



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Architettura

-

Laurea magistrale in  
Architettura a ciclo unico

**Corso di fisica tecnica ambientale**

**LEZIONE 10:  
ESERCIZIO SUI CARICHI TERMICI  
INVERNALI ED ESTIVI**

Ing. Marco Cecconi

[marco.cecconi@ingegneria.it](mailto:marco.cecconi@ingegneria.it)

## Obiettivo

- Calcolare i **carichi termici sensibili di picco invernali ed estivi** di un immobile, **al netto degli impianti**:
  - **potenza termica massima** necessaria nell'ora più fredda dell'anno;
  - **potenza frigorifera massima** necessaria nell'ora più calda dell'anno.

## Indice

### 10 Esercizio sui carichi termici

- Ipotesi di calcolo ..... 3
- Modalità e procedimento di calcolo ..... 4
- 1) Analisi dell'immobile ..... 6
- 2) Calcolo dei parametri termofisici ..... 11
- 3) Calcolo dei flussi termici sensibili ..... 19
- 4) Calcolo del bilancio termico ..... 26

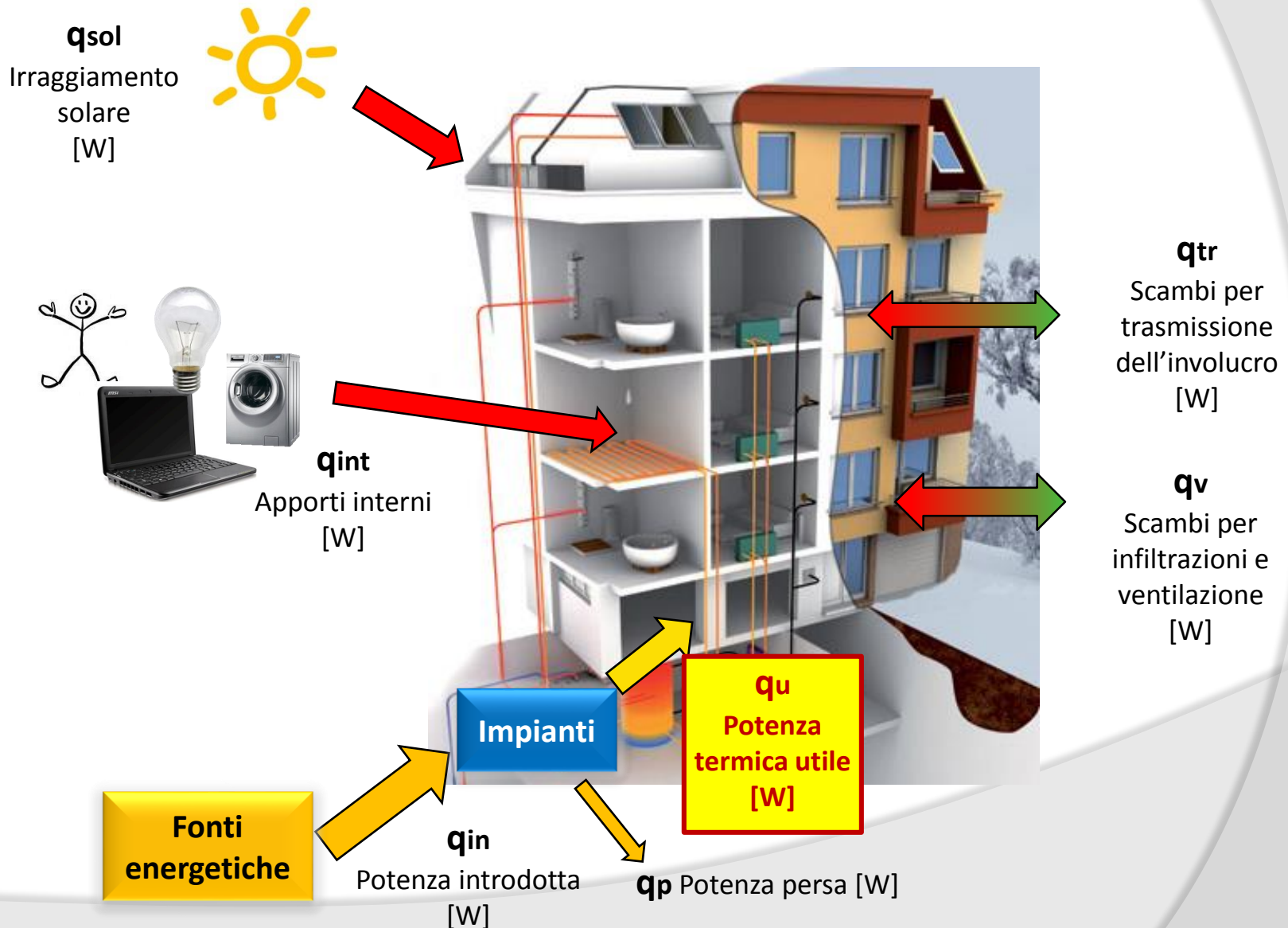
## Principali ipotesi di calcolo

- Condizioni **stazionarie** (parametri di calcolo tutti costanti: temperature, irraggiamento, apporti interni, ecc);
- Edificio **monozona** con temperatura dell'aria interna uniforme;
- Bilancio termico **sensibile** (no flussi di vapore, umidificazione e deumidificazione);
- Materiali **isotropi ed omogenei**;
- **Valori ambientali estremi** invernali ed estivi:
  - Ora più fredda fissata alle ore **6:00** del giorno più freddo di **Gennaio**;
  - Ora più calda fissata alle ore **13:00** del giorno più caldo di **Luglio**;
- **Ulteriori ipotesi** indicate durante il calcolo.

**NOTA IMPORTANTE:** Il risultato del calcolo può variare sensibilmente a seconda delle ipotesi fatte!

# Modalità di calcolo

## BILANCIO TERMICO SENSIBILE MONOZONA DI PICCO INVERNALE/ESTIVO



# Calcolo dei carichi termici

## PROCEDIMENTO GENERALE

### 1) Analisi dell'immobile:

- delimitazione della zona termica
- calcolo delle grandezze geometriche
- determinazione delle grandezze ambientali
- determinazione dei parametri di gestione

### 2) Calcolo dei parametri termo-fisici delle strutture:

- dimensioni
- trasmittanza termica
- trasmittanza solare e fattori di ombreggiamento

### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili:

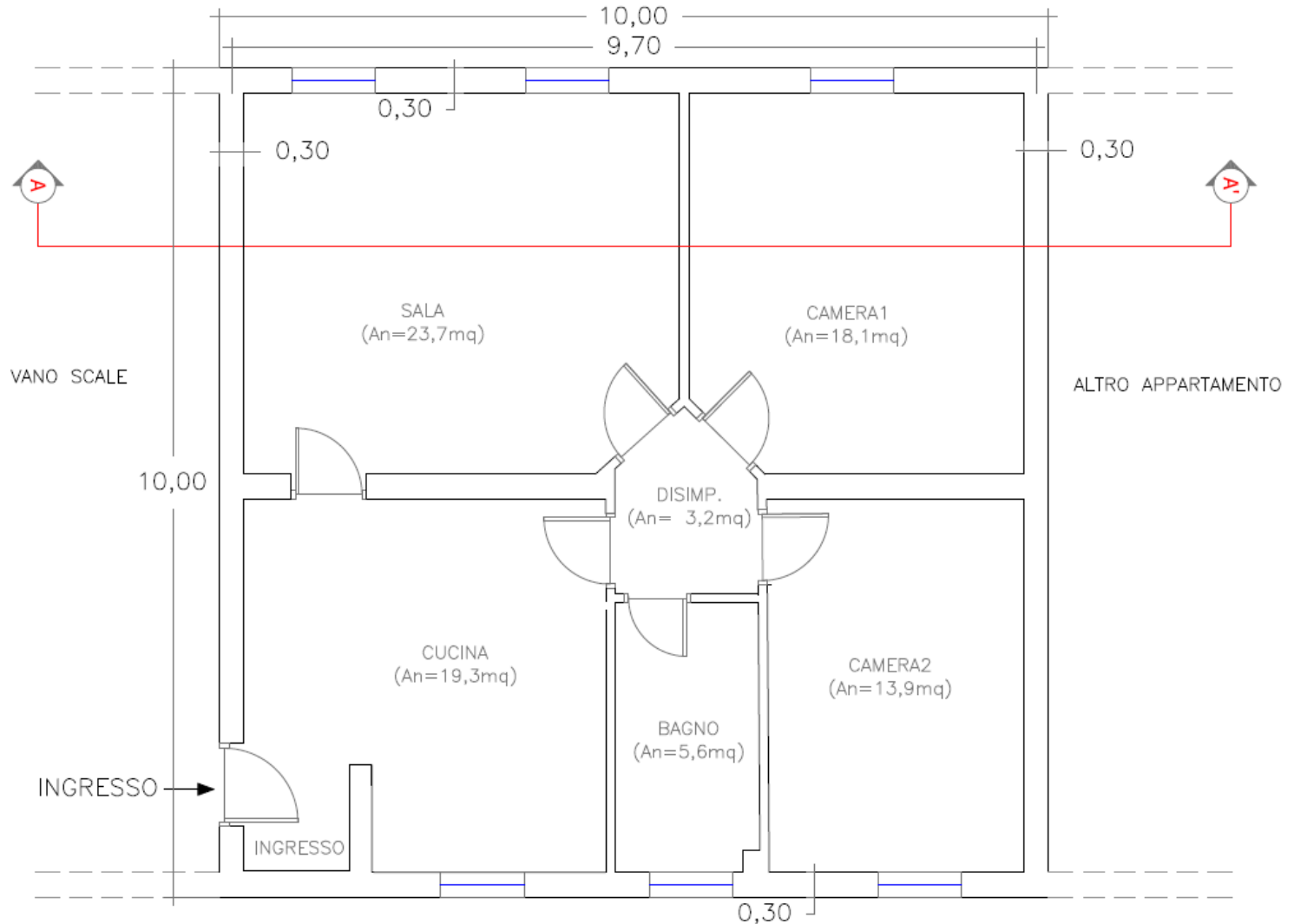
- trasmissione
- ventilazione
- apporti interni
- apporti solari

### 4) Calcolo del bilancio termico sensibile e determinazione del carico termico utile netto.

# 1) Analisi dell'immobile

## PLANIMETRIA

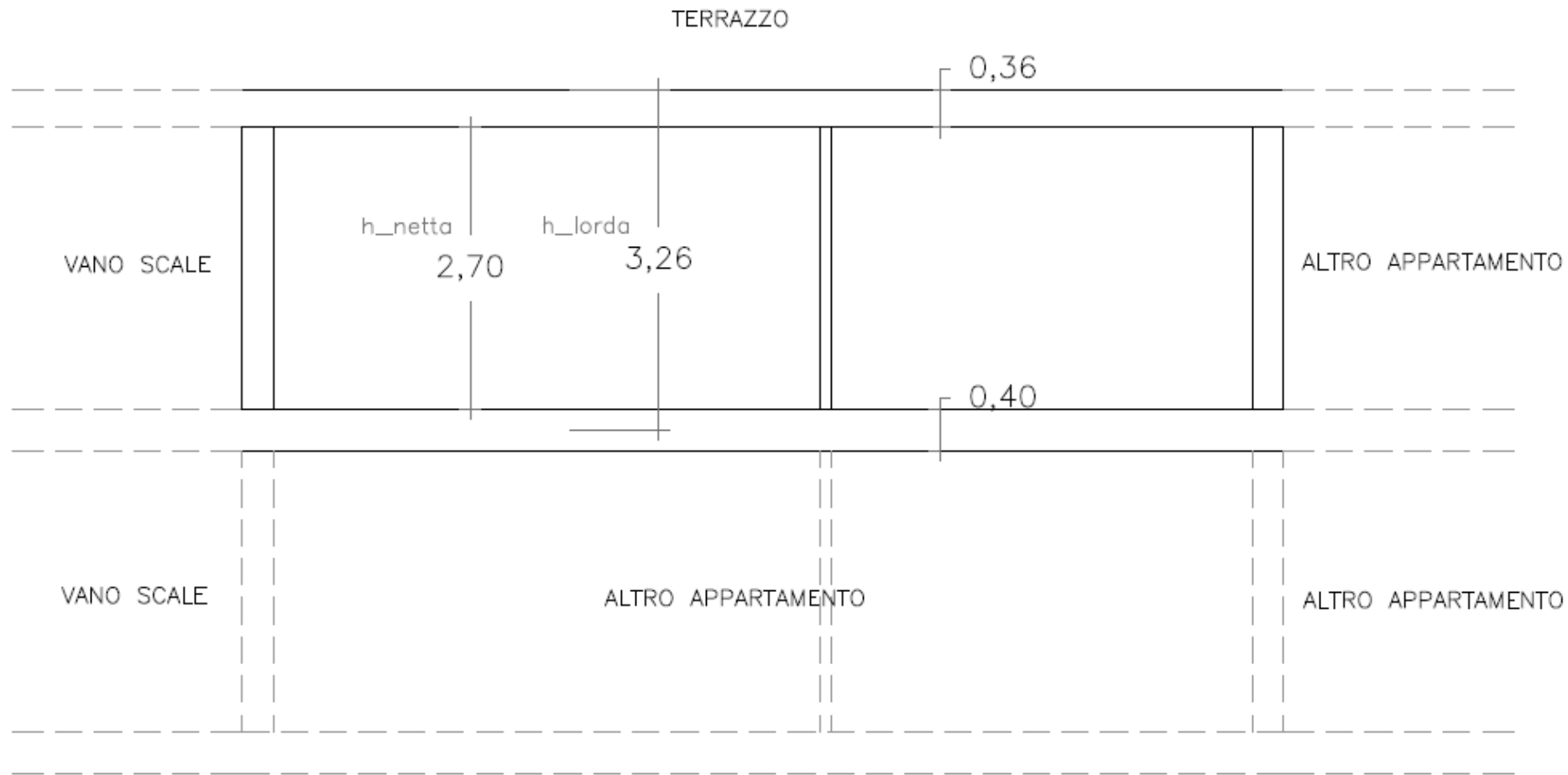
PLANIMETRIA



# 1) Analisi dell'immobile

## SEZIONE A-A'

### SEZIONE A-A'



# 1) Analisi dell'immobile

## DELIMITAZIONE DELLA **ZONA TERMICA**

- **La zona termica è unica** e costituisce la zona di calcolo. E' delimitata dall'esterno mediante le pareti che definiscono l'**involucro**.
- La zona termica confina a nord e sud con l'aria esterna, ad est col vano scale, ad ovest con un altro appartamento, sopra con il terrazzo e sotto con un altro appartamento.
- **Non si considerano disperdenti le superfici a contatto con altri ambienti riscaldati (queste pareti vengono trascurate nei calcoli poiché  $\Delta T=0$ ).**

## CALCOLO DELLE **GRANDEZZE GEOMETRICHE** RELATIVE ALLA ZONA TERMICA

- Le **grandezze nette** non includono le pareti. Le **grandezze lorde** includono interamente le pareti esterne e per metà le pareti confinanti con altri spazi.
  - Area lorda = 97,0 mq
  - Area netta = 83,8 mq
  - Altezza lorda = 3,26 m
  - Altezza netta = 2,70 m
  - Volume lordo = 316 mc
  - Volume netto = 226 mc



# 1) Analisi dell'immobile

## DETERMINAZIONE DELLE GRANDEZZE AMBIENTALI

- L'immobile in oggetto è **situato a Roma**, perciò è sottoposto alle seguenti **condizioni ambientali**:

**INVERNALI** (condizioni estreme **gennaio, ore 6:00**) :

- **Temperatura** esterna= **0°C** (da DPR 1047/77 e UNI 5364)
- **Irraggiamento** solare = **0 W/m<sup>2</sup>** (da ipotesi calcolo di picco)

**ESTIVE** (condizioni estreme **luglio, ore 13:00**) :

- **Temperatura** esterna= **35 °C** (da dati climatici storici)
- **Irraggiamento** solare (da dati climatici storici orari):
  - Nord = **283 W/m<sup>2</sup>**
  - Est = **231 W/m<sup>2</sup>**
  - Sud = **368 W/m<sup>2</sup>**
  - Ovest = **323 W/m<sup>2</sup>**
  - Orizzontale = **940 W/m<sup>2</sup>**

# 1) Analisi dell'immobile

## DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI DI GESTIONE

- L'immobile in oggetto è **adibito a residenza** ed è caratterizzato dai seguenti **parametri di gestione**:

### **INVERNALI** (condizioni estreme a **gennaio, ore 6:00**) :

- **Temperatura interna di comfort** (set-point impianto di riscaldamento) = **20°C** (da DPR 74/2013 e DPR 412/93 s.m.i.)
- **Ricambio d'aria** = ventilazione naturale **0,5 volumi/ora** (valore tipico)
- **Occupazione** = **0 persone** (da ipotesi calcolo di picco)
- **Apparecchiature** = **nessuna** (da ipotesi calcolo di picco)

### **ESTIVE** (condizioni estreme a **luglio, ore 13:00**) :

- **Temperatura interna di comfort** (set-point impianto di raffrescamento) = **26°C** (da DPR 74/2013)
- **Ricambio d'aria** = ventilazione naturale **0,5 volumi/ora** (valore tipico)
- **Occupazione** = **6 persone**
- **Apparecchiature** = frigorifero, illuminazione, 2 computer, scaldabagno, cucina, forno acceso

## 2) Calcolo dei parametri (richiami di teoria)

### CARICO TERMICO SENSIBILE ISTANTANEO

$$q_{u,sens} = \sum q_{tr} + \sum q_{sol} + \sum q_{ve,sens} + \sum q_{int,sens} \quad [W]$$

- **Carico termico sensibile utile di picco invernale:**

$$q_{u,sens,peak,inv} = \max(-q_{u,sens})$$

Valore negativo = dispersioni termiche.  
Occorre compensarle introducendo calore.

- **Carico termico sensibile utile di picco estivo:**

$$q_{u,sens,peak,est} = \max(q_{u,sens})$$

Valore positivo = apporti termici.  
Occorre compensarle espellendo calore.

## 2) Calcolo dei parametri (richiami di teoria)

### CALCOLO DEGLI SCAMBI TERMICI PER TRASMISSIONE

$$q_{tr} = q_{tr,e,o} + q_{tr,e,v} + q_{tr,nc} =$$

Potenza scambiata verso **spazi non climatizzati** [W]

Potenza scambiata dagli elementi **vetrati verso l'esterno** [W]

Potenza scambiata dagli elementi **opachi verso l'esterno** [W]

**Potenza totale scambiata per trasmissione** [W]

$$= H_{tr,e,o} \Delta T + H_{tr,e,v} \Delta T + H_{tr,nc} \Delta T =$$

$$= (H_{tr,e,o} + H_{tr,e,v} + H_{tr,nc}) \Delta T = (T_e - T_i)$$

Coeff. di scambio term. per trasmiss. verso **spazi non clim.** [W/K]

Coeff. di scambio termico per trasmissione **vetrata** [W/K]

Coeff. di scambio termico per trasmissione **opaca** [W/K]

- I coeff. di scambio termico totali sono la **somma dei singoli coeff.** per ogni parete:

$$H_{tr,e,o} = (AU f_{pt})_{tr,nord,o} + (AU f_{pt})_{tr,sud,o} + (AU f_{pt})_{tr,up,o}$$

$$H_{tr,e,v} = (AU_{eq} f_{pt})_{tr,nord,v} + (AU_{eq} f_{pt})_{tr,sud,v}$$

$$H_{tr,nc} = (AU b_{tr} f_{pt})_{tr,scale}$$

$f_{pt}$  = **Fattore di incremento dovuto ai ponti termici**

## 2) Calcolo dei parametri termofisici delle strutture

### STRUTTURE OPACHE

- **Parete verticale perimetrale:**

- **Trasmittanza termica:**

		Parete verso l'esterno				Verso scale
STRATO	MATERIALE	s [m]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1 (esterno)	Adduttanza esterna			25,000	0,040	0,130
2	Intonaco in malta di calce	0,015	0,900	60,000	0,017	0,017
3	Laterizio forato da 120mm	0,120		4,167	0,240	0,240
4	Intercapedine	0,070		5,500	0,182	0,182
5	Laterizio forato da 80mm	0,080		5,000	0,200	0,200
6	Intonaco in malta di calce	0,015	0,900	60,000	0,017	0,017
7 (interno)	Adduttanza interna			7,692	0,130	0,130
<b>TOTALI</b>		<b>0,30</b>			<b>0,825</b>	<b>0,915</b>

	Verso l'esterno:	Verso il vano scale:
Trasmittanza termica (U)	<b>1,212 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>1,093 W/m<sup>2</sup>K</b>

→ La resistenza superficiale esterna delle pareti confinanti verso locali non climatizzati è maggiore rispetto a quelle verso l'esterno.

- **Fattore di assorbimento solare = 0,2** (pareti molto chiare)

- **Dimensioni delle pareti disperdenti opache =**

ESPOSIZIONE	SUPERFICI LORDE DELLE PARETI DISPERDENTI	
	Verso l'ESTERNO [m <sup>2</sup> ]	Verso locali NON CLIMATIZZATI [m <sup>2</sup> ]
Nord	9,70 x 3,26 - 3x(1,0 x 1,30) = 27,72	0
Sud	9,70 x 3,26 - 3x(1,0 x 1,30) = 27,72	0
Est	0	10 x 3,26 = 32,60 *
Ovest	0	0
Orizzontale	0	0

\* Il portone di ingresso è stato considerato assimilato alla parete opaca.

- Incremento delle dispersioni per **ponti termici = 10%** (Fpt = 1,1)

## 2) Calcolo dei parametri termofisici delle strutture

### STRUTTURE OPACHE

- **Solaio di copertura:**

- **Trasmittanza termica:**

STRATO	MATERIALE	GRANDEZZE			
		s [m]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1 (esterno)	Adduttanza esterna			25,000	0,040
2	Pavimentazione da esterno	0,025	1,000	40,000	0,025
3	Massetto con argilla espansa	0,050	0,210	4,200	0,238
4	Polistirene espanso	0,060	0,035	0,583	1,714
5	Cartone catramato	0,010	0,500	50,000	0,020
6	Solaio in C.A. e pignatte	0,260		2,857	0,350
7	Intonaco in malta di calce	0,015	0,900	60,000	0,017
8 (interno)	Adduttanza interna			10,000	0,100
<b>TOTALI</b>		<b>0,42</b>			<b>2,504</b>

\* Si considera sia d'estate che d'inverno la resistenza superficiale minima (flusso ascendente) a favore della sicurezza.

Trasmittanza termica (U) **0,399 w/m<sup>2</sup>K**

- **Fattore di assorbimento solare = 0,3** (piastrelle del terrazzo chiare)
- **Dimensioni dei solai disperdenti =**

ESPOSIZIONE	SUPERFICIE LORDA DEL SOLAIO DISPERDENTE	
	Verso l'ESTERNO [m <sup>2</sup> ]	Verso locali NON CLIMATIZZATI [m <sup>2</sup> ]
Orizzontale	97,00	0

- Incremento delle dispersioni per **ponti termici = 10%** (F<sub>pt</sub> = 1,1)

## 2) Calcolo dei parametri termofisici delle strutture

### STRUTTURE VETRATE

- **Infissi:**

- **Trasmittanza termica:**

Stratigrafia superficie **trasparente**

		GRANDEZZE			
STRATO	MATERIALE	s [m]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1 (esterno)	Adduttanza esterna				0,040
2	Vetro	0,004	1,000		0,004
3	Intercapedine d'aria	0,012		6,5	0,154
4	Vetro	0,004	1,000		0,004
5 (interno)	Adduttanza interna				0,130
<b>TOTALI</b>		<b>0,02</b>			<b>0,332</b>

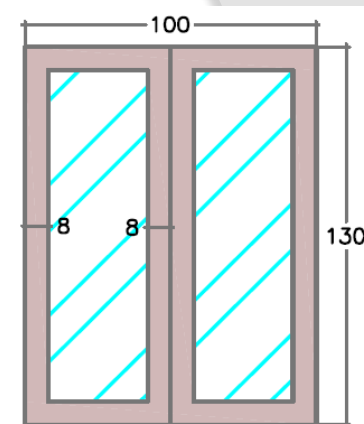
**Trasmittanza termica trasparente (Ut) 3,013 W/m<sup>2</sup>K**

Stratigrafia superficie **opaca**

		GRANDEZZE			
STRATO	MATERIALE	s [m]	$\lambda$ [W/mK]	C [W/m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1 (esterno)	Adduttanza esterna			25,0	0,040
2	Legno abete	0,060	0,120		0,500
3 (interno)	Adduttanza interna			7,7	0,130
<b>TOTALI</b>		<b>0,06</b>			<b>0,670</b>

**Trasmittanza termica opaca (Uo) 1,493 W/m<sup>2</sup>K**

**Trasmittanza termica equival. della finestra (Ueq) 2,399 W/m<sup>2</sup>K**



Larghezza = 1,0 m

Altezza = 1,3 m

Area totale = 1,3 mq

Spessore telaio = 8 cm

Area trasparente = 0,775 mq

Area opaca = 0,525 mq

**Fattore di telaio = 40,4%**

- **Trasmittanza solare (g) = 0,75 (vetro doppio normale)**

- **Dimensioni finestrate =**

ESPOSIZIONE	SUPERFICI LORDE INFISSI Verso l'ESTERNO
	[m <sup>2</sup> ]
Nord	3x(1,0 x 1,30) = 3,90
Sud	3x(1,0 x 1,30) = 3,90

## 2) Calcolo dei parametri termofisici delle strutture

COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO PER TRASMISSIONE VERSO L'AMBIENTE ESTERNO

$$H_{tr,e,o} = (AUf_{pt})_{tr,nord,o} + (AUf_{pt})_{tr,sud,o} + (AUf_{pt})_{tr,orizz,o}$$

$$H_{tr,e,v} = (AU_{eq}f_{pt})_{tr,nord,v} + (AU_{eq}f_{pt})_{tr,sud,v}$$

ESPOSIZIONE	SUPERFICI OPACHE v. esterno				SUPERFICI VETRATE v. esterno			
	Ae,o [m <sup>2</sup> ]	Uo [W/m <sup>2</sup> K]	Fpt	Htr,e,o [W/K]	Ae,v [m <sup>2</sup> ]	Uv [W/m <sup>2</sup> K]	Fpt	Htr,e,v [W/K]
Nord	27,72	1,212	1,10	<b>37,0</b>	3,9	2,399	1,00	<b>9,36</b>
Sud	27,72	1,212	1,10	<b>37,0</b>	3,9	2,399	1,00	<b>9,36</b>
Est								
Ovest								
Orizzontale	97,00	0,399	1,10	<b>42,6</b>				
<b>TOTALE</b>	<b>152,44</b>			<b>116,5</b>	<b>7,8</b>			<b>18,7</b>

$$H_{tr,e,o} = 116,5 \text{ W / K}$$

$$H_{tr,e,v} = 18,7 \text{ W / K}$$



## 2) Calcolo dei parametri termofisici delle strutture

### COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO PER TRASMISSIONE VERSO SPAZI NON CLIMATIZZATI

$$H_{tr,nc} = \left( A U b_{tr} f_{pt} \right)_{tr,scale}$$

$b_{tr}$  = Fattore di riduzione del  $\Delta T$  esterno dovuto allo spazio non climatizzato [adim]

Fattore di correzione  $b_{tr,x}$

Ambiente confinante	$b_{tr,x}$
Ambiente	
- 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
Piano interrato o seminterrato	
- senza finestre o serramenti esterni	0,5
- con finestre o serramenti esterni	0,8
Sottotetto	
- 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

## 2) Calcolo dei parametri termofisici delle strutture

COEFFICIENTE DI SCAMBIO TERMICO PER TRASMISSIONE VERSO SPAZI NON CLIMATIZZATI

$$H_{tr,nc} = (AUb_{tr}f_{pt})_{tr, scale}$$

ESPOSIZIONE	SUPERFICI verso spazi non climatizzati				
	Ao,nc [m <sup>2</sup> ]	Unc [W/m <sup>2</sup> K]	btr	Fpt	Htr,nc [W/K]
Nord					
Sud					
Est	32,60	1,093	0,60	1,10	<b>23,5</b>
Ovest					
Orizzontale					
<b>TOTALE</b>	<b>32,60</b>				<b>23,5</b>

$$H_{tr,nc} = 23,5 \text{ W / K}$$

### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili

TOTALE DEGLI SCAMBI TERMICI PER TRASMISSIONE

$$q_{tr} = q_{tr,e,o} + q_{tr,e,v} + q_{tr,nc} =$$
$$= (H_{tr,e,o} + H_{tr,e,v} + H_{tr,nc})\Delta T =$$

- Scambio termico per **trasmissione** di picco **invernale**:

$$q_{tr,peak,inv} = (116,5 + 18,7 + 23,5)(0 - 20) = -3174 \text{ W}$$

- Scambio termico per **trasmissione** di picco **estivo**:

$$q_{tr,peak,est} = (116,5 + 18,7 + 23,5)(35 - 26) = 1428 \text{ W}$$

### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili

#### TOTALE DEGLI APPORTI SOLARI

$$q_{sol} = q_{sol,o} + q_{sol,t}$$

Potenza ricevuta per irraggiamento diretto da componenti **trasparenti** [W]  
Potenza ricevuta per irraggiamento dei componenti **opachi** (e successivamente trasmessa all'interno)[W]

**Potenza totale ricevuta per irraggiamento [W]**

### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili

#### APPORTI SOLARI DEI COMPONENTI OPACHI

**NOTA:** Viene trascurato l'apporto solare dei telai (opachi) delle finestre.

$$q_{sol,o} = \sum F_{sh} a_{sol} I_{sol} R_{s,est} AU$$

- Apporto termico **solare** da pareti **opache invernale**:

$$q_{sol,o,inv} = 0 \text{ W}$$

- Apporto termico **solare** da pareti **opache estivo**:

ESPOSIZIONE	SUPERFICI OPACHE IRRAGGIATE						
	Fsh	a,sol	Isol [W/m <sup>2</sup> ]	Rs,est [m <sup>2</sup> K/W]	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	qsol,o [W]
Nord	1,00	0,20	283,0	0,04	27,72	1,212	<b>76,1</b>
Sud	1,00	0,20	368,0	0,04	27,72	1,212	<b>98,9</b>
Est							
Ovest							
Orizzontale	1,00	0,30	940,0	0,04	97,00	0,399	<b>437,0</b>
<b>TOTALE</b>					<b>152,44</b>		<b>612</b>

$$q_{sol,o,est} = 612 \text{ W}$$

### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili

#### APPORTI SOLARI DEI COMPONENTI VETRATI

$$q_{sol,t} = \sum F_{sh} (1 - F_F) g A I_{sol,p}$$

- Apporto termico **solare** da pareti **vetrate invernale**:

$$q_{sol,t,inv} = 0 \text{ W}$$

- Apporto termico **solare** da pareti **vetrate estivo**:

ESPOSIZIONE	SUPERFICI VETRATE IRRAGGIAE					
	Fsh	Ff	g	Isol [W/m <sup>2</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	qsol,t [W]
Nord	1,00	0,40	0,75	283,0	3,90	<b>493,6</b>
Sud	1,00	0,40	0,75	368,0	3,90	<b>641,9</b>
Est						
Ovest						
Orizzontale						
<b>TOTALE</b>					<b>7,80</b>	<b>1135</b>

$$q_{sol,t,est} = 1135 \text{ W}$$

### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili

#### TOTALE DEGLI APPORTI SOLARI

$$q_{sol} = q_{sol,o} + q_{sol,t}$$

- Apporto termico **solare** totale **invernale**:

$$q_{sol,peak,inv} = 0 \text{ W}$$

- Apporto termico **solare** totale **estivo**:

$$q_{sol,peak,est} = 612 + 1135 = 1747 \text{ W}$$

### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili

#### FLUSSI PER VENTILAZIONE/INFILTRAZIONI

$$q_{ve,sens} = \rho c_p g_{ve} \Delta T$$

..dove:

$$g_{ve} = \frac{nV}{3600} = \frac{0,5 \cdot 226}{3600} = 0,0314 \frac{m^3}{s}$$

- Flusso termico sensibile di picco per **ventilazione** verso l'aria esterna **invernale**:

$$q_{ve,peak,inv} = 1,204 \cdot 1005 \cdot 0,0314 \cdot (0 - 20) = -760W$$

- Flusso termico sensibile di picco per **ventilazione** verso l'aria esterna **estivo**:

$$q_{ve,peak,est} = 1,204 \cdot 1005 \cdot 0,0314 \cdot (35 - 26) = 342W$$



### 3) Calcolo dei flussi termici sensibili

#### APPORTI INTERNI

$$q_{\text{int},\text{sens}} = \sum_{k=1}^N q_{k,\text{sens}}$$

- **Apporti interni sensibili di picco invernali:**

$$q_{\text{int},\text{peak},\text{inv}} = 0 \text{ W}$$

- **Apporti interni sensibili di picco estivi:**

FONTE	APPORTO TERMICO [W]
Persone	360
Frigorifero	200
Illuminazione	300
2 computer	300
Scaldabagno	100
Cucina	1.500
Forno	1.500
<b>TOTALE</b>	<b>3.900</b>

$$q_{\text{int},\text{peak},\text{est}} = 3900 \text{ W}$$

## 4) Calcolo del bilancio termico sensibile

### CARICO TERMICO SENSIBILE ISTANTANEO

$$q_{u,sens} = \sum q_{tr} + \sum q_{sol} + \sum q_{ve,sens} + \sum q_{int,sens} \quad [W]$$

- **Carico termico sensibile utile di picco invernale:**

$$q_{u,sens,peak,inv} = -(-3174 - 760) = 3934 \text{ W}$$

Potenza termica da introdurre per compensare le dispersioni massime invernali.

- **Carico termico sensibile utile di picco estivo:**

$$q_{u,sens,peak,est} = 1428 + 1747 + 342 + 3900 = 7417 \text{ W}$$

Potenza termica da sottrarre per compensare gli apporti massimi estivi.

- **ATTENZIONE:** Si tratta di **carichi termici utili** (o netti), poiché sono quelli necessari in ambiente. Per poter dimensionare gli impianti termici occorre aggiungere anche le perdite dovute ai componenti dell'impianto (es. tubazioni).

**GRAZIE DELL' ATTEZIONE**

Ing. Marco Cecconi

[marco.cecconi@ingenergia.it](mailto:marco.cecconi@ingenergia.it)



**IngEnergia**

Condivisione della ricerca  
sull'efficienza energetica