



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Facoltà di Architettura

-

Laurea magistrale in
Architettura a ciclo unico

Corso di fisica tecnica ambientale

**LEZIONE 11:
ESERCIZI DI RIEPILOGO**

Ing. Marco Cecconi

marco.cecconi@ingegneria.it

Obiettivo

- Si riportano alcuni esercizi per il riepilogo sulla metrologia, i principi di fisica e la trasmissione del calore.

- **NOTA IMPORTANTE!!**

Gli esercizi seguenti esprimono la massima complessità che può essere trovata nei compiti di esame. Gli esercizi d'esame saranno generalmente un po' più semplici e/o più brevi di quelli presentati. Il grado di difficoltà sarà minimo agli esoneri e via via crescente.

Es.01 - Lezione 1: Fondamenti di metrologia

MISURE DIRETTE DIGITALI

Un termometro digitale indica una temperatura $T_{\text{mis}} = 24,34 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lo strumento ha un portata di $100 \text{ }^\circ\text{C}$, ed è caratterizzato da un'incertezza pari a $0,5\%$ della lettura più 6 digit.

1) Determinare il valore di fondo scala (T_{fs}), la costante di lettura (K), la sensibilità e la risoluzione.

2) Scrivere la misura completa di T nel formato consueto, composta dal valore medio T_{m} e dalla relativa incertezza.

Es.02 - Lezione 1: Fondamenti di metrologia

MISURE DIRETTE DIGITALI

Un termometro digitale indica una temperatura $T_{\text{mis}} = 102,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lo strumento ha un portata di $120 \text{ }^\circ\text{C}$, ed è caratterizzato da un'incertezza relativa dello 0,9% ed una assoluta di $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 1) Determinare il valore di fondo scala (T_{fs}), la costante di lettura (K), la sensibilità e la risoluzione.
- 2) Scrivere la misura completa di T nel formato consueto, composta dal valore medio T_{m} e dalla relativa incertezza.

Es.03 - Lezione 1: Fondamenti di metrologia

MISURE DIRETTE ANALOGICHE

Il manometro analogico in figura viene utilizzato per misurare la pressione delle gomme di un'auto e riporta un valore $p_{\text{mis}}=2,25$ bar. Si consideri che la portata ed il valore di fondo scala dello strumento coincidono. L'incertezza sistematica dello strumento è $\varepsilon_r=1\%$.

- 1) Determinare la portata (p_{max}), il valore di fondo scala (p_{fs}), la costante di lettura (K), la sensibilità e la risoluzione dello strumento.
- 2) Determinare l'incertezza assoluta dello strumento ε_a (dovuta all'errore di lettura).
- 3) Determinare l'incertezza assoluta totale $\varepsilon_{a,\text{tot}}$.
- 4) Scrivere la misura completa di p nel formato consueto, composta dal valore medio p_m e dalla relativa incertezza.



Es.04 - Lezione 1: Fondamenti di metrologia

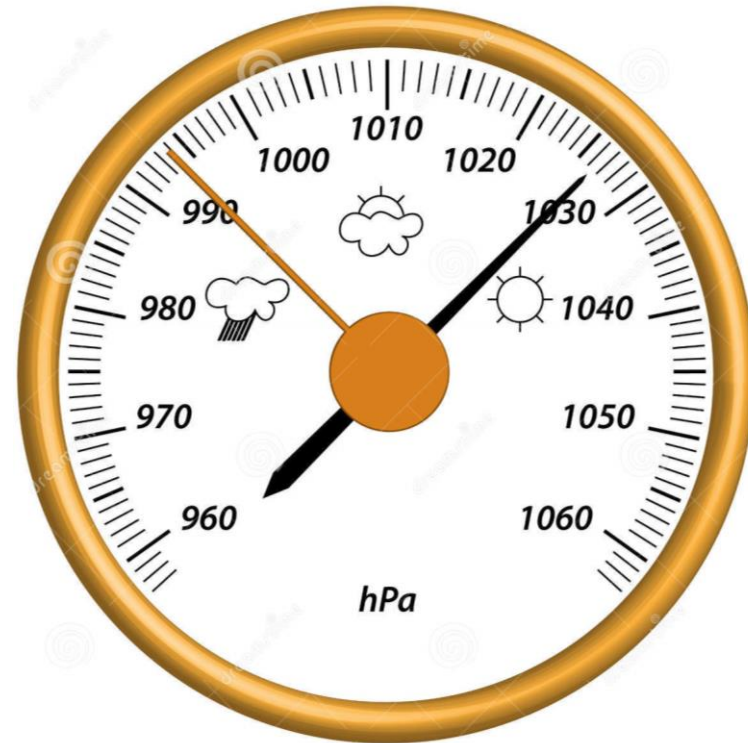
MISURE DIRETTE ANALOGICHE

Il barometro analogico in figura viene utilizzato per misurare la pressione atmosferica ($1\text{hPa} = 100\text{Pa}$).

La misura rilevata è pari a 1026 hPa .

Si consideri che la portata ed il valore di fondo scala dello strumento coincidono. L'incertezza sistematica dello strumento è $\varepsilon_r = 0$.

- 1) Determinare la portata (p_{max}), il valore di fondo scala (p_{fs}), la costante di lettura (K), la sensibilità e la risoluzione dello strumento.
- 2) Determinare l'incertezza assoluta dello strumento ε_a (dovuta all'errore di lettura).
- 3) Determinare l'incertezza assoluta totale $\varepsilon_{a,\text{tot}}$.
- 4) Scrivere la misura completa di p nel formato consueto, composta dal valore medio p_m e dalla relativa incertezza, nell'unità di misura [kPa].



Es.05 - Lezione 1: Fondamenti di metrologia

MISURE INDIRETTE

Si deve effettuare il calcolo del flusso di calore che transita attraverso una parete mediante la consueta equazione di scambio termico $q=AU(T_e-T_i)$.

Sono dati i seguenti valori:

$$T_e = (3,5 \pm 0,2) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = (21,71 \pm 0,08) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = (1,266 \pm 0,006) \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = (22,4 \pm 0,2) \text{ m}^2$$

Determinare il valore completo di q composto dal valore medio q_m e dalla relativa incertezza.

Es.06 - Lezione 1: Fondamenti di metrologia

MISURE INDIRETTE

Si deve effettuare il calcolo del flusso di calore che transita attraverso una parete mediante la consueta equazione di scambio termico $q=AU(T_e-T_i)$.

Sono dati i seguenti valori:

$$T_e = (33 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = (26,7 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U = (0,43 \pm 0,08) \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = (12,4 \pm 0,1) \text{ m}^2$$

Determinare il valore completo di q composto dal valore medio q_m e dalla relativa incertezza.

Es.07 - Lezione 2: Principi di fisica

POTENZA ED ENERGIA

Dal monitoraggio del contatore elettrico di un'abitazione si rilevano i dati in tabella.

ANNO 2014												ANNO 2015
1 GEN	1 FEB	1 MAR	1 APR	1 MAG	1 GIU	1 LUG	1 AGO	1 SET	1 OTT	1 NOV	1 DIC	1 GEN
12300	12550	12780	12945	13001	13175	13374	13639	13954	14215	14404	14579	14814

Tab.1. Letture delle misure di energia elettrica [kWh] rilevate sul contatore di un'abitazione dal 1° gennaio 2014 al 1° gennaio 2015 con cadenza mensile.

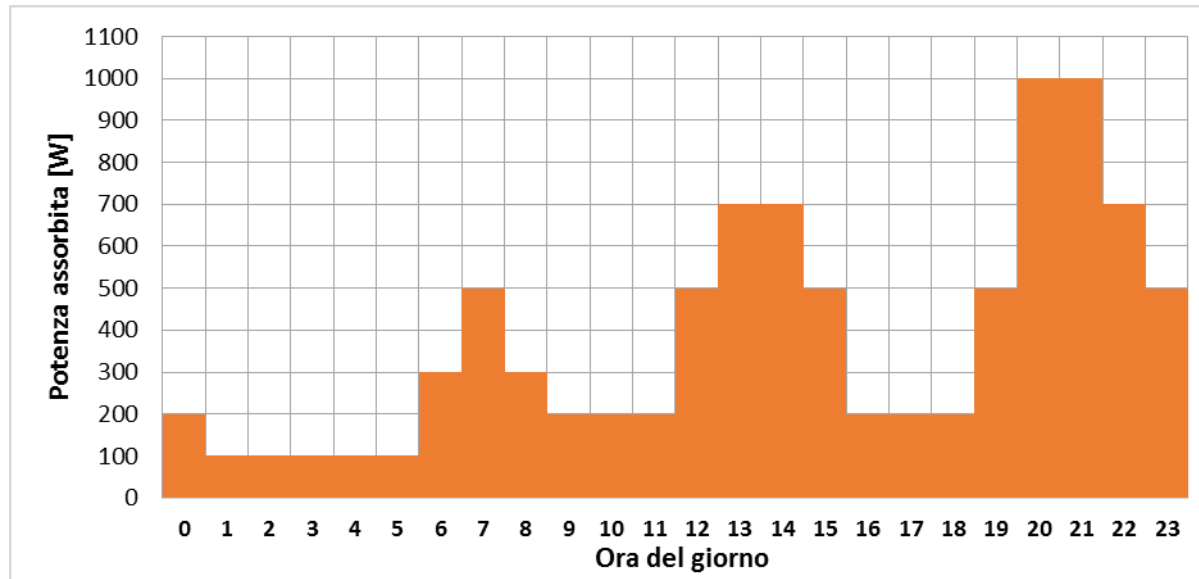
Determinare:

- 1) L'energia elettrica complessiva assorbita in un anno E_{tot} [kWh] nel mese di agosto E_{ago} [kWh].
- 2) La potenza elettrica media richiesta in un anno P_m [W] e nel mese di agosto $P_{m,\text{ago}}$ [W].
- 3) La potenza elettrica massima necessaria nel mese di Agosto $P_{\text{max,ago}}$ [W] considerando di concentrare gli assorbimenti in sole 3 ore al giorno anziché 24.
- 4) La spesa elettrica (S_{tot}) considerando un costo dell'energia di: 0,21 euro/kWh per i primi 1000 kWh; e 0,30 euro/kWh per l'eccedenza.
- 5) Considerando di sapere che il forno elettrico dell'abitazione ha una potenza $P_F = 1,5\text{kW}$ e che viene acceso per 70 ore all'anno, determinare quanto si risparmierebbe in bolletta se il forno non venisse più acceso ($S_{\text{tot},2}$).

Es.08 - Lezione 2: Principi di fisica

POTENZA ED ENERGIA

Mediante un sistema di rilevamento elettronico è stato possibile monitorare la potenza elettrica (P) assorbita da un'abitazione nelle diverse ore del giorno.



Determinare:

- 1) La potenza massima prelevata dalla rete P_{\max} [W].
- 2) L'energia elettrica totale E_{tot} [kWh] prelevata dalla rete a fine giornata.
- 3) Sapendo che lo scaldabagno ha una potenza nominale $P_{s,n} = 1,2$ kW e che resta acceso dalle 19:00 alle 22:00 al 25% della massima potenza, determinare l'energia giornaliera $E_{\text{tot},2}$ [kWh] e la potenza massima $P_{\max,2}$ [W] assorbita dall'impianto considerando di lasciare sempre spento lo scaldabagno.

Es.09 - Lezione 2: Principi di fisica

POTENZA, ENERGIA, CAPACITA' TERMICA

Si vuole riempire una vasca da bagno con 100 litri d'acqua alla temperatura $T = 36^{\circ}\text{C}$ per fare un bel bagno domenicale. Per farlo bisognerà mescolare adeguatamente l'acqua fredda dell'acquedotto a temperatura $T_{\text{cold}}=10^{\circ}\text{C}$, con l'acqua calda proveniente da uno scaldabagno che fornisce acqua a temperatura $T_{\text{hot}}=60^{\circ}\text{C}$.

Determinare:

- 1) Il volume [litri] di acqua calda (V_{hot}) e quello di acqua fredda (V_{cold}) necessari a riempire la vasca come desiderato.
- 2) L'energia termica (Q) che si è dovuto fornire per riscaldare l'acqua dello scaldabagno [Wh] dalla temperatura dell'acquedotto a quella finale, il calore specifico dell'acqua $c_{p,\text{acqua}} = 4186 \text{ J/kgK}$.
- 3) Considerando che lo scaldabagno ha una potenza (P) di 1,3kW indicare quanto tempo (t) ci vorrà per preparare l'acqua calda.

Es.10 - Lezione 2: Principi di fisica

POTENZA, ENERGIA, CAPACITA' TERMICA, BILANCI

Il bilancio termico di un edificio indica che il carico termico sensibile ad un certo istante ($q_{u,sens}$) è pari a -12500 W. La temperatura interna dell'edificio ($T_{i,0}$) è di 22°C . La temperatura esterna ($T_{e,0}$) non è nota. Si consideri di poter descrivere l'edificio come un'unica massa $M = 66,35 \cdot 10^3$ kg con calore specifico $c = 800$ J/kgK e con coefficiente di scambio termico complessivo $H = 1500$ W/K che tiene in considerazione ogni forma di scambio termico verso l'esterno.

Determinare:

- 1) La capacità termica dell'edificio C (in formato esponenziale).
- 2) Considerando $q_{u,sens}$ costante nel tempo, si determini l'energia termica $Q_{u,sens,4}$ scambiata nell'arco di 4 ore (sia in [kWh] che in [J]) e la temperatura $T_{i,4}$ che assumerà l'edificio dopo 4 ore dall'istante iniziale [$^{\circ}\text{C}$].
- 3) Considerando i risultati del punto 2, si determini quale deve essere la temperatura dell'ambiente esterno nell'istante iniziale ($T_{e,0}$) e dopo quattro ore ($T_{e,4}$).

Es.11 - Lezione 6: Irraggiamento

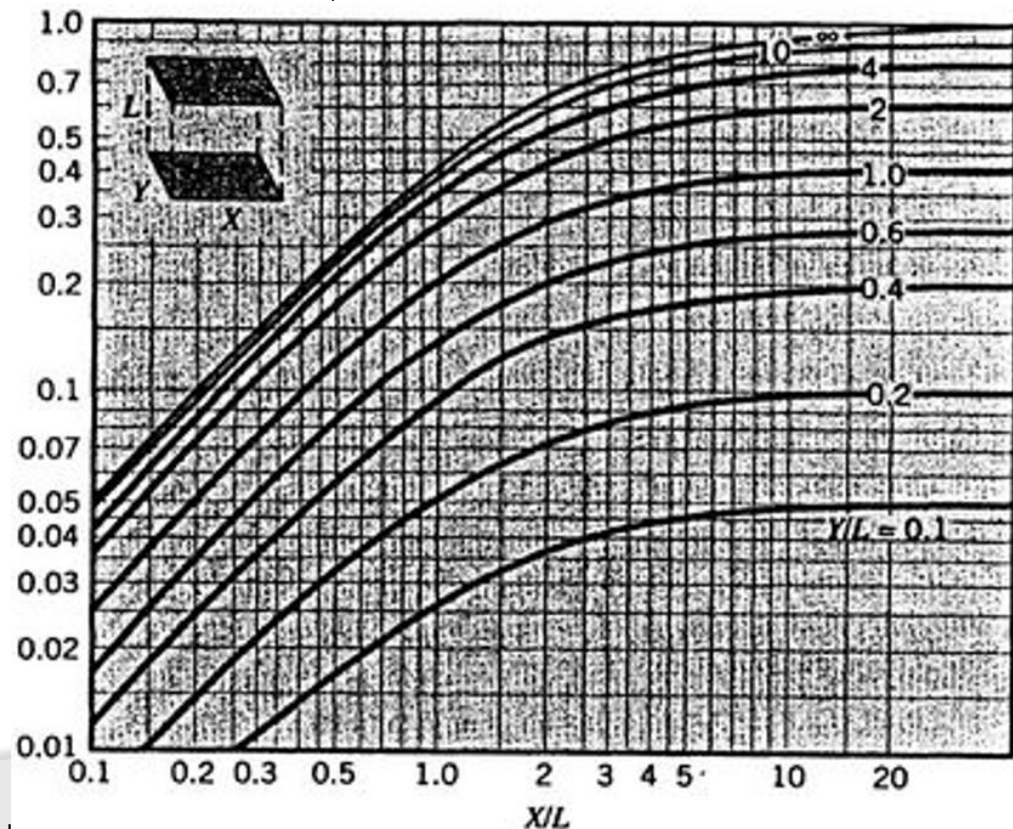
SCAMBIO TERMICO PER IRRAGGIAMENTO

Una stanza ha le seguenti dimensioni: larghezza $X = 9\text{m}$, lunghezza $Y = 6\text{m}$, altezza $L = 3\text{m}$. Il soffitto si trova alla temperatura di $T_1 = 28^\circ\text{C}$ ed ha un coefficiente di assorbimento $a_1 = 0,2$. Il pavimento si trova alla temperatura di $T_2 = 20^\circ\text{C}$ ed ha un coefficiente di assorbimento $a_2 = 0,6$. $\sigma_{sb} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Determinare:

- 1) Il fattore di vista F_{1-2} ed il fattore di mutua radiazione \mathcal{F}_{1-2} .
- 2) Lo scambio termico per irraggiamento (q_{1-2}) tra soffitto e pavimento [W].
- 2) Il coefficiente di scambio termico per irraggiamento (H_r).
- 3) Lo scambio termico per irraggiamento ($q_{1-2,H}$) però utilizzando il coefficiente H_r .

Fattore di vista $F_{1,2}$ tra soffitto e pavimento:



Es.12 - Lezione 6: Irraggiamento

SCAMBIO TERMICO PER IRRAGGIAMENTO

Una persona è seduta al centro di una stanza che ha le seguenti dimensioni: larghezza = 7m, lunghezza = 8m, altezza = 4m. La temperatura media radiante di tutte le pareti rispetto alla persona vale $T_{mr} = 19^{\circ}\text{C}$. Il coefficiente di assorbimento medio delle pareti vale 0,6. La temperatura media superficiale della persona è $T_p = 30^{\circ}\text{C}$, la sua area è $A_p = 1,8 \text{ m}^2$ ed il suo coefficiente di assorbimento medio $a_p = 0,9$. $\sigma_{sb} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.

Determinare:

- 1) L'emittanza globale delle pareti (M_a).
- 2) L'emittanza globale della persona (M_p).
- 3) Lo scambio termico per irraggiamento (q_{p-a}) tra la persona e l'ambiente [W] ipotizzando che la persona possa essere considerata molto piccola rispetto all'ambiente circostante.
- 4) Il coefficiente di scambio termico per irraggiamento (H_r).
- 3) Lo scambio termico per irraggiamento ($q_{p-a,H}$) però utilizzando il coefficiente H_r .

Es.13 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMITTANZA & C.

E' data la parete verticale in tabella confinante con l'esterno, di area $A = 16\text{m}^2$.

Temperature:

$$T_e = 35^\circ$$

$$T_i = 26^\circ$$

		GRANDEZZE						Tstrati [°C]
STRATO	MATERIALE	s [m]	λ [W/mK]	h [W/m ² K]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]		
1 (esterno)	Adduttanza esterna							Te
2	Intonaco in malta di calce	0,010	0,900					Ts1,2
3	Mattoni pieni	0,140			0,180			Ts2,3
4	Intercapedine	0,060		5,5				Ts3,4
5	Laterizio forato da 80mm	0,080			0,200			Ts4,5
6	Intonaco di gesso puro	0,100	0,350		0,286			Ts5,6
7 (interno)	Adduttanza interna							Ts6,7
	TOTALI							Ti

Determinare:

- 1) La trasmittanza termica (U) della parete (vedi tabella alla slide successiva).
- 2) Il profilo di temperatura interno della parete. Disegnare un grafico (qualitativo) del profilo di temperatura.
- 3) Lo scambio termico per trasmissione (q_{tr}) della parete [W].
- 4) L'energia trasmessa (Q_{tr}) nel mese di gennaio, ipotizzando che le temperature restino sempre costanti [kWh]

Es.13 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMITTANZA & C.

Resistenze termiche superficiali da norma UNI EN ISO 6946:2008.

Resistenze termiche superficiali (in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Es.13 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

SOLUZIONE ES. 13

1)

Temperature:

$$T_e = 35^\circ$$

$$T_i = 26^\circ$$

STRATO	MATERIALE	GRANDEZZE					Tstrati [°C]
		s [m]	λ [W/mK]	h [W/m ² K]	R [m ² K/W]	ΔT [°C]	
1 (esterno)	Adduttanza esterna				0,040	0,35°	Te 35,00°
2	Intonaco in malta di calce	0,010	0,900	90,0	0,011	0,10°	Ts1,2 34,65°
3	Mattoni pieni	0,140			0,180	1,57°	Ts2,3 34,55°
4	Intercapedine	0,060		5,5	0,182	1,59°	Ts3,4 32,98°
5	Laterizio forato da 80mm	0,080			0,200	1,75°	Ts4,5 31,39°
6	Intonaco di gesso puro	0,100	0,350	3,5	0,286	2,50°	Ts5,6 29,64°
7 (interno)	Adduttanza interna				0,130	1,14°	Ts6,7 27,14°
TOTALI		0,39			1,029	9,00°	Ti 26,00°

Trasmittanza termica (U)	0,972 W/m²K
--------------------------	-------------------------------

$\Delta T_{tot}/R_{tot} =$	8,75 W/m ²
----------------------------	-----------------------

2) Occorre graficare la temperatura degli strati.

$$3) q_{tr} = AU\Delta T = 16 \cdot 0,972 \cdot (35 - 26) = 140 \text{ W}$$

$$4) Q_{tr} = q_{tr} \cdot 24 \cdot 31 = 104 \text{ kWh}$$

Es.14 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMITTANZA & C.

E' dato il solaio di pavimento in tabella di area $A = 20\text{m}^2$, confinante con un ambiente non climatizzato posto al piano interrato e senza finestre.

Temperature:

$$T_e = 5^\circ$$

$$T_i = 20^\circ$$

		GRANDEZZE			
STRATO	MATERIALE	s [m]	λ [W/mK]	h [W/m ² K]	R [m ² K/W]
1 (esterno)	Adduttanza esterna				
2	Intonaco in malta di calce	0,015	0,900		
3	Pannelli in sughero	0,020	0,043		
4	Solaio pignatte e travetti	0,300			0,410
5	Massetto con argilla espans	0,050	0,210		
6	Piastrelle in porcellana	0,015	1,000		
7 (interno)	Adduttanza interna				
TOTALI					

Determina.

- 1) La trasmittanza termica (U_1) della parete.
- 2) Lo spessore dei pannelli di sughero affinché la trasmittanza (U_2) risulti inferiore al valore di $U_{\max} = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Approssimare lo spessore per eccesso al valore intero successivo.
- 3) Ricalcolare la trasmittanza (U_2) con il nuovo spessore di sughero [W].

Es.14 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMITTANZA & C.

Fattore di riduzione b_{tr} del ΔT esterno dovuto allo spazio non climatizzato. Norma UNI TS 11300-1:2014.

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

Es.14 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

SOLUZIONE ES. 14

1)

Temperature:

$$T_e = 5^\circ$$

$$T_i = 20^\circ$$

		GRANDEZZE			
STRATO	MATERIALE	s [m]	λ [W/mK]	h [W/m ² K]	R [m ² K/W]
1 (esterno)	Adduttanza esterna				0,170
2	Intonaco in malta di calce	0,015	0,900	60,0	0,017
3	Pannelli in sughero	0,020	0,043	2,2	0,465
4	Solaio pignatte e travetti	0,300			0,410
5	Massetto con argilla espansa	0,050	0,210	4,2	0,238
6	Piastrelle in porcellana	0,015	1,000	66,7	0,015
7 (interno)	Adduttanza interna				0,170
TOTALI		0,40			1,485

Trasmittanza termica (U)	0,673 W/m²K
---------------------------------	-------------------------------

2), 3), 4) Vedi soluzioni alla fine.

Es.15 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMISSIONE E IRRAGGIAMENTO PARETI OPACHE

Una parete opaca verticale di area $A = 2 \text{ m}^2$ e spessore $s = 30 \text{ cm}$ confina internamente con un ambiente a $T_i = 20^\circ\text{C}$ ed esternamente con l'aria esterna a temperatura $T_e = 10^\circ\text{C}$. La temperatura fittizia al sole della parete è di 35°C . La parete è ombreggiata al 25% ed ha un'emissività $\varepsilon = 0,3$. In assenza di soleggiamento nella parete passa un flusso di calore $q_{tr,1} = -50 \text{ W}$.

Determinare:

- 1) L'irraggiamento solare proiettato sulla parete ($I_{sol,p}$).
- 2) La trasmittanza termica (U_1) della parete (ved. tabella per le resistenze superficiali).
- 3) L'apporto solare opaco ($q_{sol,o}$).
- 4) La potenza termica totale che fluisce nella parete soleggiata ($q_{tot,o}$).

Es.16 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMISSIONE E IRRAGGIAMENTO PARETI OPACHE

Una parete opaca verticale di area $A = 4 \text{ m}^2$ e spessore $s = 40 \text{ cm}$ confina internamente con un ambiente a $T_i = 26^\circ\text{C}$ ed esternamente con l'aria esterna a temperatura $T_e = 35^\circ\text{C}$. La conducibilità equivalente della parete è $\lambda = 0,5 \text{ W/mK}$. L'irraggiamento solare è $I_{\text{sol,p}} = 600 \text{ W/m}^2$. La parete è ombreggiata al 10% ed ha un'emissività $\varepsilon = 0,5$. In assenza di soleggiamento nella parete passa un flusso di calore $q_{\text{tr},1} = 200 \text{ W}$.

Determinare:

- 1) La trasmittanza termica (U_1) della parete (ved. tabella per le resistenze superficiali).
- 2) La potenza termica totale che fluirebbe nella parete se non fosse sottoposta a irraggiamento solare ($q_{\text{tot,o},1}$).
- 3) La temperatura fittizia al sole T_f .
- 4) La potenza termica totale della parete soleggiata ($q_{\text{tot,o},2}$).

Es.17 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMISSIONE E IRRAGGIAMENTO PARETI VETRATE

Una parete vetrata verticale di area $A = 8 \text{ m}^2$ confina internamente con un ambiente a $T_i = 24^\circ\text{C}$ ed esternamente con l'aria esterna a temperatura $T_e = 30^\circ\text{C}$. La parete è investita da un irraggiamento solare $I_{\text{sol,p}} = 400 \text{ W/m}^2$ ed è ombreggiata da una tenda esterna che copre il 40% della sua superficie. Il coefficiente di trasmittività solare del vetro $g = 0,85$. In queste condizioni lo scambio per trasmissione è $q_{\text{tr}} = 100 \text{ W}$. Il telaio ha spessore di 4 cm e conducibilità $\lambda = 0,08 \text{ W/mK}$. Il fattore di telaio $F_f = 0,3$.

Determinare:

- 1) La trasmittanza termica (U_{eq}) dell'infisso (ved. tabella per le resistenze superficiali).
- 2) L'area del telaio (A_o) e l'area del vetro (A_t) della parete vetrata.
- 3) La trasmittanza della parte opaca (U_o) e di quella trasparente (U_t).
- 4) La potenza termica che fluisce per irraggiamento sulla superficie trasparente ($q_{\text{sol,t}}$).

Es.18 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

TRASMISSIONE E PONTI TERMICI

Una stanza rettangolare ha le seguenti dimensioni esterne: $x = 4\text{m}$, $y = 6\text{m}$, $z = 3\text{m}$. L'involucro disperdente è composto dalle 4 pareti laterali ($U_L = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$), dal solaio di copertura che dà su un terrazzo piano ($U_C = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) e dal solaio di pavimento che dà su uno spazio esterno ($U_P = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$). Sono inoltre presenti due infissi ciascuno di dimensioni $1,3 \times 1,8 \text{ m}$ e trasmittanza $U_F = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. L'isolamento termico delle pareti laterali è a "cappotto interno". La temperatura esterna $T_e = 2^\circ\text{C}$ e quella interna $T_i = 18^\circ\text{C}$. Si ignorino i ponti termici puntuali.

Determinare:

- 1) Il coefficiente di scambio termico per trasmissione complessivo delle pareti senza ponti termici (H_{tr}).
- 2) Il coefficiente di scambio termico dovuto ai ponti termici (H_{pt}).
- 3) La potenza termica complessiva che fluisce per trasmissione attraverso l'involucro ($q_{tr,tot}$).

Es.18 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

PONTI TERMICI

Atlante dei
ponti termici
UNI EN ISO 14683

Coperture			
R1 $L^{2D} = 1,42$	R2 $L^{2D} = 1,38$	R3 $L^{2D} = 1,28$	
$\Psi_e = 0,55$ $\Psi_{oi} = 0,70$ $\Psi_i = 0,70$	$\Psi_e = 0,50$ $\Psi_{oi} = 0,65$ $\Psi_i = 0,65$	$\Psi_e = 0,40$ $\Psi_{oi} = 0,55$ $\Psi_i = 0,55$	
Angoli			
continua dalla pagina precedente			
C1 $L^{2D} = 0,84$	C2 $L^{2D} = 0,79$	C3 $L^{2D} = 0,70$	
$\Psi_e = -0,05$ $\Psi_{oi} = 0,15$ $\Psi_i = 0,15$	$\Psi_e = -0,10$ $\Psi_{oi} = 0,10$ $\Psi_i = 0,10$	$\Psi_e = -0,20$ $\Psi_{oi} = 0,00$ $\Psi_i = 0,00$	

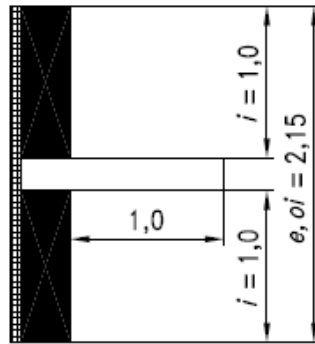
Es.18 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

PONTI TERMICI

Atlante dei
ponti termici
UNI EN ISO 14683

Pavimenti

continua dalla pagina precedente



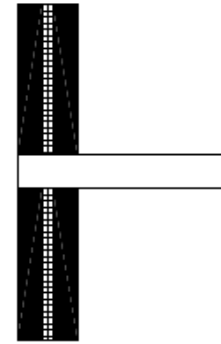
F1

$$\Psi_e = 0,00$$

$$\Psi_{oi} = 0,00$$

$$\Psi_i = 0,05$$

$$L^{2D} = 0,74$$



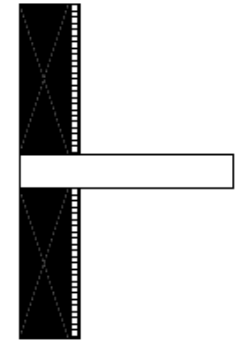
F2

$$\Psi_e = 0,80$$

$$\Psi_{oi} = 0,80$$

$$\Psi_i = 0,90$$

$$L^{2D} = 1,56$$



F3

$$\Psi_e = 0,75$$

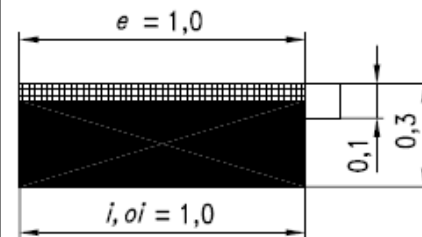
$$\Psi_{oi} = 0,75$$

$$\Psi_i = 0,80$$

$$L^{2D} = 1,50$$

Serramenti di porte e finestre

continua dalla pagina precedente



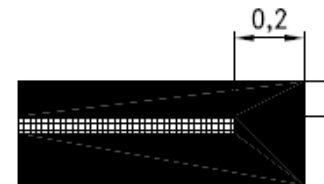
W1

$$\Psi_e = 0,00$$

$$\Psi_{oi} = 0,00$$

$$\Psi_i = 0,00$$

$$L^{2D} = 0,36$$



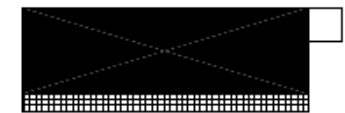
W2

$$\Psi_e = 0,65$$

$$\Psi_{oi} = 0,65$$

$$\Psi_i = 0,65$$

$$L^{2D} = 1,00$$



W3

$$\Psi_e = 0,45$$

$$\Psi_{oi} = 0,45$$

$$\Psi_i = 0,45$$

$$L^{2D} = 0,81$$

Es.19 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

CARICHI TERMICI

Una zona termica rettangolare di dimensioni interne: $x_i = 6\text{m}$, $y_i = 7\text{m}$, $z_i = 2,7\text{m}$ si trova alla temperatura $T_i=24^\circ\text{C}$ e scambia calore con l'esterno a temperatura $T_e=30^\circ\text{C}$. E' stato calcolato uno scambio per trasmissione $q_{tr}=560\text{ W}$ ed un apporto solare $q_{sol}=350\text{W}$. Il tasso di ventilazione dell'ambiente è di 0,7 volumi/ora. Nel locale sono presenti apparecchiature con potenza nominale complessiva $P_n = 1,5\text{kW}$ che vengono utilizzate al 30% della loro potenzialità, inoltre è presente un impianto di illuminazione che assorbe una potenza elettrica di 5 W/m^2 . Si trascurino i ponti termici. $\rho c_p = 1200\text{ J/m}^3\text{K}$.

Determinare:

- 1) Lo scambio termico per ventilazione (q_{ve}).
- 2) Gli apporti interni (q_{int}).
- 3) Il carico termico sensibile istantaneo risultante dal bilancio termico della zona ($q_{u,sens}$).
- 4) Il coefficiente di scambio termico per trasmissione equivalente dell'involucro ($H_{tr,eq}$) e il coefficiente di scambio termico per ventilazione equivalente ($H_{ve,eq}$).
- 5) Ipotizzando che il coefficiente del punto 4 sia costante in tutto l'anno, ed ipotizzando che le temperature nel giorno più freddo dell'anno siano $T_i=20^\circ\text{C}$ e $T_e=0^\circ\text{C}$, calcolare il carico termico di picco invernale ($q_{u,sens,peak,inv}$).

Es.20 - Lezione 8: Trasm. del calore in edilizia

CARICHI TERMICI

Una zona termica rettangolare di dimensioni esterne: $x_e = 8\text{m}$, $y_e = 8\text{m}$, $z_e = 3,5\text{m}$ si trova alla temperatura $T_i = 21^\circ\text{C}$ e scambia calore con l'esterno a temperatura $T_e = 3^\circ\text{C}$. Lo spessore di tutte le pareti è di 40cm e non sono presenti tramezzi interni. Le uniche pareti disperdenti sono due pareti laterali ($U_L = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), ed il soffitto ($U_S = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$). E' stato calcolato un apporto solare $q_{\text{sol}} = 1250\text{W}$. Il tasso di ventilazione dell'ambiente è di 0,3 ricambi/ora (riferiti al volume netto). Nel locale sono presenti apparecchiature con potenza nominale complessiva $P_n = 7\text{W/m}^2$ (riferita alla superficie calpestabile) che vengono utilizzate al 40% della loro potenzialità. Si trascurino i ponti termici.

$$\rho c_p = 1200 \text{ J/m}^3\text{K}.$$

Determinare:

- 1) Le dimensioni interne del locale (x_i , y_i , z_i), l'area (A_i) ed il volume netto (V_i).
- 2) Lo scambio termico per ventilazione (q_{ve}).
- 3) Gli apporti interni (q_{int}).
- 4) Lo scambio termico per trasmissione (q_{tr}), calcolato sulle dimensioni esterne.
- 5) Il carico termico sensibile istantaneo risultante dal bilancio termico della zona ($q_{u,sens}$).
- 6) Ipotizzando che la condizione descritta sia quella del giorno più freddo dell'anno, calcolare il carico termico di picco invernale ($q_{u,sens,peak,inv}$).

ES.1

$$1) T_{FS} = 100^{\circ}\text{C}; K = \text{ND}; S_{ENS} = R_{IS} = 0,01^{\circ}\text{C}$$

$$2) \varepsilon_{a, \text{TOT}} = 0,06 + \frac{0,5}{100} \cdot 24,34 = 0,18 \rightarrow 0,2^{\circ}\text{C}$$

$$T = (24,3 \pm 0,2)^{\circ}\text{C}$$

ES.2

$$1) T_{FS} = 120^{\circ}\text{C}; K = \text{ND}; S_{ENS} = R_{IS} = 0,1^{\circ}\text{C}$$

$$2) \varepsilon_{a, \text{TOT}} = 0,8 + \frac{0,9}{100} \cdot 102,5 = 1,72 \rightarrow 2^{\circ}\text{C}$$

$$T = (103 \pm 2)^{\circ}\text{C}$$

ES.3

$$1) P_{\text{MAX}} = 6 \text{ bar}; K = 0,05 \text{ bar/DIV}; S_{ENS} = R_{IS} = 0,05 \text{ bar}$$

$$2) \varepsilon_a = \pm 0,05 \text{ bar}$$

$$3) \varepsilon_{a, \text{TOT}} = 0,05 + 0,01 \cdot 2,25 = 0,0725 \text{ bar} \rightarrow 0,08 \text{ bar}$$

$$4) p = (2,25 \pm 0,08) \text{ bar}$$

ES.4

$$1) P_{\text{MAX}} = 1063 \text{ hPa}; P_{FS} = P_{\text{MAX}}; K = 1 \text{ hPa/DIV}; S_{ENS} = 957 \text{ hPa}; R_{IS} = 1 \text{ hPa}$$

$$2) \varepsilon_a = \pm 1 \text{ hPa}$$

$$3) \varepsilon_{a, \text{TOT}} = \varepsilon_a = \pm 1 \text{ hPa}$$

$$4) p = (1026 \pm 1) \text{ hPa} = (102,6 \pm 0,1) \text{ kPa}$$

ES. 5

$$(T_e - T_i)_m = (3,5 - 21,71) = -18,21^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_{a,(T_e - T_i)} = 0,2 + 0,08 = 0,28^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_{r,(T_e - T_i)} = \left| \frac{0,28}{-18,21} \right| = 1,538\% \quad \text{OPPURE } 15,38 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{r,U} = 0,474\% \quad \text{OPPURE } 4,74 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{r,A} = 0,893\% \quad \text{OPPURE } 8,93 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{r,\text{TOT}} = \varepsilon_{r,(T_e - T_i)} + \varepsilon_{r,U} + \varepsilon_{r,A} = 2,905\% \quad \text{OPPURE } 29,05 \cdot 10^{-3}$$

$$q_m = A_m U_m \Delta T_m = 22,4 \cdot 1,266 \cdot (-18,21) = -516,406 \text{ W}$$

$$\varepsilon_{a,q} = \varepsilon_{r,\text{TOT}} \cdot q_m = 15,001 \rightarrow 16 \text{ W}$$

$$q = (-516 \pm 16) \text{ W}$$

ES. 6

$$(T_e - T_i)_m = 6,3^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_{a,(T_e - T_i)} = ~~0,175~~ 1,1^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_{r,(T_e - T_i)} = 0,175$$

$$\varepsilon_{r,U} = 0,186$$

$$\varepsilon_{r,A} = 0,008$$

$$\varepsilon_{r,\text{TOT}} = 0,369$$

$$q_m = 33,5916 \text{ W}$$

$$\varepsilon_{a,q} = ~~12,40~~ 12,40 \rightarrow 13 \text{ W}$$

$$q = (34 \pm 13) \text{ W}$$

7

$$1) E_{TOT} = 14814 - 12300 = 2514 \text{ kWh}$$

$$E_{AGO} = 13954 - 13639 = 315 \text{ kWh}$$

$$2) P_{M} = \frac{E_{TOT}}{h_{ANNO}} = \frac{2514 \cdot 10^3}{24 \cdot 365} = 287 \text{ W}$$

$$P_{M,AGO} = \frac{E_{AGO}}{h_{AGO}} = \frac{315 \cdot 10^3}{24 \cdot 31} = 423 \text{ W}$$

$$3) P_{MAX,AGO} = \frac{E_{AGO}}{3 \cdot 31} = \frac{315 \cdot 10^3}{3 \cdot 31} = 3387 \text{ W}$$

$$4) S_{TOT} = 0,21 \cdot 1000 + (2514 - 1000) \cdot 0,3 = ~~1000~~ 664,2 \text{ €}$$

$$5) E_F = 1,5 \cdot 10^3 \cdot 70 = 105 \text{ kWh}$$

$$E_{TOT2} = E_{TOT} - E_F = 2409 \text{ kWh}$$

$$S_{TOT2} = 0,21 \cdot 1000 + 0,3 (2514 - 1000 - 105) = 632,7 \text{ €}$$

$$R = S_{TOT} - S_{TOT2} = 31,5 \text{ €}$$

8

$$1) P_{MAX} = 1 \text{ kW} \rightarrow \text{NELLE ORE DALLE 20:00 ALLE 22:00}$$

$$2) \bar{E}_{TOT} = \left(5 \cdot 100 + 7 \cdot 200 + 2 \cdot 300 + 5 \cdot 500 + 3 \cdot 700 + 2 \cdot 1000 \right) \cdot \frac{1}{1000} = 9,1 \text{ kWh}$$

$$3) P_S = K_U \cdot P_{S,N} = 0,25 \cdot 1,2 = 0,3 \text{ kW}$$

$$P_{MAX,2} = 1 - 0,3 = 0,7 \text{ kW}$$

$$E_S = P_S \cdot \Delta t = 0,3 \cdot 10^3 \cdot 3 = 0,9 \text{ kWh}$$

$$\bar{E}_{TOT,2} = 9,1 - 0,9 = 8,2 \text{ kWh}$$

9

$$1) T_{EQ} = T = \frac{T_c C_c + T_H C_H}{C_c + C_H} = \frac{T_c m_c c_{p,acqua} + T_H m_H c_{p,acqua}}{m_c c_{p,acqua} + m_H c_{p,acqua}} = \frac{T_c m_c + T_H m_H}{m_T} =$$

$$= \frac{T_c (m_T - m_H) + T_H m_H}{m_T}$$

$m_c = m_T - m_H$

INVERTO PER TROVARE m_H :

$$T m_T = T_c m_T - T_c m_H + T_H m_H \quad m_T (T - T_c) = m_H (T_H - T_c)$$

$$m_H = m_T \frac{(T - T_c)}{(T_H - T_c)} = 100 \frac{36 - 10}{60 - 10} = 52 \text{ kg} \rightarrow V_H = 52 \text{ L}$$

$\rho_{acqua} = \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} = \frac{1 \text{ kg}}{\text{L}}$

$$m_c = m_T - m_H = 100 - 52 = 48 \text{ kg} \rightarrow V_c = 48 \text{ L}$$

$$2) C = \frac{Q}{\Delta T} \quad c_{p,acqua} = \frac{Q}{m \Delta T} \rightarrow Q = m_H c_{p,acqua} (T_H - T_c) = 52 \cdot 4186 \cdot (60 - 10) = 10,88 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$15 = 1W \cdot \left(\frac{1h}{3600}\right) \rightarrow 15 = \frac{1W \cdot 1h}{3600} \rightarrow Q = \frac{10,88 \cdot 10^6}{3600} \text{ Wh} = 3022 \text{ Wh} = 3,02 \text{ kWh}$$

$$3) Q = P \Delta t \rightarrow \Delta t = \frac{Q}{P} = \frac{3022}{1300} = 2,32 \text{ h} = 139,2' \approx 2 \text{ h } 20'$$

10

$$1) C = c_p \cdot m = 800 \cdot 66,35 \cdot 10^3 = 5,3 \cdot 10^7 \text{ J/K}$$

$$2) Q_{U,SENS,4} = 4 \cdot (-12500) = -50 \text{ kWh} \xrightarrow{\cdot 3600} = -180 \text{ MJ}$$

$$C = \frac{Q_{U,SENS,4}}{T_{i,4} - T_{i,0}} \rightarrow (T_{i,4} - T_{i,0}) C = Q_{U,SENS,4} \rightarrow T_{i,4} = \frac{Q_{U,SENS,4} + T_{i,0} C}{C}$$

$$= T_{i,0} + \frac{Q_{U,SENS,4}}{C} = 22 - \frac{180 \text{ MJ}}{5,3 \cdot 10^7} = 22 - 3,4 = 18,6^\circ \text{C}$$

$$3) q_{U,SENS} = H (T_e - T_i) \rightarrow T_e = \frac{q_{U,SENS}}{H} + T_i$$

$$\begin{cases} T_{e,0} = \frac{-12500}{1500} + 22^\circ \text{C} = 13,7^\circ \text{C} \\ T_{e,4} = \frac{-12500}{1500} + 18,6^\circ \text{C} = 10,3^\circ \text{C} \end{cases}$$

11

$$1) \frac{x}{L} = 3 ; \frac{y}{L} = 2 \rightarrow \boxed{F_{1 \rightarrow 2} \approx 0,5}$$

$$\gamma_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{1 \rightarrow 2}} + \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2} \left(\frac{A_1}{A_2}\right)} = \frac{1}{\frac{1-0,2}{0,2} + \frac{1}{0,5} + \frac{1-0,6}{0,6} \left(\frac{54}{56}\right)} = \frac{1}{4+2+0,67} = \boxed{0,15}$$

$$2) q_{1 \rightarrow 2} = A_1 \gamma_{1 \rightarrow 2} \sigma_{SB} (T_1^4 - T_2^4) = 54 \cdot 0,15 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left[\underbrace{(28+273,15)^4}_{8,22 \cdot 10^9} - \underbrace{(20+273,15)^4}_{7,39 \cdot 10^9} \right] =$$

$$= \underbrace{54 \cdot 0,15 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}}_{\rho = 4,59 \cdot 10^{-7}} \cdot 0,83 \cdot 10^9 = \boxed{381 \text{ W}}$$

$$3) H_r = A_1 \gamma_{1 \rightarrow 2} \sigma_{SB} 4 T_m^3 = 4,59 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot \left(\frac{28+273,15 + 20+273,15}{2} \right)^3 = 4,59 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot (297,15)^3 =$$

$$= 4,59 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 2,62 \cdot 10^7 = 48,1 \text{ W/K}$$

$$4) q_{1 \rightarrow 2, H} = H_r \Delta T = 48,1 \cdot (28-20) = \boxed{384,8 \text{ W}}$$

12

$$1) \boxed{M_a} = \epsilon_a \sigma_{SB} T_{MR}^4 = 0,6 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (19+273,15)^4 \approx \boxed{248 \text{ W/m}^2}$$

$$2) \boxed{M_p} = \epsilon_p \sigma_{SB} T_p^4 \approx \boxed{431 \text{ W/m}^2}$$

$$3) \boxed{q_{p \rightarrow a}} = A_p \gamma_{p \rightarrow a} \sigma_{SB} (T_p^4 - T_a^4) \approx A_p \epsilon_p \sigma_{SB} (T_p^4 - T_a^4) \approx \boxed{106,2 \text{ W}}$$

$$4) \boxed{H_r} = A_p \epsilon_p \sigma_{SB} 4 T_m^3 = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 4 \cdot \left(\frac{19+273,15 + 30+273,15}{2} \right)^3 \approx \boxed{9,77 \text{ W/K}}$$

$$5) \boxed{q_{p \rightarrow a, H}} = H_r \cdot \Delta T = 9,77 (30-19) = \boxed{107,5 \text{ W}}$$

13

VEDI SOLUZIONE SULLE SLIDES

14

1) VEDI SOLUZIONE SULLE SLIDES

$$2) U_2 < U_{MAX} \rightarrow \frac{1}{R_{TOT,2}} < \frac{1}{R_{TOT,MIN}} \rightarrow R_{TOT,2} > R_{TOT,MIN}$$

↳ LA U_{MAX} CORRISPONDE ALLA R_{MIN} , INVERSA. PROPORZIONALI

$$R_{TOT,2} = R_{SUGHERO,2} + R_{ALTRO} = \frac{S_{SUGHERO,2}}{\lambda_{SUGHERO}} + R_{ALTRO} > R_{TOT,MIN}$$

$$\rightarrow S_{SUGHERO,2} > (R_{TOT,MIN} - R_{ALTRO}) \lambda_{SUGHERO} \rightarrow S_{SUGHERO,2} > \left[\frac{1}{0,3} - (1,485 - 0,465) \right] \cdot 0,043 = 0,099 \text{ m}$$

$\downarrow = \frac{1}{U_{MAX}}$ $\downarrow = (R_{TOT,2} - R_{SUGHERO})$

$$\boxed{S_{SUGHERO,2} > 9,9 \text{ cm}} \rightarrow \textcircled{10 \text{ cm}}$$

$$3) U_2 = \frac{1}{R_{TOT,2}}$$

$$R_{TOT,2} = R_{TOT,1} - R_{SUGHERO,1} + R_{SUGHERO,2} = 1,485 - 0,465 + \frac{0,1}{0,043} = 3,35 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

$$\boxed{U_2} = \frac{1}{R_{TOT,2}} = \boxed{0,298 \text{ W/m}^2 \text{K}}$$

15

$$1) T_F = T_e + F_{SH} a I_{sa,p} R_{se} \rightarrow \boxed{I_{sa,p}} = \frac{T_F - T_e}{(F_{SH} a R_{se})} = \frac{35 - 10}{0,75 \cdot 0,3 \cdot 0,04} = 2778 \text{ W/m}^2$$

$$2) \boxed{q_{TR,1}} = A U_1 \Delta T \rightarrow \boxed{U} = \frac{q_{TR,1}}{A \Delta T} = \frac{-50}{2 \cdot (10 - 20)} = 2,5 \text{ W/m}^2 \text{K}$$

\downarrow
 $1 - 0,25 = 0,75$

$$3) \boxed{q_{sa,0}} = A U F_{SH} a I_{sa,p} R_{se} = 125 \text{ W}$$

$$4) \boxed{q_{TOT,p}} = 125 - 50 = 75 \text{ W}$$

16

$$1) \boxed{U_1} = \frac{1}{R_{se} + \frac{S}{\lambda} + R_{si}} = \frac{1}{0,04 + \frac{0,04}{0,5} + 0,13} = 1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$2) \boxed{q_{\text{TOT},0,1}} = A U_1 \Delta T = 4 \cdot 1,03 \cdot (35 - 26) = 37,1 \text{ W}$$

$$3) \boxed{T_F} = T_e + \underbrace{(\overline{F_{su}})}_{\substack{= \epsilon \\ + \frac{10}{100} = 0,9}} \cdot R_{se} I_{sa,p} = 35 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot 0,04 \cdot 600 = 45,8^\circ\text{C}$$

$$4) \boxed{q_{\text{TOT},0,2}} \Rightarrow 37,1 + \overline{F_{su}} \cdot \alpha I_{sa,p} R_{se} A U = 37,1 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot 600 \cdot 0,04 \cdot 1,03 \cdot 4 =$$

$$\Downarrow$$

$$A U_1 (T_F - T_i) = 4 \cdot 1,03 \cdot (45,8 - 26) = \boxed{81,6 \text{ W}}$$

$$37,1 + 44,5 = \boxed{81,6 \text{ W}}$$

17

$$1) q_{\text{TR}} = A U_{\text{EQ}} \Delta T \rightarrow \boxed{U_{\text{EQ}}} = \frac{q_{\text{TR}}}{A \Delta T} = \frac{100}{8 \cdot (30 - 24)} = \frac{100}{48} = 2,08 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$2) \left\{ \begin{array}{l} F_F = \frac{A_0}{A_T} \rightarrow \boxed{A_0} = F_F A_T = 0,3 \cdot 8 = 2,4 \text{ m}^2 \\ A_{\text{TOT}} = A_0 + A_T \quad \boxed{A_T} = A_{\text{TOT}} - A_0 = 5,6 \text{ m}^2 \end{array} \right.$$

$$3) \boxed{U_0} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,04}{0,08} + 0,04} = 1,49 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\boxed{U_T} = ? \quad U_{\text{EQ}} = \frac{U_0 A_0 + U_T A_T}{A_{\text{TOT}}} \rightarrow \boxed{U_T} = \frac{A_{\text{TOT}} U_{\text{EQ}} - U_0 A_0}{A_T} = 2,33 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$4) \boxed{q_{sa,T}} = \underbrace{(\overline{F_{su}})}_{\substack{= 0,85 \\ 1 - 0,4 = 0,6}} (1 - F_F) A_T I_{sa,p} = 0,6 \cdot 0,85 \cdot (1 - 0,3) \cdot 5,6 \cdot 400 \approx 800 \text{ W}$$

18

$$1) \boxed{H_{TR}} = A_L U_L + A_C U_C + A_P U_P + A_F U_F = 55,32 \cdot 1,2 + 4 \cdot 6 \cdot 0,8 + 4 \cdot 6 \cdot 1,0 + 2 \cdot 1,3 \cdot 1,8 \cdot 2,8 = 122,69 \text{ W/K}$$

$$A_L = 2 \cdot \underbrace{[6 \cdot 3 + 4 \cdot 3]}_{\text{AREA LORDA}} - 2 \cdot \underbrace{1,3 \cdot 1,8}_{\text{AREA FIN.}} = 60 - 4,68 = 55,32 \text{ m}^2$$

$$A_C = A_P = 24 \text{ m}^2$$

$$2) \boxed{H_{PT}} = \Psi_{ANCOLI} l_{ANCOLI} + \Psi_{COP} l_{COP} + \Psi_{PAV} l_{PAV} + \Psi_{FIN} l_{FIN} =$$

$$= -0,2 \cdot 4 \cdot 3 + 0,4 \cdot 2 \cdot (4+6) + 0,75 \cdot 2 \cdot (4+6) + 0,45 \cdot 2 \cdot 2 \cdot (1,3+1,8) =$$

$$= -2,4 + 8 + 15 + 5,58 = 26,18 \text{ W/K}$$

$$3) \boxed{q_{TR,TOT}} = (H_{TR} + H_{PT}) (\Delta T) = (122,69 + 26,18) (2 - 18) = -2382 \text{ W}$$

19

$$1) \boxed{q_{ve}} = 3 C_p \overset{uV/3600}{g_{ve}} \Delta T = \frac{3 C_p u V \Delta T}{3600} = \frac{1200 \cdot 0,7 \cdot (6 \cdot 7 \cdot 2,7) \cdot (30 - 24)}{3600} = 159 \text{ W}$$

$$2) \boxed{q_{INT}} = k U P u + P_{ILL} \cdot A = 0,3 \cdot 1500 + 5 \cdot 6 \cdot 7 = 660 \text{ W}$$

$$3) \boxed{q_{U,SENS}} = q_{TR} + q_{ve} + q_{SAL} + q_{INT} = 560 + 159 + 350 + 660 = 1729 \text{ W}$$

$$4) \boxed{H_{TR,ER}} = \frac{q_{TR}}{\Delta T} = \frac{560}{30-24} = 93,3 \text{ W/K}$$

$$\boxed{H_{ve,ER}} = \frac{q_{ve}}{\Delta T} = \frac{159}{6} = 26,5 \text{ W/K}$$

$$5) \boxed{q_{U,SENS,INPEAK,INV}} = -(q_{TR} + q_{ve}) = -(H_{TR,ER} + H_{ve,ER}) \Delta T =$$

$$= -(93,3 + 26,5) (0 - 20) = 2396 \text{ W}$$

20

$$1) x_i = 8 - 2 \cdot 0,4 = 7,4 \text{ m} = y_i$$

$$z_i = 3,5 - 2 \cdot 0,4 = 2,9 \text{ m}$$

$$A_i = (7,4)^2 = 54,76 \text{ m}^2$$

$$V_i = A_i \cdot z_i = 158,8 \text{ m}^3$$

$$2) \boxed{q_{ve}} = \rho C \frac{u V_i}{3600} \cdot \Delta T = 1200 \cdot \frac{0,3 \cdot 158,8}{3600} \cdot (3-21) = 15,88 \cdot (-18) = -285,8 \text{ W}$$

$$3) \boxed{q_{int}} = k_u \rho_w \cdot A_i = 0,4 \cdot 7 \cdot 54,76 = 153,3 \text{ W}$$

$$4) \boxed{q_{TR}} = (A_L U_L + A_S U_S) \Delta T = (2 \cdot 8 \cdot 3,5 \cdot 0,8 + 8 \cdot 8 \cdot 1,4) (3-21) = 134,4 \cdot (-18) = -2419 \text{ W}$$

$$5) \boxed{q_{U,SENS}} = (q_{TR} + q_{ve}) + q_{sol} + q_{int} = -2419 - 285,8 + 1250 + 153,3 = \boxed{-1302 \text{ W}}$$

$$6) \boxed{q_{U,SENS,PEAK,INV}} = - (q_{TR} + q_{ve}) = \boxed{2705 \text{ W}}$$