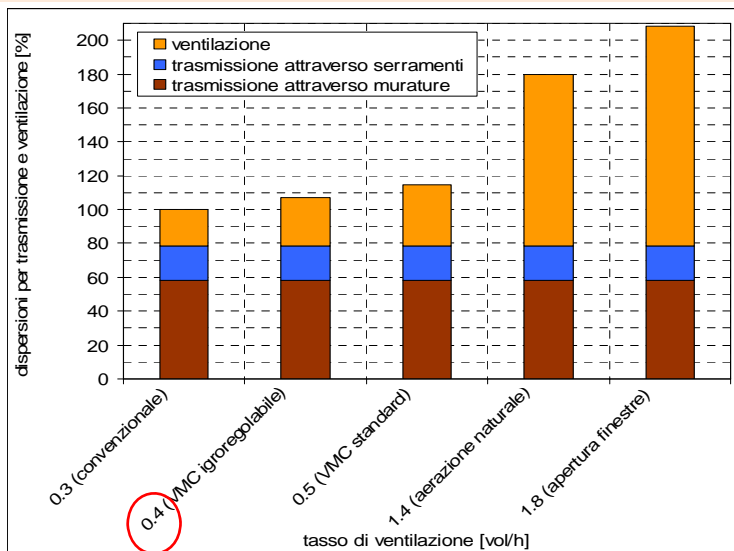
Sono invece preferibili impianti a semplice flusso, con estrazione nei bagni e nelle cucine attraverso bocchette collegate ad un unico ventilatore, aspirazione negli altri ambienti (soggiorni, camere da letto) attraverso bocchette a parete o anche integrate nei cassonetti finestra.

Adottando bocchette igroregolabili, con apertura proporzionale al livello di umidità locale, si può ottenere un tasso di ricambio prossimo a quello convenzionale e, al contempo, minimizzare i rischi di condensa superficiale.

SEMPLICE FLUSSO



VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA (VMC)



TRASMITTANZE TERMICHE E RESISTENZE SUPERFICIALI

SCAMBI TERMICI PER TRASMISSIONE (UNI/TS 11300-1)

Data una generica parete piana, composta da un numero qualsiasi di strati, che separi due ambienti a temperature diverse, l'energia termica trasmessa attraverso tale parete durante un periodo temporale assegnato può essere calcolata come:

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

ove

Q_{ht} energia termica trasmessa [kWh]

U **trasmissione termica** o **coefficiente globale di scambio termico** [W/(m²K)]

T_i temperatura dell'ambiente interno (caldo) [°C]

T_e temperatura dell'ambiente esterno (freddo) [°C]

t durata del periodo di calcolo [h]

(la divisione per 1000 serve a convertire il risultato da Wh a kWh)

TRASMITTANZA TERMICA (D.P.R. n. 56/2009, art. 4)

4. Nei casi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria [...] consistenti in opere che prevedono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, **refacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture**, si applica quanto previsto alle lettere seguenti:

a) **per tutte le categorie di edifici [...]** il valore della **trasmissione termica (U) per le strutture opache verticali, a ponte termico corretto**, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere **inferiore o uguale** a quello riportato nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo [...]

b) **per tutte le categorie di edifici [...]** ad eccezione della categoria E.8¹ il valore della **trasmissione termica (U) per le strutture opache orizzontali o inclinate, a ponte termico corretto**, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere **inferiore o uguale** a quello riportato nelle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo [...]

¹ Edifici industriali ed artigianali riscaldati per il confort

TRASMITTANZA TERMICA (D.P.R. n. 56/2009, art. 4)Tabella 2.1 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Tabella 3.1 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di copertura espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

Tabella 4. Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2008 U (W/m ² K)	Dall' 1 gennaio 2010 U (W/m ² K)
A	5,5	5,0	4,6
B	4,0	3,6	3,0
C	3,3	3,0	2,6
D	3,1	2,8	2,4
E	2,8	2,5	2,2
F	2,4	2,2	2,1

TRASMITTANZA TERMICA (D.M. 26/01/2010, art. 1)

(nuovi limiti per detrazione del 55% in credito di imposta)

Zona climatica	Strutture opache verticali	Strutture opache orizzontali o inclinate		Finestre comprensive di infissi
		Coperture	Pavimenti*	
A	0,54	0,32	0,60	3,7
B	0,41	0,32	0,46	2,4
C	0,34	0,32	0,40	2,1
D	0,29	0,26	0,34	2,0
E	0,27	0,24	0,30	1,8
F	0,26	0,23	0,28	1,6

(*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno

(**) Conformemente a quanto previsto all'articolo 4, comma 4, lettera c), del decreto Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, che fissa il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili e assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi."

TRASMITTANZA TERMICA (D.P.R. n. 56/2009, art. 4)

4. Nei casi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria [...] consistenti in opere che prevedono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture, si applica quanto previsto alle lettere seguenti:

a) per tutte le categorie di edifici [...] il valore della trasmittanza termica (U) per le strutture opache verticali, a ponte termico corretto, [...] deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo [...]. **Qualora il ponte termico non dovesse risultare corretto o qualora la progettazione dell'involucro edilizio non preveda la correzione dei ponti termici, i valori limite della trasmittanza termica riportati nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico; [...]**

b) per tutte le categorie di edifici [...] ad eccezione della categoria E.8 il valore della **trasmittanza termica (U) per le strutture opache orizzontali o inclinate [IDEM]**

(Si analizzeranno più avanti le conseguenze di tale prescrizione)

SCAMBI TERMICI PER TRASMISSIONE

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

La **trasmittanza termica** o **coefficiente globale di scambio termico U** [W/(m²K)] per una parete piana può essere calcolata con la formula:

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

ove

α_i, α_e coefficienti di scambio termico adduttivo interno ed esterno [W/(m²K)]

L_j spessore dello strato j-esimo [m]

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

K_k conduttanza termica del componente non omogeneo k-esimo [W/(m²K)]

$R_k = 1/K_k$ resistenza del componente non omogeneo k-esimo [m²K/W]

$R_{si} = 1/\alpha_i$ resistenza superficiale interna [m²K/W]

$R_{se} = 1/\alpha_e$ resistenza superficiale esterna [m²K/W]

$R = 1/U$ resistenza termica totale di parete [m²K/W]

SCAMBI TERMICI PER TRASMISSIONE

Nel calcolo della trasmittanza termica dei componenti opachi:

- i **coefficienti superficiali di scambio termico** e le resistenze termiche delle intercapedini d'aria sono conformi ai valori stabiliti dalla **UNI EN ISO 6946**
- le **proprietà termofisiche dei materiali** sono ricavate dai dati di accompagnamento della marcatura CE (ove disponibile) oppure dalla **UNI 10351**
- le **resistenze termiche di murature e solai** sono ricavate dai dati di accompagnamento della marcatura CE (ove disponibile) oppure dalla **UNI 10355**

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori dei parametri per edifici esistenti possono essere determinati in funzione della tipologia edilizia e del periodo di costruzione, secondo quanto indicato negli abachi delle **appendici A e B alla UNI/TS 11300-1**.

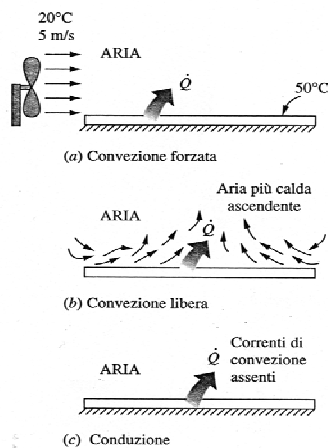
Al momento, sebbene datata e (pare) in corso di aggiornamento, la norma più completa e conveniente per la determinazione della conduttività termica dei materiali sembra essere la UNI 10351, che tiene conto di tutti i problemi che si possono avere in opera.

RESISTENZE TERMICHE SUPERFICIALI (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 ² K/W]	α_i [W/(m ² 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 ² K/W]	α_e [W/(m ² K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	0.04	25
Superfici verso l'esterno ($v > 4$ m/s)	R_{se} [m ² K/W]	α_e [W/(m ² K)]
tutte le superfici (lato esterno soffitto, pavimento, muro)	$1/(8.16+4 \cdot v)$	$8.16+4 \cdot v$

TRASMISSIONE DEL CALORE PER CONVEZIONE



Convezione:

trasmissione del calore fra un solido ed un fluido (liquido o gas) in moto relativo tra loro.

Convezione forzata:

trasmissione per convezione in cui il moto del fluido è causato da forze esterne (macchine quali pompe, ventilatori, ecc.)

Convezione naturale:

trasmissione per convezione in cui il moto del fluido è indotto da forze interne al fluido stesso (spinte di galleggiamento, densità diverse all'interno del dominio, ecc.)

Convezione mista:

trasmissione per convezione in cui il moto del fluido è indotto da forze esterne ed interne che hanno pesi circa equivalenti

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**:

$$\dot{Q}_c = h_c \times A_s \times (T_s - T_f)$$

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

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

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

ove

v velocità del vento [m/s]

VELOCITA' DEL VENTO (UNI 10349)

(segue dal prospetto XIV)

N°	Sigla Provincia	Località	Altitudine m	Zona di vento	ω m/s	Direzione prevalente
37	GR	Grosseto	10	3	2,4	NE
38	IM	Imperia	10	3	3,7	NE
39	IS	Isernia	423	2	4,0	NW
40	KR	Crotone	8	3	3,5	N
41	LC	Lecco	214	1	0,9	S
42	LD	Lodi	87	1	1,1	SW
43	LE	Lecce	49	2	4,0	N
44	LI	Livorno	3	3	2,4	E
45	LT	Latina	21	3	2,4	W
46	LU	Lucca	19	2	1,5	E
47	MC	Macerata	315	2	3,4	NW
48	ME	Messina	3	3	2,8	N
49	MI	Milano	122	1	1,1	SW
50	MN	Mantova	19	1	0,9	E
51	MO	Modena	34	1	1,6	SW
52	MS	Massa-Carrara	65	2	3,5	N
53	MT	Matera	200	1	2,9	N
54	NA	Napoli	17	3	2,3	NE
55	NO	Novara	159	1	0,8	N
56	NU	Nuoro	548	3	2,4	NW
57	OR	Oristano	9	4	4,3	NW
58	PA	Palermo	14	3	3,6	SW
59	PC	Piacenza	61	1	1,2	E
60	PD	Padova	12	1	1,0	NE
61	PE	Pescara	4	2	2,0	SW
62	PG	Perugia	493	2	1,4	NE
63	PI	Pisa	4	3	2,4	E
64	PN	Pordenone	24	1	1,3	NE
65	PR	Prato	61	2	1,4	NE
66	PR	Parma	57	1	1,1	E
67	PS	Pesaro e Urbino	11	2	3,4	S
68	PT	Pistoia	67	2	3,7	S
69	PV	Pavia	77	1	1,2	S

(segue prospetto)

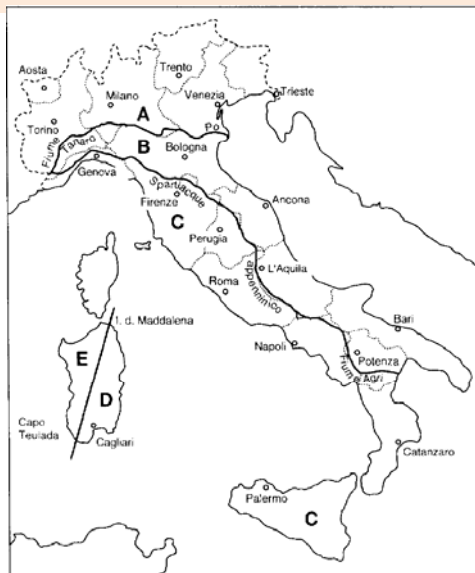
$R_{se} \text{ [m}^2\text{K/W]}$ $\alpha_e \text{ [W}/(\text{m}^2\text{K})]$

$$\frac{1}{8.16 + 4 \cdot v} \quad 8.16 + 4 \cdot v$$

Ai fini del calcolo di R_{se} (o α_e),
si assume generalmente:

$$v = 4 \text{ m/s}$$

VELOCITA' DEL VENTO (UNI 10349)



Regioni di vento e
versanti geografici

VELOCITA' DEL VENTO (UNI 10349)

- si determina tramite il prospetto IV il coefficiente correttivo c , dove nella prima colonna sono riportate le zone di vento per la località di riferimento, mentre nella prima riga sono riportate quelle per la località considerata; l'incrocio di una riga con una colonna da il coefficiente correttivo relativo alle due zone di vento identificate da quella riga e quella colonna;
- si apporta una correzione al valore della velocità della località di riferimento per tenere conto della diversa localizzazione e della differenza di quota tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\bar{\omega} = c \cdot \bar{\omega}_r \quad [3]$$

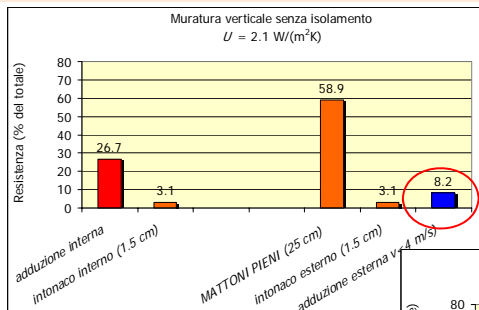
dove: $\bar{\omega}_r$ è la velocità del vento nella località di riferimento;

c è il coefficiente correttivo desumibile dal prospetto IV.

Prospetto IV — Coefficiente correttivo c

Zona di vento della località di riferimento	Zona di vento			
	1	2	3	4
1	1	1,780	2,780	4,000
2	0,562	1	1,560	2,250
3	0,360	0,640	1	1,440
4	0,250	0,445	0,694	1

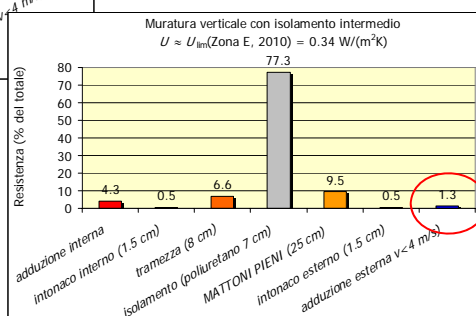
VELOCITA' DEL VENTO (UNI 10349)



$$R_{se} \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad \alpha_e \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$$

$$\frac{1}{(8.16+4 \cdot v)} \quad 8.16+4 \cdot v$$

Per **siti ventosi** e **incertezze sull'effettivo valore della velocità del vento** (dipendente anche da orientazione della parete e interazione con edifici vicini), **in favore di sicurezza** e con minimo impatto si può **annullare la resistenza superficiale esterna**.



COEFFICIENTE DI IRRAGGIAMENTO (UNI EN ISO 6946)

$$\dot{Q}_r = A_s \times \varepsilon \times \sigma \times (T_s^4 - T_a^4) \cong A_s \times h_r \times (T_s - T_a)$$

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

$$h_r = \varepsilon \times h_{r,\max} = \varepsilon \times \sigma \times 4 \times T_m^3$$

ove

$h_{r,\max}$ coefficiente di scambio termico per un corpo nero [W/(m²K)]

ε emissività della superficie (≈ 0.9 per superfici non metalliche)

T_m [°C]	$h_{r,\max}$ [W/(m ² ×K)]	$0.9 \times h_{r,\max}$ [W/(m ² ×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

RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

Tra due superfici reciprocamente in vista può essere scambiata energia sotto forma di **radiazione elettromagnetica**, che si trasmette attraverso il mezzo interposto purché trasparente alla radiazione (come, ad esempio, l'aria e la maggior parte gas), oppure anche attraverso il vuoto.

Lunghezza d'onda e **frequenza** della radiazione elettromagnetica sono tra loro correlate dalla relazione:

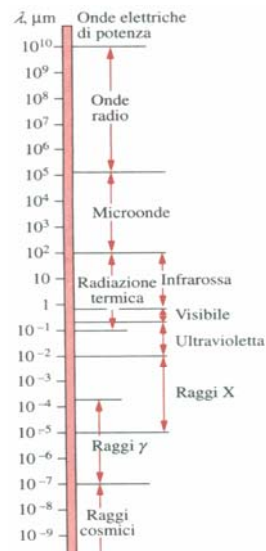
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

ove

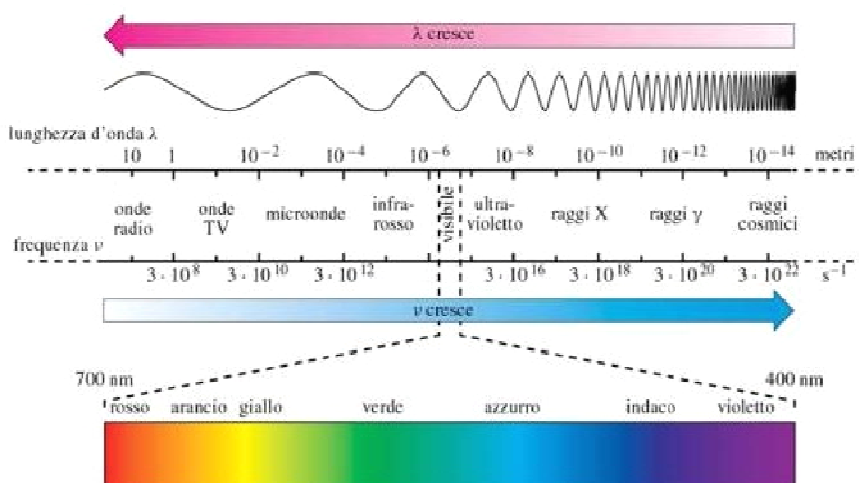
λ lunghezza d'onda [m]

f frequenza [Hz]

c velocità della luce nel mezzo [m/s]



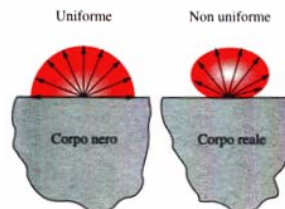
RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA



RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA TERMICA

Si assume un termine di riferimento ideale, il **corpo nero**:

- **perfetto emettitore**: emette la massima potenza termica per una data temperatura e lunghezza d'onda
- **perfetto assorbitore**: assorbe tutta la radiazione che lo investe
- **emettitore diffuso**



(ÇENGEL, Termodinamica e trasmissione del calore)

Legge di Stefan-Boltzmann (per il corpo nero):

$$E_n = \sigma \times T^4$$

ove

E_n **potere emissivo** di corpo nero [W/m²]

T temperatura termodinamica assoluta [K]

σ costante di Stefan-Boltzmann [5.67×10⁻⁸ W/(m²×K⁴)]

RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA TERMICA

Legge della distribuzione di Planck (per il corpo nero):

$$E_{n,\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \times \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda \times T}\right) - 1 \right]}$$

ove

$E_{n,\lambda}$ **potere emissivo monocromatico** di corpo nero [W/(m²×μm)]

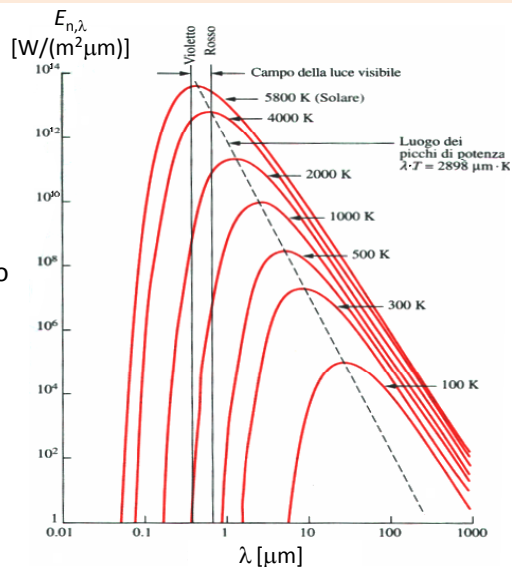
λ lunghezza d'onda [μm]

T temperatura [K]

C_1, C_2 costanti

Legge dello spostamento di Wien (per il corpo nero):

$$(\lambda \times T)_{E_{n,\lambda,\max}} = 2897.8 \text{ } \mu\text{m} \times \text{K}$$



PROPRIETA' RADIATIVE SUPERFICIALI

Emissività

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_n(T)} = \frac{E(T)}{\sigma \times T^4}$$

ove

$E(T)$ potere emissivo della superficie considerata [W/m²]

Coefficienti di assorbimento (α), riflessione (ρ) e trasmissione (τ)

$$\alpha = \frac{G_a}{G} \quad \rho = \frac{G_r}{G} \quad \tau = \frac{G_t}{G}$$

ove

G radiazione **totale incidente** (irradiazione) [W/m²]

G_a parte **assorbita** dell'irradiazione [W/m²]

G_r parte **riflessa** dell'irradiazione [W/m²]

G_t parte **trasmessa** dell'irradiazione [W/m²]

con

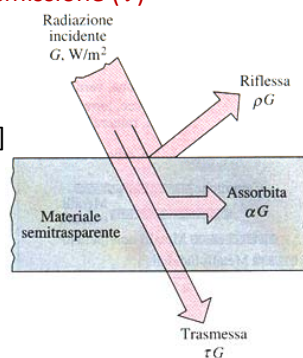
$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Per i **corpi neri**:

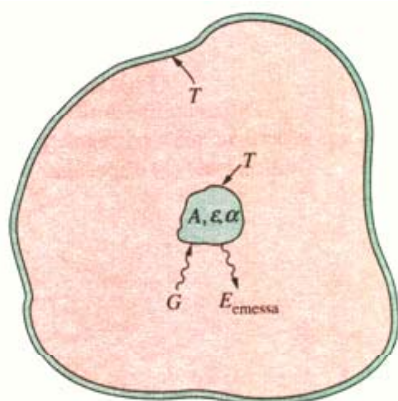
$$\alpha = 1, \quad \rho = 0, \quad \tau = 0$$

Per i **corpi opachi**:

$$\tau = 0, \quad \alpha + \rho = 1 \Leftrightarrow \rho = 1 - \alpha$$



PROPRIETA' RADIATIVE SUPERFICIALI



$$G_{\text{assorbita}}(T) = \varepsilon \times \sigma \times T^4$$

$$E_{\text{emessa}}(T) = \varepsilon \times \sigma \times T^4$$

$$A \times \varepsilon \times \sigma \times T^4 = A \times \varepsilon \times \sigma \times T^4$$

Legge di Kirchhoff

$$\varepsilon(T) = \alpha(T)$$

TRASMISSIONE DEL CALORE PER IRRAGGIAMENTO

Un corpo opaco con temperatura superficiale T_s , area superficiale A_s ed emissività ε , inserito all'interno di ambiente molto più grande e delimitato da superfici poste a temperatura uniforme T_a , scambia con dette superfici una **potenza termica per irraggiamento** valutabile tramite secondo la relazione:

$$Q_r = A_s \times \varepsilon \times \sigma \times (T_s^4 - T_a^4)$$

Similmente accade per la potenza termica scambiata tra una porzione della superficie interna della cavità e le restanti superfici, oppure tra un corpo e l'atmosfera.

La relazione può essere linearizzata considerando che $(a^2 - b^2) = (a + b) \times (a - b)$:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_r &= A_s \times \varepsilon \times \sigma \times (T_s^2 + T_a^2) \times (T_s + T_a) \times (T_s - T_a) \cong \\ &\cong A_s \times \varepsilon \times \sigma \times 4 \times T_m^3 \times (T_s - T_a) \end{aligned}$$

ove T_m è la temperatura media aritmetica della superficie e del contorno:

$$T_m = (T_s + T_a) / 2$$

COEFFICIENTE DI ADDUZIONE O LIMINARE

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

$$\dot{Q}_r = h_r \times A_s \times (T_s - T_a)$$

Potenza termica scambiata per convezione tra una superficie e l'aria ambiente circostante ($T_f \approx T_a$):

$$\dot{Q}_c = h_c \times A_s \times (T_s - T_a)$$

Potenza termica complessivamente scambiata per convezione e irraggiamento:

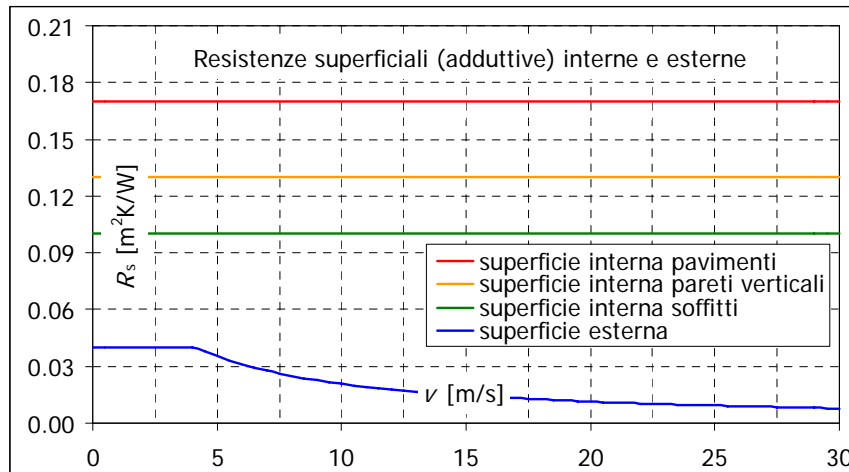
$$\dot{Q} = \dot{Q}_c + \dot{Q}_r = h_c \times A_s \times (T_s - T_a) + h_r \times A_s \times (T_s - T_a) = h \times A_s \times (T_s - T_a)$$

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

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

Con tale coefficiente, oppure con il suo inverso R_s , detto **resistenza superficiale** (indicata anche con R_s'' in norme e manuali), si tiene conto degli incrementi di h_c dovuti alle interazioni per irraggiamento termico fra superficie solida in esame ed ambiente.

RESISTENZE TERMICHE SUPERFICIALI (UNI EN ISO 6946)



Ai fini del calcolo di R_s (o α), si assume:
 $\varepsilon_i \approx 0.9$, $T_{mi} = 20^\circ C$, $\varepsilon_e \approx 0.9$, $T_{me} = 0^\circ C$, $v = 4 m/s$

RESISTENZE SUPERFICIALI (UNI 7357 – ABROGATA!)

<i>Superfici in aria calma (all'interno di locali)</i>	α_i [$kcal/(h m^2K)$]	α_i [$W/(m^2K)$]
sup. orizzontale, flusso termico ascendente (soffitto, lato interno)	8	9.30
sup. verticale, flusso termico orizzontale (muro, lato interno)	7	8.14
sup. orizzontale, flusso termico discendente (pavimento, lato interno)	5	5.81
<i>Superfici verso l'esterno ($v < 4 m/s$)</i>	α_e [$kcal/(h m^2K)$]	α_e [$W/(m^2K)$]
sup. orizzontale, flusso termico ascendente (soffitto, lato esterno)	20	23.26
sup. verticale, flusso termico orizzontale (muro, lato esterno)	20	23.26
sup. orizzontale, flusso termico discendente (pavimento, lato esterno)	14	16.28