



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2023A -

ANNO: 2016

A P P U N T I

STUDENTE: Coccimiglio Stefania

MATERIA: Fisica Tecnica (esercizi svolti in aula e commentati)
- Prof. Corrado

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi di **TERMODINAMICA (Primo principio)**
Data 29-09-2015

✕ **Esercizio 1**

Un contenitore cilindrico, di raggio pari a 25 cm ed altezza pari a 55 cm, è pieno di olio ($\rho = 900 \text{ kg/m}^3$). Attraverso una potenza di 8,5 kW, l'olio viene riscaldato da una temperatura iniziale di 21°C ad una temperatura finale di 50°C . Ipotizzando che le perdite di calore attraverso l'involucro del contenitore siano nulle, calcolare:

- la quantità di calore necessaria per il riscaldamento dell'olio;
- il tempo necessario per il riscaldamento dell'olio;

Si calcoli inoltre la portata che sarebbe in grado di riscaldare un boiler che fornisca la stessa potenza (8,5 kW) per la produzione istantanea di acqua calda a 50°C , partendo da una temperatura dell'acqua di rete pari a 15°C .

È dato il valore del calore specifico dell'olio pari a $2000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ e quello dell'acqua pari a $4186 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.

✕ **Esercizio 2**

Corrado V., Fabrizio E., *Applicazioni di Termofisica dell'Edificio e Climatizzazione*, CLUT, Torino 2009 - Esercizio 1.10

Un edificio avente volume di 300 m^3 consuma nel periodo di riscaldamento (pari a 4000 ore) 5 m^3 di gas naturale per ogni metro cubo riscaldato. Sapendo che il potere calorifico del gas naturale vale 40 MJ/m^3 e che il rendimento medio dell'impianto termico è pari al 70 % si determini:

- l'energia termica fornita all'edificio dall'impianto termico;
- la potenza termica media fornita all'edificio dall'impianto termico;
- la portata d'acqua circolante nell'impianto nell'ipotesi che il salto medio di temperatura all'interno dei corpi scaldanti valga 10°C .

Si assumano la massa volumica dell'acqua $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, il calore specifico dell'acqua $c = 4,186 \text{ kJ/(kgK)}$.

✕ **Esercizio 3**

Un boiler spento contiene inizialmente acqua ad una temperatura di 75°C ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $c = 4186 \text{ J/kgK}$). Sapendo che in 8 ore l'acqua si raffredda fino a 40°C e che il flusso termico medio trasmesso dal sistema all'esterno è pari a 872 W , determinare il volume di acqua contenuta all'interno.

Successivamente dal boiler viene prelevato un terzo di acqua e viene miscelato con 30 litri d'acqua alla temperatura di 10°C . Si chiede di calcolare la temperatura finale dell'acqua miscelata.

Esercizio 4

Corrado V., Fabrizio E., *Applicazioni di Termofisica dell'Edificio e Climatizzazione*, CLUT, Torino 2009 - Esercizio 1.14

Una tubazione d'acqua di raggio pari a 30 mm è percorsa da una portata di 90 litri al minuto. La portata d'acqua entra in uno scambiatore di calore alla temperatura di 90°C e ne esce alla temperatura di 75°C , per scaldare una portata d'acqua fredda di 25 litri/min inizialmente alla temperatura di 10°C . Si calcolino:

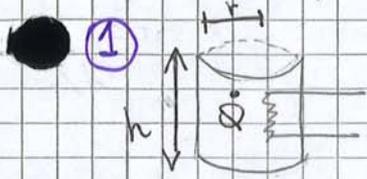
- la velocità dell'acqua nella tubazione;
- la potenza termica scambiata all'interno dello scambiatore di calore;
- la temperatura dell'acqua fredda all'uscita dello scambiatore di calore.

Si consideri lo scambiatore di calore adiabatico.

ESERCITAZIONE FISICA TECNICA

29/09/2015

ESERCIZI DI TERMODINAMICA (PRIMO PRINCIPIO)



$r = 25 \text{ cm}$

$h = 55 \text{ cm}$

$t_i = 21^\circ \text{C}$

$t_f = 50^\circ \text{C}$

$c_{\text{olio}} = 2000 \text{ J/kgK}$

$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

$\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ (masso volumico)

$\dot{Q} = 8,5 \text{ kW}$;

(potenza)

a. la quantità di calore necessaria per il riscaldamento dell'olio;

b. il tempo necessario per il riscaldamento dell'olio;

SISTEMA CHIUSO

$$\dot{Q} = m \cdot c \cdot (t_f - t_i)$$

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\tau}$$
 } formule da applicare

per applicare ci serve la massa dell'olio

$A_{\text{base}} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 0,25^2 = 0,196 \text{ m}^2$

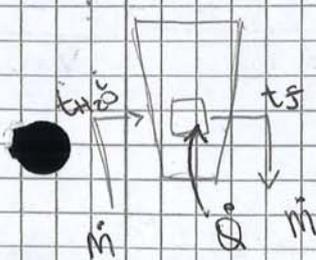
$V = A_{\text{base}} \cdot h = 0,196 \cdot 0,55 = 0,108 \text{ m}^3$

$m = V \cdot \rho = 0,108 \cdot 900 = 97,2 \text{ kg}$

$Q = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) = 97,2 \cdot 2000 \cdot (50 - 21) = 5637600 \text{ J} = 5638 \text{ kJ}$

$$\tau = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{5638 \text{ kJ}}{8,5 \text{ kW}} = 663 \text{ s} = 11 \text{ m e } 3 \text{ s}$$

c) Si cerca la portata che sarebbe in grado di riscaldare un boiler che fornisce la stessa potenza



$\frac{dm}{dt} = \dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$

la massa si conserva
 $t_f > t_i$

5



$$M_{Cu} = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg};$$

$$C_{Cu} = 391,8 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$M_{H_2O} = 0,5 \text{ kg};$$

$$C_{H_2O} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_{H_2O} = 15^\circ\text{C}$$

$$t_{eq} = 24^\circ\text{C}$$

a)

$t_i = ?$

vale solo
nei casi di
calore sensibile,
ovvero non si devono
essere coinvolti
di fase

$$t_{eq} = \frac{M_{H_2O} \cdot C_{H_2O} \cdot t_{H_2O} + M_{Cu} \cdot C_{Cu} \cdot t_{Cu}}{M_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + M_{Cu} \cdot C_{Cu}} =$$

$$Q = M_{Cu} \cdot C_{Cu} (t_{Cu} - t_{eq}) = M_{H_2O} \cdot C_{H_2O} (t_{eq} - t_{H_2O})$$

$$t_{Cu} = \frac{M_{H_2O} \cdot C_{H_2O} (t_{eq} - t_{H_2O}) + M_{Cu} \cdot C_{Cu} \cdot t_{eq}}{M_{Cu} \cdot C_{Cu}} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot 4186 \cdot (24 - 15) + 0,1 \cdot 391,8 \cdot 24}{0,1 \cdot 391,8} = 504,8^\circ\text{C}$$

b)

$Q = ?$

$$Q = m \cdot c_{Cu} \cdot (t_{Cu} - t_{eq}) = M_{H_2O} \cdot C_{H_2O} (t_{eq} - t_{H_2O})$$

$$Q = 0,1 \cdot 391,8 \cdot (504,8 - 24) = 18834 \text{ J};$$

$$Q = 0,5 \cdot 4186 \cdot (24 - 15) = 18834 \text{ J};$$

questa quantità è ceduta dal cubetto ed assorbita dall'acqua.

2

$$V = 300 \text{ m}^3$$

$$\rho = 4000 \text{ h}$$

(conservato)

$$C_{CH_4} = 5 \cdot 300 = 1500 \text{ m}^3$$

$$P_C = 40 \text{ MJ/m}^3$$

POTERE CALORIFICO: quantità di calore che viene prodotta nell'unità di volume (per i gas) e di massa (solidi e liquidi)

$$\eta = 70\%$$

(può essere anche per i liquidi)

a)

$$Q_H = C_{CH_4} \cdot P_C \cdot \eta = 1500 \cdot 40 \cdot 0,7 = 60000 \text{ MJ} = 42000 \text{ MJ}$$

\downarrow $H =$ heating (riscaldamento)

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi di TERMODINAMICA (Secondo principio)
Data 06-10-2015

Esercizio 1

Un motore ideale perfetto lavora tra due termostati uno a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, l'altro a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si calcoli:

- il rendimento massimo possibile del motore;
- la potenza termica da fornire al motore e quella ceduta all'esterno, ipotizzando che esso lavori al massimo rendimento ed eroghi una potenza meccanica di 100 kW ;
- la portata in massa di combustibile avente potere calorifico pari a 9100 kcal/kg .

Esercizio 2

Si analizzi una pompa di calore ideale che opera secondo un ciclo di Carnot inverso reversibile tra due termostati di cui il primo è l'ambiente esterno a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, il secondo è l'ambiente interno a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. La pompa di calore deve fornire all'ambiente interno una potenza termica di 5000 W . Si calcoli:

- il COP della macchina
- la potenza termica prelevata dall'esterno (\dot{Q}_2)
- la potenza meccanica della pompa (\dot{W})

Esercizio 3

Una macchina termica evolve secondo un ciclo reversibile di Carnot. Per ciascun ciclo è ottenibile un lavoro di 40 kJ . Supponendo che il rendimento sia pari a $0,35$ e che la temperatura della sorgente fredda sia di $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, si determinino:

- la temperatura della sorgente calda;
- le quantità di calore assorbita e ceduta.

Considerando invece una macchina termica reale che è caratterizzata da un rendimento pari all'80 % di quello della macchina di Carnot, determinare:

- la temperatura della sorgente calda che permette di avere lo stesso rendimento ($0,35$), considerando lo stesso lavoro prodotto e la stessa temperatura della sorgente fredda.

Esercizio 4

Si vuole utilizzare una macchina frigorifera aria-acqua per produrre acqua refrigerata a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura media dell'aria esterna nel periodo di funzionamento della macchina è $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. La macchina frigorifera è servita da un motore elettrico da 2 kW e opera con un valore dell'effetto frigorifero specifico pari al 40% di quello di una macchina ideale di Carnot. Si chiede di calcolare:

- l'effetto frigorifero specifico medio della macchina frigorifera;
- la portata massica di acqua refrigerata a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ mediamente prodotta, supponendo che la temperatura media dell'acqua dell'acquedotto sia pari a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- la spesa di energia elettrica per il funzionamento della macchina frigorifera in un mese, supponendo che venga utilizzata 8 ore al giorno per 5 giorni alla settimana.

Si assuma pari a $0,20\text{ €/kWh}$ il costo dell'energia elettrica.

Esercizio 5

Per produrre acqua calda sanitaria si vuole utilizzare una pompa di calore aria-acqua che opera fra una sorgente a temperatura media di $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ nel periodo invernale o di $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ nel periodo estivo ed una a temperatura di $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. La pompa di calore, servita da un motore elettrico da 5 kW , opera con un fattore di moltiplicazione termica (COP) pari al 50% di quello di Carnot. Si chiede di calcolare:

- il COP medio invernale ed estivo della pompa di calore;
- la portata massica di acqua calda sanitaria a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ mediamente prodotta, rispettivamente nel periodo invernale e nel periodo estivo, supponendo che la temperatura dell'acqua dell'acquedotto sia sempre pari a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Esercizio 6

Calcolare il lavoro massimo estraibile da un corpo di massa 1000 kg e con calore specifico $c = 1000\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ad una temperatura iniziale di $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ che scambia calore con il termostato "ambiente" a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

a) COP = ?

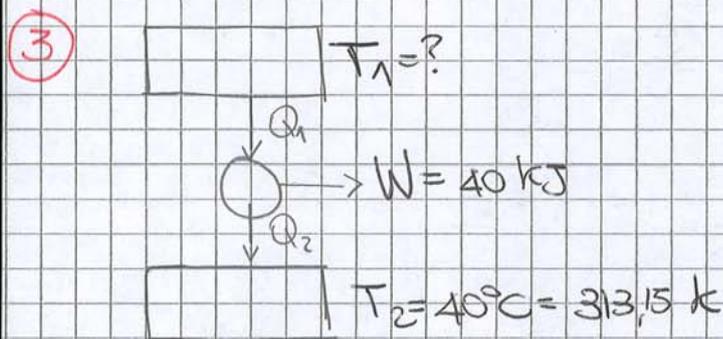
$$\text{COP} = \frac{|Q_1|}{|W|} = \frac{|Q_1|}{|Q_1 - Q_2|} \leq \text{COP}_{\text{max}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$\text{COP}_{\text{max}} = \frac{295,15}{295,15 - 265,15} = 9,84;$$

umentando T_2 il COP aumenta tantissimo, invece aumentando il T_1 il COP diminuirebbe.

b) $|W_1| = |Q_1| / \text{COP};$
 $Q_2 = |Q_1| \left(1 - \frac{1}{\text{COP}}\right) = 5000 \left(1 - \frac{1}{9,84}\right) = 4492 \text{ W}$

c) $|W_1| = \frac{|Q_1|}{\text{COP}} = \frac{5000 \text{ W}}{9,84} = 508 \text{ W}$



$\eta = 0,35$

a) $T_1 = ?$
 $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

$$\frac{T_2}{T_1} = 1 - \eta; \quad T_1 = \frac{1}{1 - \eta} \cdot T_2 = \frac{313,15}{1 - 0,35} = 481,8; \text{ K}$$

b) $Q_1 = ? - Q_2 = ?$

$W = Q_1 \cdot \eta; \quad Q_1 = \frac{W}{\eta} = 114,3 \text{ kJ}$

$Q_2 = Q_1 - W = 114,3 - 40 = 74,3 \text{ kJ}$

$$\Delta S = \int ds = \int_{T_i}^{T_2} \frac{c \cdot m \cdot dT}{T} = cm \left[\ln T \right]_{T_i}^{T_2} = cm \cdot \ln \frac{T_2}{T_i} = 1000 \cdot 1000 \cdot \ln \left(\frac{295,15}{973,15} \right)$$

$$= -1,193 \cdot 10^6 \frac{J}{K}$$

$$\Delta S_{\text{ambiente}} = \Delta S_2 = -\Delta S_{\text{corpo}} = \Delta S_1 = 1,193 \cdot 10^6 \frac{J}{K}$$

$$\Delta S_2 = \frac{|Q_2|}{T_2} \rightarrow Q_2 = \Delta S_2 \cdot T_2 = 1,193 \cdot 10^6 \cdot 295,15 = 352 \text{ MJ}$$

$$Q_1 = m \cdot c \cdot (T_i - T_2) = 1000 \cdot 1000 (700 - 22) = 678 \text{ MJ}$$

↑
quantità di
calore ceduto
per raffreddarsi

$$W = Q_1 - |Q_2| = 678 - 352 = 326 \text{ MJ}$$

$$\eta_{\text{medio}} = ? \quad \eta = \frac{|W|}{Q_1} = \frac{326}{678} = 0,48$$

$$\eta_{\text{iniziale}} = 1 - \frac{T_2}{T_i} = 1 - \frac{295,15}{973,15} = 0,697$$

$\eta_{\text{finale}} = 0$ perché quando il corpo è a 22°C la macchina non lavora più

2. Discutendo stare l'entropia e il secondo principio

$$\delta Q = (c \cdot m \cdot dT) =$$

↙ negativo
↑ T_2

↓
calore ricevuto
positivo

$$\delta W = \delta Q \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T} \right) = -c \cdot m \cdot dT \cdot \left(1 - \frac{T_2}{T} \right)$$

se andiamo ad integrare questa equazione tra ~~T₁~~ T_i e T₂

$$W = - \int_{T_i}^{T_2} c \cdot m \cdot dT \left(1 - \frac{T_2}{T} \right)$$

Corso di FISICA TECNICA
 Esercizi di TERMODINAMICA (Trasformazioni sui diagrammi di stato – Gas ideali)
 Data 12-10-2015

X Esercizio 1

È data una quantità d'acqua di volume pari a 10 litri alla temperatura di 90 °C e a pressione atmosferica. La massa d'acqua viene riscaldata fino alla temperatura di ebollizione, dopodiché viene fatta evaporare. Infine, il vapore è riscaldato fino ad una temperatura di 150 °C. Determinare la quantità di calore necessaria per compiere l'intera trasformazione; inoltre, distinguere il calore sensibile dal calore latente. Sono noti: il calore specifico dell'acqua, $c_{p,l} = 4,186 \text{ kJ}/(\text{kgK})$; il calore specifico del vapore a pressione costante, $c_{p,v} = 0,45 \text{ kcal}/(\text{kgK})$; il calore di vaporizzazione dell'acqua a 100 °C, $r_{100} = 539 \text{ kcal}/\text{kg}$.

X Esercizio 2

Un blocco di ghiaccio di massa pari a 7 kg si trova alla temperatura di -8 °C a pressione atmosferica. Sapendo che il calore specifico del ghiaccio è 0,5 cal/(g·°C) e il calore di fusione è 80 cal/g si ricavi la quantità di calore necessaria per fondere il blocco di ghiaccio.

X Esercizio 3

Si pone un cubo di ghiaccio di 10 g alla temperatura di -15 °C in un lago alla temperatura di 12 °C. Calcolare il calore ceduto al ghiaccio quando si sarà portato in equilibrio termico col lago, sapendo che il calore specifico del ghiaccio vale 2,1 kJ/(kgK) e il calore latente di fusione vale $r_{F,0} = 334 \text{ kJ}/\text{kg}$.

X Esercizio 4

Si calcoli la massa volumica dell'aria a 20 °C e 0 °C ipotizzando che questa si trovi alla pressione atmosferica al livello del mare, che abbia massa molare $M = 29 \text{ kg}/\text{kmol}$ e che la costante universale dei gas valga 8314 J/(kmol K).

X Esercizio 5

Un cilindro munito di stantuffo a perfetta tenuta contiene 25 g di ossigeno alla pressione di 1 atm e alla temperatura di 38 °C. Calcolare il volume occupato dal gas, sapendo che la massa molare dell'ossigeno vale 32 kg/kmol.

X Esercizio 6

Una bombola, avente una capacità di 80 l, contiene ossigeno a 20 °C (massa molare = 32 kg/kmol) e la sua pressione interna relativa è $2 \cdot 10^7 \text{ Pa}$. Data la pressione esterna $p = 1 \text{ atm}$, calcolare la massa di ossigeno contenuta nella bombola.

Esercizio 7

Sapendo che 1 kg di aria secca è costituito da 0,236 kg di ossigeno (massa molare = 32 kg/kmol) e da 0,764 kg di azoto (massa molare = 28 kg/kmol) determinare:

- la costante R^* dell'aria secca;
- la ripartizione delle pressioni parziali;
- il peso molecolare fittizio dell'aria;
- la massa volumica dell'aria nelle condizioni normali ($t = 0 \text{ °C}$; $p = 1 \text{ atm}$);
- il volume specifico nelle condizioni normali.

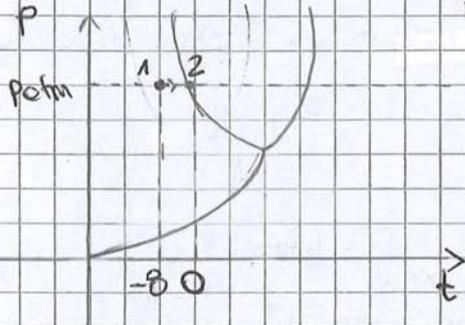
2. $m_{\text{ghiaccio}} = 7 \text{ kg}$

$t = -8^\circ\text{C};$

$p = 1 \text{ atm};$

$c_{p,s} = 0,5 \text{ kcal}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C}) \Rightarrow 0,5 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} = 2,093 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

$r_{f,0} = 80 \text{ kcal/g} \Rightarrow 80 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$



in questo caso ($0 < 4^\circ\text{C}$) non posso creare il grafico P-V poiché avrei bisogno delle 3 dimensioni per rappresentarlo bene

(il ghiaccio può fondere anche ad una temp. diverse dai 0°C , dipende dalle pressioni)

- Quantità di calore necessario per fondere il ghiaccio

$$Q = m \cdot c_{p,s} (t_f - t_i) + m \cdot r_{f,0} = 7 \cdot 2,093 (0 - (-8)) + 7 \cdot 334,9 = 117,2 + 2344 = 2461 \text{ kJ}$$

3.

$m = 10 \text{ g} \Rightarrow 0,01 \text{ kg}$
 cubo di ghiaccio

$t_g = -15^\circ\text{C}$

$t_f = 12^\circ\text{C}$ ← Lago = termostato, la sua temperatura indica quello di finee

$c_{p,s} = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

$r_{f,0} = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

- Calcolare il calore ceduto al ghiaccio quando si trova in equilibrio termico col lago.

$Q_{-15 \rightarrow 0} = m \cdot c_{p,s} \cdot (0 - (-15)) = 0,315 \text{ kJ}$

$Q_{\text{fus}} = m \cdot r_{f,0} = 0,01 \cdot 334 = 3,34 \text{ kJ}$

$Q_{0 \rightarrow 12} = m \cdot c_{p,l} \cdot (12 - 0) = 0,502 \text{ kJ}$

$Q_{\text{tot}} = 4,157 \text{ kJ}$

$$V = \frac{mR^*T}{p} = \frac{nRT}{p}$$

$$V = \frac{mR^*T}{p} = \frac{7,81 \cdot 10^{-4} \cdot 8314 \cdot 311,15}{101325} = 0,02 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0,025 \cdot 259,8 \cdot 311,15}{101325} = 0,02 \text{ m}^3$$

6. $V = 80 \text{ l} = 0,08 \text{ m}^3$

$t = 20^\circ\text{C}$

$M = \frac{32 \text{ kg}}{\text{kmol}}$

$p_{\text{ree}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa} \rightarrow p_{\text{ree}} = p - p_{\text{atm}}$

$p_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} \quad p = p_{\text{ree}} + p_{\text{atm}} = 2,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

• Calcolare la massa di ossigeno contenuta nelle bombole.

$pV = mR^*T;$

$R^* = \frac{R}{M} = \frac{8314}{32} = 259,8 \frac{\text{J}}{(\text{kg} \cdot \text{K})}$

$m = \frac{pV}{R^*T} = \frac{2,01 \cdot 10^5 \cdot 0,08}{259,8 \cdot 293,15} = 21 \text{ kg}$

Corso di FISICA TECNICA
 Esercizi di PSICROMETRIA (Determinazione delle variabili psicrometriche)
 Data 13-10-2015

Pressione di saturazione del vapor d'acqua (P_{vst})

t [°C]	+0,0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,6	+0,7	+0,8	+0,9
35,0	5628	5659	5690	5722	5754	5785	5817	5849	5882	5914
34,0	5324	5354	5384	5414	5444	5474	5505	5535	5566	5597
33,0	5034	5063	5091	5120	5148	5177	5206	5236	5265	5294
32,0	4759	4786	4813	4840	4867	4895	4922	4950	4978	5006
31,0	4496	4522	4547	4573	4599	4626	4652	4678	4705	4732
30,0	4246	4270	4295	4320	4345	4369	4394	4420	4445	4470
29,0	4008	4032	4055	4078	4102	4126	4150	4173	4198	4222
28,0	3782	3804	3827	3849	3871	3894	3916	3939	3962	3985
27,0	3567	3588	3609	3631	3652	3673	3695	3717	3738	3760
26,0	3363	3383	3403	3423	3444	3464	3484	3505	3526	3546
25,0	3169	3188	3207	3226	3246	3265	3284	3304	3324	3343
24,0	2991	3009	3028	3046	3065	3083	3102	3121	3140	3159
23,0	2814	2831	2849	2866	2884	2901	2919	2937	2955	2973
22,0	2646	2663	2679	2696	2712	2729	2746	2763	2780	2797
21,0	2488	2503	2519	2534	2550	2566	2582	2598	2614	2630
20,0	2338	2352	2367	2382	2397	2412	2427	2442	2457	2472
19,0	2196	2209	2223	2237	2251	2266	2280	2294	2309	2323
18,0	2061	2074	2087	2101	2114	2127	2141	2154	2168	2182
17,0	1934	1947	1959	1972	1984	1997	2010	2022	2035	2048
16,0	1814	1826	1838	1850	1861	1873	1885	1898	1910	1922
15,0	1701	1712	1723	1734	1746	1757	1768	1780	1791	1803
14,0	1594	1605	1615	1626	1636	1647	1658	1668	1679	1690
13,0	1493	1503	1513	1523	1533	1543	1553	1563	1574	1584
12,0	1398	1408	1417	1426	1436	1445	1455	1464	1474	1484
11,0	1309	1317	1326	1335	1344	1353	1362	1371	1380	1389
10,0	1224	1232	1241	1249	1257	1266	1274	1283	1291	1300
9,0	1145	1152	1160	1168	1176	1184	1192	1200	1208	1216
8,0	1070	1077	1084	1092	1099	1107	1114	1122	1129	1137
7,0	999	1006	1013	1020	1027	1034	1041	1048	1055	1062
6,0	933	939	946	952	959	965	972	979	986	992
5,0	871	877	883	889	895	901	907	914	920	926
4,0	812	818	823	829	835	841	847	853	858	864
3,0	757	762	768	773	779	784	790	795	801	806
2,0	705	710	715	720	726	731	736	741	746	752
1,0	657	662	666	671	676	681	686	690	695	700
0,0	611	616	620	624	629	634	638	643	647	652
-1,0	563	568	572	577	582	587	592	596	601	606
-2,0	518	522	527	531	535	540	544	549	554	558
-3,0	476	480	484	488	492	497	501	505	509	514
-4,0	438	441	445	449	453	457	460	464	468	472
-5,0	402	405	409	412	416	419	423	427	430	434
-6,0	369	372	375	378	382	385	388	392	395	398
-7,0	338	341	344	347	350	353	356	359	363	366
-8,0	310	313	316	318	321	324	327	330	332	335
-9,0	284	286	289	292	294	297	299	302	305	307
-10,0	260	262	265	267	269	272	274	277	279	281

$P_{vs,44,5} = 9349 Pa$

2. $V = 64,3 \text{ m}^3$

$P_{\text{atm}} = 101325 \text{ Pa}$

$t = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$

$\varphi = 64\% = 0,64;$

$P_{\text{vs}, 20^\circ\text{C}} = 2338 \text{ Pa};$

$R^*_2 = 287 \text{ J/kgK}$

ⓐ umidità specifica dell'aria = ? X

ⓑ $M_V = ?$

$$X = \frac{M_V}{M_a} = 0,622 \cdot \frac{P_v}{P_{\text{tot}} - P_v} = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_{\text{vs}, c}}{P_{\text{tot}} - \varphi P_{\text{vs}, c}} = 0,0093 \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_a}$$

~~$M_V = \varphi P_v V = \dots$~~

$\varphi = \frac{P_v}{P_{\text{vs}}}; \quad P_v = \varphi \cdot P_{\text{vs}} = 0,64 \cdot 2338 = 1496,32 \text{ Pa};$

~~$P_a = 101325 = 1496,32 = 99828,68 \text{ Pa}$~~
 $pV = mR^*T$

$M_a = \frac{pV}{R^*T} =$

$P_v \cdot V = M_v R^*_v T;$

$$M_v = \frac{P_v \cdot V}{R^*_v \cdot T} = \frac{1496,32 \cdot 64,3}{461,5 \cdot 293,15} = 0,71 \text{ kg}$$

5. $t = -1,4^{\circ}\text{C}$

$h_{1+x} = 5 \text{ kJ/ke}$

$P_{vs} = -14 = 544 \text{ Pa}$

$x = ?$

$\varphi = ?$

in questo modo si scrive solo l'autoequazione del vapore

$$x = \frac{h_{1+x} - C_{pa} \cdot t}{r_0 + C_{pv} \cdot t} = \frac{5 - 1,006(-1,4)}{2501 + 1,875(-1,4)} = 0,0026 \frac{\text{kgv}}{\text{kga}}$$

$$\varphi = \frac{0,0026 \cdot 101325}{(0,622 + 0,0026) \cdot 544} = 77,5\%$$

6. $T = ?$

$h = ?$

$\varphi = 35\%$

$x = 8 \frac{\text{gr}}{\text{kga}} = 0,008 \frac{\text{kgv}}{\text{kga}}$

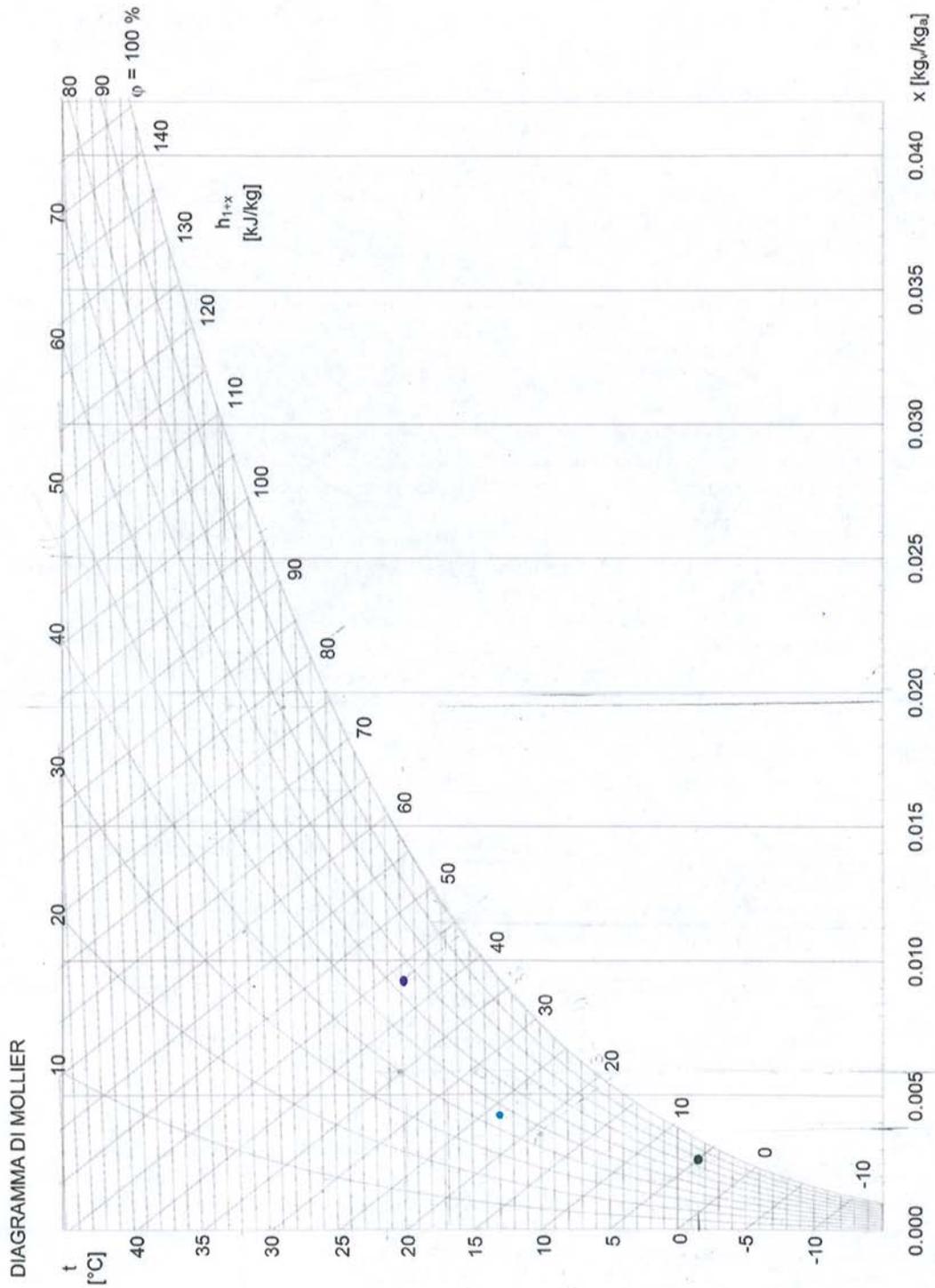
$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_{vs,^{\circ}\text{C}}}{P_{\text{tot}} - \varphi \cdot P_{vs,^{\circ}\text{C}}} \quad \leftarrow \text{da questo si ricava la pressione di saturazione}$$

$$P_{vs,^{\circ}\text{C}} = \frac{x \cdot P_{\text{tot}}}{(0,622 + x) \cdot \varphi} = \frac{0,008 \cdot 101325}{(0,622 + 0,008) \cdot 0,35} = 3676 \text{ Pa} \rightarrow t = 27,5^{\circ}\text{C}$$

$h = 48,08 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$h_{1+x} = (c_{pa} + x \cdot c_{pv})t + r_0x \quad \rightarrow x = -\frac{c_{pa}}{c_{pv}}$

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi di PSICROMETRIA (Trasformazioni psicrometriche)
Data 20-10-2015



Andeticamente:

$$h_2 = h_{1T} + \frac{\Delta h}{m_2} = h_1 + \frac{\Delta m_v}{m_2} (r_0 + C_{pv} \cdot t_v) =$$

$$= 31,0 + \frac{0,05}{10} (2501 + 1,875 \cdot 20) =$$

$$= 43,7 \text{ kJ/kg}$$

$$X = 0,622 \cdot \frac{P_{vs} \cdot \varphi}{P - P_{vs} \cdot \varphi} \Rightarrow \varphi = \frac{X \cdot P}{(0,622 + X) P_{vs, 20^\circ C}}$$

$$\varphi_2 = \frac{0,0093 \cdot 101325}{(0,622 + 0,0093) 2338} = 0,64 = 64\%$$

③ $m_2 = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$; $t_1 = 32^\circ\text{C}$; $\varphi_1 = 65\%$

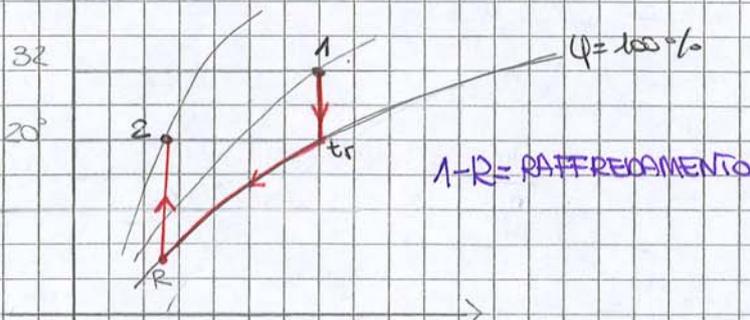
ⓐ $h_{x+1}(\text{iniz}) = ?$
 $x(\text{iniz}) = ?$

$$X_1 = \frac{0,622 \cdot 4759 \cdot 0,65}{101325 - 4759 \cdot 0,65} = 0,0196 \frac{\text{kg}_v}{\text{kg}_a}$$

$$h_{x+1} = 1,006 \cdot 32 + 0,0196 (1875 \cdot 32 + 2501) = 82,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

ⓑ $t_2 = 20^\circ\text{C}$; $\varphi_2 = 40\%$

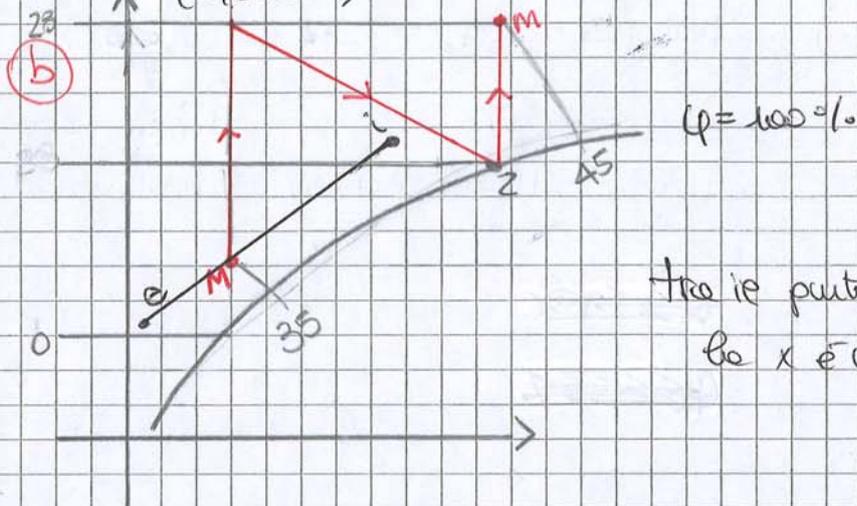
[QUANDO NON VIENE DETTO NULLA BISOGNA CONSIDERARE LE TRASFORMAZIONI IDEALI, SENZA FATTORE DI BY-PASS]



ⓒ $X_2 = ?$ $X_2 = 0,006$
 $h_{(x+1)_2} = ?$ $h_{(x+1)_2} = 35$

$$t_M = \frac{h_M - r_0 \cdot X_M}{C_{p,a} + X_M \cdot C_{p,v}} = 11,9^\circ \text{C}$$

$$\phi_M = \frac{X_M \cdot P}{(0,622 + X_M) P_{vs}(t_M)} = 66\%$$



tra le punto di umidità e 2
 la x è uguale

$$X_{\text{umid}} = 0,622 \cdot \frac{P_{vs}(t_{\text{umid}}) \cdot \phi_{\text{umid}}}{P - P_{vs}(t_{\text{umid}}) \cdot \phi_{\text{umid}}} = 0,0106 \frac{\text{kgv}}{\text{kga}}$$

$$h_{\text{umid}} = (C_{p,a} + C_{p,v} \cdot X_{\text{umid}}) \cdot t_{\text{umid}} + r_0 \cdot X_{\text{umid}} = 55,23 \frac{\text{kJ}}{\text{kga}}$$

da "M" a "1"

$$\dot{Q}_{\text{risc}} = \dot{m}_{a,\text{tot}} (h_1 - h_M)$$

$$h_1 = h_2$$

$$X_2 = X_{\text{umid}} = 0,0106 \frac{\text{kgv}}{\text{kga}}$$

$$\phi_2 = 100\%$$

$$P_{vs}(t_2) = \frac{X_2 \cdot P}{(0,622 + X_2) \phi_2} = 1698 \text{ Pa} \rightarrow t = 15^\circ \text{C}$$

$$h_2 = (C_{p,a} + C_{p,v} \cdot X_2) t_2 + r_0 \cdot X_2 = 41,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kga}}$$

$$\dot{Q}_{\text{risc}} = \dot{m}_{a,\text{tot}}$$

27/10/2015

1



$s = 35 \text{ cm} = 0,035 \text{ m}$

$\Delta t = t_1 - t_2 = 10^\circ\text{C}$

$A = 0,5 \text{ m}^2$

$\phi = 50 \text{ kW} = 50 \cdot 10^3 \text{ W}$

$\lambda = ?$

$$\phi = \frac{\lambda}{s} (t_1 - t_2) \Rightarrow \lambda = \frac{\phi s}{A \cdot (t_1 - t_2)} = \frac{(50 \cdot 10^3) \cdot 0,0035}{0,5 \cdot 10} = 350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2

$A = 25 \text{ m}^2$

$s = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$

$t_1 = 22^\circ\text{C}$

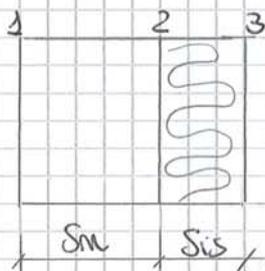
$t_2 = 3^\circ\text{C}$

$\lambda = 0,75 \text{ W/mK}$

$\phi = ?$

$$\phi = \frac{\lambda}{s} (t_1 - t_2) = \frac{\lambda}{s} A (t_1 - t_2) = 891 \text{ W}$$

3



$s_m = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$

$s_{is} = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$\lambda_m = 0,93 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$

$\lambda_{is} = 0,058 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$

$t_1 = 40^\circ\text{C}$

$t_2 = ?$

$t_3 = 5^\circ\text{C}$

se non è specificato che tipo di flusso è, meglio domandare all'esame

$\frac{\phi}{A} = ?$
 $t_2 = ?$

applico le formule in base alle temp. dei vari strati che conosco

$$\frac{\phi}{A} = \frac{t_1 - t_3}{\frac{s_m}{\lambda_m} + \frac{s_{is}}{\lambda_{is}}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{s_m}{\lambda_m}} = \frac{t_2 - t_3}{\frac{s_{is}}{\lambda_{is}}}$$

$$\frac{\phi}{A} = \frac{40 - 5}{\frac{0,3}{0,93} + \frac{0,1}{0,058}} = 17,1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$t_2 = t_1 - \frac{\phi}{A} \cdot \frac{s_m}{\lambda_m} = 34,5^\circ\text{C}$ oppure $t_2 = t_3 + \frac{\phi}{A} \cdot \frac{s_{is}}{\lambda_{is}} = 34,5^\circ\text{C}$
(usando la I espressione)

④ profilo interno del muro

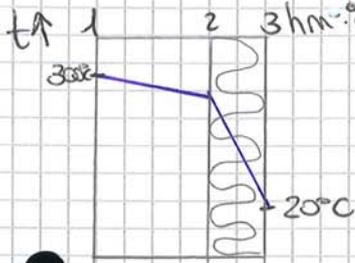
$$t_2 = t_1 - \frac{\Phi}{A} \cdot \frac{S_m}{\lambda_m} = 24 - 7,22 \cdot \frac{0,26}{0,8} = 21,7^\circ\text{C}$$

$$t_3 = t_1 - \frac{\Phi}{A} \left(\frac{S_m}{\lambda_m} + \frac{S_{is}}{\lambda_{is}} \right) = 24 - 7,22 \cdot \left(\frac{0,26}{0,8} + \frac{0,12}{0,034} \right) = -3,8^\circ\text{C}$$

⑤ $\lambda_r = 0,8 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,8 \cdot \frac{4186 \text{ J}}{3600 \text{ s}} \frac{1}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,930 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

$S_2 = 24 \text{ cm}$

$\lambda_{is} = 0,1 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,1 \cdot \frac{4186 \text{ J}}{3600 \text{ s}} \frac{1}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = 0,116 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$



S_1 deve essere il max possibile per ridurre il flusso, però ovviamente deve restare entro i 300°C .

$$\frac{\Phi}{A} = \frac{(t_1 - t_2)}{\left(\frac{S_r}{\lambda_r}\right)} = \frac{(t_2 - t_3)}{\left(\frac{S_{is}}{\lambda_{is}}\right)}$$

$$\frac{\Phi_{\min}}{A} = \frac{(t_1 - t_{2,\max})}{\left(\frac{S_r}{\lambda_r}\right)} = \frac{(t_{2,\max} - t_3)}{\left(\frac{S_{is}}{\lambda_{is}}\right)}$$

$$\frac{\Phi_{\min}}{A} = \frac{(t_1 - t_{2,\max})}{\left(\frac{S_r}{\lambda_r}\right)} = \frac{(300 - 300)}{\left(\frac{0,24}{0,93}\right)} = 1938 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$S_{is} = \frac{\lambda_{is}}{\left(\frac{\Phi_{\min}}{A}\right)} (t_{2,\max} - t_3) = \frac{0,116}{1938} (300 - 200) = 0,017 \text{ m} = 1,7 \text{ cm}$$

In termini tecnici conviene usare isolanti che sopportano temp. + elevate così da poterne mettere di più

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi di CONDUZIONE TERMICA (Generazione interna di calore in parete piana - Pareti cilindriche)
Data 02-11-2015

✕ **Esercizio 1**

Una parete piana di area 10 m^2 è costituita da due strati di materiale diverso aventi resistenza termica $R_1 = 0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$ e $R_2 = 0,57 \text{ m}^2\text{K/W}$. Sapendo che le temperature sulle due facce esterne della parete valgono rispettivamente $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ e $t_3 = 2 \text{ }^\circ\text{C}$, si determini:

- la temperatura all'interfaccia tra i due strati (t_2) in condizioni stazionarie,
- la temperatura all'interfaccia tra i due strati (t_2) in condizioni stazionarie e ipotizzando che tra i due strati sia inserita una resistenza elettrica che genera un flusso termico areico di 200 W/m^2 .

Calcolare il flusso termico che in condizioni stazionarie attraversa la parete nei due casi, in assenza e in presenza della resistenza elettrica.

✕ **Esercizio 2**

Si consideri un condotto cilindrico in PVC dello spessore di 2 mm e conducibilità termica di $1,5 \text{ W/(mK)}$ il cui diametro interno è 5 cm. Tale condotto è ricoperto da uno strato di isolante con spessore 1 cm e conducibilità termica di $0,035 \text{ W/(mK)}$. Sapendo che le temperature sulla superficie interna del tubo e sulla superficie esterna del tubo valgono rispettivamente $80 \text{ }^\circ\text{C}$ e $22 \text{ }^\circ\text{C}$, si calcoli:

- il flusso termico disperso per unità di lunghezza del condotto;
- la temperatura tra il PVC e l'isolante.

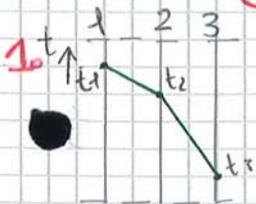
✕ **Esercizio 3**

Si ha un tubo del diametro interno di 4 cm, spessore 2,5 mm e conducibilità 15 W/(mK) . La differenza di temperatura tra la superficie interna e la superficie esterna del tubo vale $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Si calcoli:

- il flusso termico disperso per unità di lunghezza del condotto,
- lo spessore di isolante ($\lambda = 0,08 \text{ W/mK}$) da aggiungere affinché il flusso termico disperso attraverso la tubazione si riduca a 90 W/m (mantenendo invariata la differenza di temperatura tra le due superfici, interna ed esterna).

CONDUZIONE TERMICA

02/11/2015



$$R_1 = 0,22 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_2 = 0,57 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$A = 10 m^2$$

$$t_1 = 15^\circ C$$

$$t_3 = 2^\circ C$$

$t_2 = ?$

↑ non conoscendo
gli spessori non
posso dire quale è
la pendenza

$$\phi_{1 \rightarrow 2} = \phi_{2 \rightarrow 3}$$

$$\therefore \frac{\phi_{1 \rightarrow 2}}{A} = \frac{\phi_{2 \rightarrow 3}}{A}$$

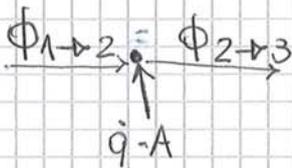
Il profilo che
abbiamo rappresentato
è solo ipotetico

$$\frac{t_1 - t_2}{R_1} = \frac{t_2 - t_3}{R_2} \implies (t_1 - t_2)R_2 = (t_2 - t_3)R_1 \implies t_2(R_1 + R_2) = t_1 R_2 + t_3 R_1$$

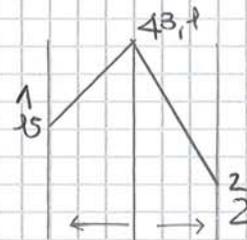
$$\implies t_2 = \frac{t_1 R_2 + t_3 R_1}{R_1 + R_2} \implies \frac{15 \cdot 0,57 + 2 \cdot 0,22}{0,22 + 0,57} = 11,4^\circ C$$

b. $\dot{q} = 200 \frac{W}{m^2}$

$t_2 = ?$



$$\frac{\phi_{1 \rightarrow 2}}{A} + \dot{q} = \frac{\phi_{2 \rightarrow 3}}{A}$$



In termini di superficie posso scrivere:

$$\frac{t_1 - t_2}{R_1} + \dot{q}_i = \frac{t_2 - t_3}{R_2} \implies (t_1 - t_2)R_2 + \dot{q}_i R_1 R_2 = (t_2 - t_3)R_1$$

$$t_1 R_2 + t_3 R_1 + \dot{q}_i R_1 R_2 = t_2 (R_1 + R_2)$$

$$t_2 = \frac{t_1 R_2 + t_3 R_1 + \dot{q}_i R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

↑ dobbiamo tener presente
che deve esserci un'operazione
di bilancio.

$$\implies t_2 = \frac{15 \cdot 0,57 + 2 \cdot 0,22 + 200 \cdot 0,22 \cdot 0,57}{0,22 + 0,57} = 43,1^\circ C$$

LA TEMPERATURA (sempre; infatti
se viene col meno vuol dire che
abbiamo commesso un errore).

c. $\phi = ?$

IPOTESI = $\phi > 0$ quando vai $sx \rightarrow dx$

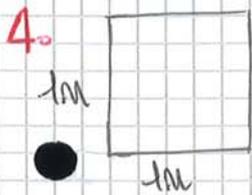
$$\phi_{1 \rightarrow 2} = \phi_{2 \rightarrow 3}$$

$$\phi = \frac{(t_1 - t_2) \cdot A}{R_1} = \frac{(15 - 11,4) \cdot 10}{0,22} = 164 W$$

Moltiplico per
A perché voglio le flussioni

$$\phi = \frac{(t_2 - t_3) \cdot A}{R_2}$$

$$\phi = \frac{(t_1 - t_3) \cdot A}{R_1 + R_2}$$



CONVEZIONE TERMICA

$$t_a = 20^\circ\text{C}$$

$$t_{p,1} = 50^\circ\text{C} \quad h_{c1} = 3,9 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_{p,2} = 80^\circ\text{C} \quad h_{c2} = 4,7 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Applichiamo la formula di Newton

$$\phi = A \cdot h_c \cdot (t_p - t_a) \rightarrow \text{unica formula applicata per la convezione}$$

$$h_{c1} = 3,9 \cdot \left(\frac{4186}{3600} \right)^{\approx 1,16} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 4,53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_{c2} = 4,7 \cdot \frac{4186}{3600} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 5,46 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

① $\phi = 2 \cdot 4,53 (50 - 20) = 272 \text{ W}$

↓
 perché la piastra è sospesa in aria dunque ha 2 facce

② $\phi = 2 \cdot 5,46 (80 - 20) = 655 \text{ W}$

5. $d = 8 \text{ cm} = 0,08 \text{ m}$

$t = 18^\circ\text{C}$

$l = 6 \text{ m}$

$t_e = 70^\circ\text{C}$

$h_c = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

AREA DEL CILINDRO: circonferenza x lunghezza

$\dot{Q} = ?$

$A = 2\pi r \cdot l = 2 \cdot 0,04 \cdot \pi \cdot 6 = 1,51 \text{ m}^2$

$\phi = 1,51 \cdot 10 \cdot (70 - 18) = 485 \text{ W}$

6. $\frac{\phi}{A} = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

$t_a = 2^\circ\text{C}$
 $h_c = 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

$t_p = ?$

$t_p = t_a + \frac{\phi}{A} \cdot \frac{1}{h_c} = 2^\circ\text{C} + 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{1}{15} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} = 4,7^\circ\text{C}$

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi di IRRAGGIAMENTO TERMICO
Data 03-11-2015

✕ **Esercizio 1**

Due superfici circolari nere, tra di loro parallele e coassiali, sono disposte a 4 m di distanza. Sono noti i seguenti dati:

- la superficie 1 ha un diametro di 10 cm ed è ad una temperatura di 850 °C;
- la superficie 2 ha un diametro di 175 cm ed è ad una temperatura di 40 °C.

Si chiede di calcolare:

- a) la potenza termica che si scambiano per irraggiamento le due superfici, noto $F_{1,2} = 0,046$.
- b) il fattore di vista $F_{2,1}$.

✕ **Esercizio 2**

Due superfici nere di area unitaria a temperatura di 1500 °C e 500 °C scambiano una potenza termica pari a 250 kW. Si chiede di calcolare:

- a) i fattori di vista $F_{1,2}$ e $F_{2,1}$;
- b) il coefficiente di scambio termico per irraggiamento (h_r).

✕ **Esercizio 3**

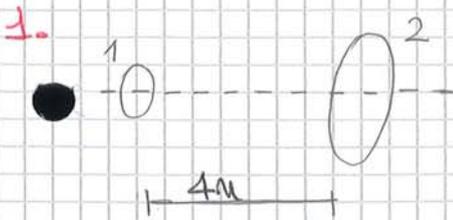
In una sfera cava di rame di 20 cm di diametro esterno è contenuta una resistenza elettrica. La superficie esterna della sfera, che può ritenersi grigia, ha un coefficiente di assorbimento di 0,8.

La sfera è sospesa in un vasto ambiente con pareti (considerabili nere) a 15 °C e aria a 20 °C. La potenza elettrica assorbita dalla resistenza è di 270 W. In condizioni di regime stazionario, la temperatura della sfera assume il valore di 156 °C.

Calcolare i coefficienti di scambio termico per convezione e per irraggiamento della sfera.

IRRAGGIAMENTO TERMICO

3/4/2015



- 1. $d_1 = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$
- $T_1 = 850^\circ\text{C} = 1123,15 \text{ K}$
- 2. $d_2 = 175 \text{ cm} = 1,75 \text{ m}$
- $T_2 = 20^\circ\text{C} = 313,15 \text{ K}$

- a. $\dot{Q}_r = ?$
- b. $F_{2,1} = ?$

$$F_{1,2} = 0,046$$

$$b. A_1 \cdot F_{1,2} = A_2 \cdot F_{2,1} \rightarrow F_{2,1} = \frac{A_1}{A_2} \cdot F_{1,2} = \frac{2\pi \cdot d_1^2}{2\pi \cdot d_2^2} \cdot F_{1,2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \cdot F_{1,2} = \frac{0,1^2}{1,75^2} \cdot 0,046 =$$

$$a. \dot{Q}_r = F_E \cdot (F_{1,2} \cdot A_1) \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) =$$

$F_{2,1} \cdot A_2$

σ costante di Stefan-Boltzmann

$F_E = \text{fattore di emissività}$

$$= 0,15 \cdot 10^{-3}$$

$$\dot{Q}_r = 0,046 \cdot \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (1123^4 - 313^4) = 32,6 \text{ W}$$

2.

$$A_1 = 1 \quad t_1 = 1500^\circ\text{C} = 1773,15 \quad \dot{Q} = 250 \text{ kW} = 250.000 \text{ W}$$

$$A_2 = 1 \quad t_2 = 500^\circ\text{C} = 773,15$$

a. $F_{1,2} = ? \quad F_{2,1} = ?$

b. $hr = ?$

$$F_E = 1; \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$$

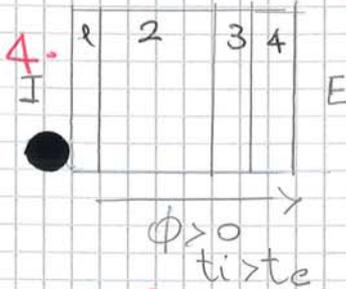
$$\dot{Q}_r = F_E \cdot (F_{1,2} \cdot A_1) \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4) =$$

$$F_{1,2} = \frac{\dot{Q}_r}{(F_E \cdot A_1 \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4))} = \frac{250.000}{(1 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (1773,15^4 - 773,15^4))} = 0,46318$$

$$F_{2,1} = \frac{\dot{Q}_r}{(F_E \cdot A_2 \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4))} = \frac{250.000}{(1 \cdot 1 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (1773,15^4 - 773,15^4))} = 0,463$$

b. $hr = \frac{\dot{Q}}{A \cdot \Delta T} = 250 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

TRASMISSIONE DEL CALORE



$$s_1 = 0,02 \text{ m} \quad \lambda_1 = 0,7 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$s_2 = 0,12 \text{ m} \quad \lambda_2 = 0,43 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$R_3 = 0,18 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$s_4 = 0,06 \text{ m}; \quad \lambda_4 = 0,43 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

- a. $U = ?$
- b. $\dot{Q} = ?$
- c. $t_{p,i} = ?$
- d. $t_{p,e} = ?$
- e. $t_{1,2} = ?$
 $t_{2,3} = ?$
 $t_{3,4} = ?$
(interfaccia)

$$h_i = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$h_e = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_i = 20^\circ\text{C}$$

$$t_e = 5^\circ\text{C}$$

a. $U = ?$ inverso delle somme delle resistenze

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + R_3 + \frac{s_4}{\lambda_4} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,12}{0,43} + 0,18 + \frac{0,06}{0,43} + \frac{1}{25}\right)} = 1,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

b. $\dot{Q} = ?$ FLUSSO > 0 quando esce

$$\dot{Q} = U (t_i - t_e) = h_i (t_i - t_{p,i}) = h_e (t_{p,e} - t_e) = \frac{\lambda_1}{s_1} (t_{p,i} - t_{1,2}) = \frac{\lambda_2}{s_2} (t_{1,2} - t_{2,3}) = \frac{\lambda_3}{R_3} (t_{2,3} - t_{3,4}) = \frac{\lambda_4}{s_4} (t_{3,4} - t_{p,e}) =$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = U (t_i - t_e) = 1,26 (20 - 5) = 18,9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

c. $t_{p,i} = ?$

$$\dot{Q} = h_i (t_i - t_{p,i}); \quad t_{p,i} = t_i - \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{h_i} = 20 - 18,9 \cdot \frac{1}{8} = 17,6^\circ\text{C}$$

d. $t_{p,e} = ?$

$$t_{p,e} = t_e + \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{h_e} = 5 + 18,9 \cdot \frac{1}{25} = 5,8^\circ\text{C}$$

e. $t_{1,2} = ?$ $t_{2,3} = ?$ $t_{3,4} = ?$

$$t_{1,2} = t_{p,i} - \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{s_1}{\lambda_1} = 17,6 - 18,9 \cdot \frac{0,02}{0,7} = 17,1^\circ\text{C}$$

e. $s_{is} = ?$

$$\lambda_{is} = 0,04 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$450 \cdot 0,45 = 202,5 \text{ W}$$

$$\Phi' = 450 - 202,5 = 247,5 \text{ W}$$

6.

$$\lambda_{cls} = 0,8 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$s_{cls} = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

$$t_{p,i} = 18^\circ \text{C}$$

$$t_{p,e} = 4^\circ \text{C}$$

$$h_i = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$h_e = 22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

a. $\lambda = ?$

b. $U = ?$

c. $\Phi = ?$

d. $t_e = ?$

e. $s_{is} = ?$

$$\lambda_{is} = 0,04 \frac{W}{m \cdot K}$$

a. $\lambda = ?$

$$\lambda = \frac{\lambda_{cls}}{s_{cls}} = \frac{0,8}{0,24} = 3,33 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

b. $U = ?$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s_{cls}}{\lambda_{cls}} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{0,24}{0,8} + \frac{1}{22}} = 2,245 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Corso di FISICA TECNICA
 Esercizi su TEMPERATURA SOLE-ARIA –
 VERIFICA DELLA FORMAZIONE DI CONDENSA SUPERFICIALE
 Data 09-11-2015

✓ **Esercizio 1**

Una parete piana è costituita da due strati di calcestruzzo, $\lambda = 0,7 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, di spessore 7 cm ognuno; tra questi è interposto uno strato di materiale isolante di spessore incognito, caratterizzato da una conducibilità termica $0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. La temperatura dell'ambiente interno è pari a $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$, mentre quella superficiale esterna della parete è pari a $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Sono note inoltre le adduttanze interna ed esterna, rispettivamente pari a $10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ e $20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Calcolare:

- lo spessore di isolante necessario a mantenere una temperatura superficiale interna di parete pari a $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- la conduttanza termica della parete;
- la trasmittanza termica della parete;
- la temperatura dell'aria esterna.

Ricalcolare infine la temperatura superficiale esterna della parete (coefficiente di assorbimento solare pari a 0,9), ipotizzando che su di essa vi sia un'irradianza solare di 150 W/m^2 .

✓ **Esercizio 2**

Una parete di tamponamento di un capannone è costituita da uno strato di 12 cm di mattoni pieni ($\lambda = 0,9 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, $\delta = 20 \cdot 10^{-12} \text{ kg/(m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa)}$). Le condizioni termo-igrometriche interne ed esterne risultano essere: $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\phi_i = 70\%$ e $t_e = 3 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcolare:

- la trasmittanza termica della parete e la sua permeanza.

Verificare:

- se in tali condizioni si ha condensa superficiale sul lato interno della parete;
- in caso affermativo, di quanto deve essere incrementata la resistenza termica della parete affinché non si verifichi la condensazione superficiale.

Sono note le adduttanze termiche interna ed esterna, rispettivamente pari a $8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ e $23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

✓ **Esercizio 3**

Corrado V., Fabrizio E., *Applicazioni di Termofisica dell'Edificio e Climatizzazione*, CLUT, Torino 2009 - Esercizio 4.1, p. 87.

Una parete verticale ($h_i = 8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $h_e = 20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), fattore di assorbimento solare della superficie esterna $\alpha_s = 0,6$, costituita da due strati di laterizio ($\lambda = 1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) di 20 cm ed un'intercapedine interposta ($R_{\text{int}} = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$), separa un ambiente riscaldato a temperatura di $20 \text{ }^\circ\text{C}$ dall'ambiente esterno a temperatura $0 \text{ }^\circ\text{C}$ con irradianza solare incidente sulla parete pari a 200 W/m^2 . Si determini:

- il flusso termico per unità di superficie che attraversa la parete;
- la temperatura sulle facce esterna ed interna della parete;
- la massima umidità relativa interna che permette di evitare condensazione superficiale.

✓ **Esercizio 4**

Una parete separa l'ambiente esterno che si trova a temperatura di $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ dall'ambiente interno che si trova a temperatura di $22 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidità relativa del 50%. La parete è caratterizzata dalla seguente stratigrafia (dall'esterno all'interno):

- laterizio ($S_{\text{lat}} = 12 \text{ cm}$; $\lambda_{\text{lat}} = 0,7 \text{ W/m}\cdot\text{K}$);
- calcestruzzo ($S_{\text{cls}} = 6 \text{ cm}$; $\lambda_{\text{cls}} = 1,16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$).

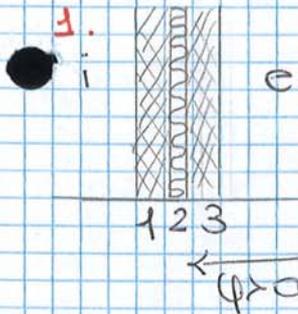
Sulla superficie esterna della parete, caratterizzata da un coefficiente di assorbimento solare pari a 0,6, vi è un'irradianza solare di 200 W/m^2 . Si chiede di:

- calcolare la trasmittanza termica della parete;
- disegnare il profilo di temperatura all'interno della parete, determinando i valori della temperatura sulle superfici della parete e all'interfaccia dei materiali;
- verificare la presenza di condensa sulla superficie interna della parete.

I coefficienti di scambio termico superficiale interno ed esterno valgono rispettivamente $8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ e $25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

TEMPERATURA SOLE ARIA - VERIF. CONDENSA SUPERFICIALE

09/11/2018



$$\lambda_{1,3} = 0,7 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$S_{1,3} = 7 \text{ cm} = 0,07 \text{ m}$$

$$\lambda_2 = 0,04 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$S_2 = (?)$$

$$t_i = 19,5^\circ \text{C}$$

$$t_{p,e} = 1,5^\circ \text{C}$$

$$h_i = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$h_e = 20 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Domande:

- a) $S_2 = ?$ (affinche $t_{p,i} = 18,5$)
- b) $\Lambda = ?$
- c) $U = ?$
- d) $t_e = ?$
- e) $t_{p,e} = ?$ (ipotesi: $J = 1,50 \frac{W}{m^2}$, $\alpha = 0,9$)

a)-b) affinche $t_{p,i} = 18^\circ \text{C}$

esecolo $\frac{Q}{A} = h_i (t_{p,i} - t_i) = 10 (18,5 - 19,5) = -10 \text{ W/m}^2$

$$\frac{Q}{A} = -\Lambda (t_1 - t_2) \Rightarrow \Lambda = \frac{Q}{A} \frac{1}{(t_1 - t_2)} = \frac{Q}{A} \frac{1}{(t_{p,i} - t_i)} =$$

$$= -10 \left(\frac{1}{18,5 - 19,5} \right) = 0,588 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\Lambda = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{2 \frac{S_{1,3}}{\lambda_{1,3}} + \frac{S_{1,3}}{\lambda_2}}$$

$$0,588 = \frac{1}{2 \left(\frac{0,07}{0,7} \right) + \frac{0,07}{\lambda_2}}$$

$$S_{1,3} = 0,04 \left(\frac{1}{0,588} - 2 \left(\frac{0,07}{0,7} \right) \right) =$$

$$= 0,04 (1,70 - 0,2) = 0,06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

d) $U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{0,588} + \frac{1}{20}} = \frac{1}{0,1 + 1,70 + 0,05} = 0,54 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

b. si verifica condensa quando $t_{pi} < t_{ru}$

$$t_{pi} = t_i - \frac{q}{h_i} (t_i - t_e) = 20 - \frac{3,313}{8} (20 - 3) = 12,9^\circ\text{C} \approx 13^\circ\text{C}$$

$$t_{ru} = ?$$

$$X_i = 0,622 \cdot \frac{P_{rs} \cdot \phi_i}{p - P_{rs} \cdot \phi_i} = 0,622 \cdot \frac{2338 \cdot 0,7}{101325 - 2338} = 0,0102 \frac{\text{kgv}}{\text{kga}}$$

$$X_i = X_{ru} ; \phi_{ru} = 100\%$$

$$P_{rs} = \frac{X \cdot p}{(0,622 + X) \cdot \phi} = \frac{0,0102 \cdot 101325}{(0,622 + 0,0102) \cdot 1} = 1634,8 \text{ Pa}$$

$$t_{ru} \approx 14,4$$

$t_{pi} < t_{ru} \Rightarrow$ **CONDENSA SUPERFICIALE**

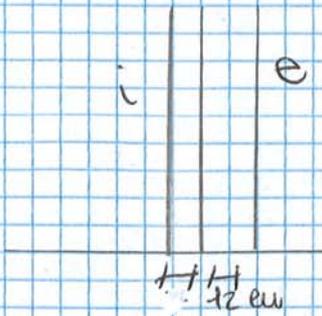
c. Condizione limite $t_{pi, \min} = 14,4^\circ\text{C}$

$$\frac{Q}{A_{\max}} = h_i \cdot (t_{pi, \min} - t_i) = 8 \cdot (14,4 - 20) = -44,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2_i}$$

$$U_{\max} = \frac{Q}{A_{\max}} \cdot \frac{1}{(t_e - t_i)} = -44,8 \cdot \frac{1}{(3 - 20)} = 2,635 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$R_{\min} = \frac{1}{U_{\max}} - \frac{1}{U} = \frac{1}{2,635} - \frac{1}{3,313} = 0,078 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

4



$t_e = -5^\circ\text{C}$
 $t_i = 22^\circ\text{C}$
 $\phi = 50\%$

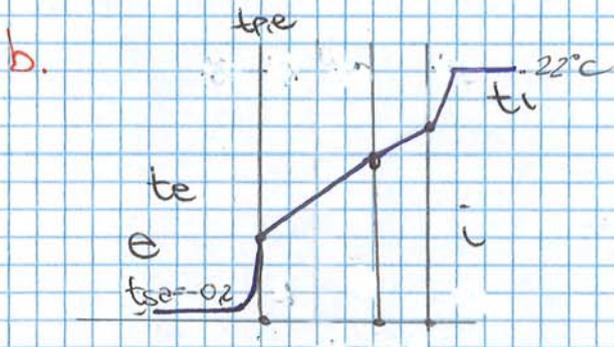
$$\begin{cases} d_{\text{brat}} = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m} \\ \lambda_{\text{brat}} = 0,7 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ d_{\text{ces}} = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m} \\ \lambda_{\text{ces}} = 1,16 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \end{cases}$$

$d_s = 0,6$; $J = 200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
 $h_e = 25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$; $h_i = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$

Calcolare:

- a) $U = ?$
- b) determinare i valori delle temperature e fornire il grafico?
- c) Condensa sup = ?

a. $U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d_{\text{brat}}}{\lambda_{\text{brat}}} + \frac{d_{\text{ces}}}{\lambda_{\text{ces}}} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,12}{0,7} + \frac{0,06}{1,16} + \frac{1}{25}} = 2,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$



$$t_{s0} = t_e + \frac{J \cdot d}{h_e} = -5 + \frac{200 \cdot 0,6}{25} = -0,2^\circ\text{C}$$

$$t_{pe} = t_{s0} - U(t_{s0} - t_i) \cdot \frac{1}{h_e} = -0,2 - 2,6(-0,2 - 22) \cdot \frac{1}{25} = 2,1^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{brat-ces}} = t_{pe} - U(t_{s0} - t_i) \frac{d_{\text{brat}}}{\lambda_{\text{brat}}} = 2,1 - 2,6(-0,2 - 22) \frac{0,12}{0,7} = 11,9^\circ\text{C}$$

$$t_{pi} = t_{\text{brat-ces}} - U(t_{s0} - t_i) \frac{d_{\text{ces}}}{\lambda_{\text{ces}}} = 11,9 - 2,6(-0,2 - 22) \frac{0,06}{1,16} = 14,9^\circ\text{C}$$

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi su **CONDENSA INTERSTIZIALE**
Data 16-11-2015

Esercizio 1

Si consideri una parete verticale (pannello prefabbricato) costituita dai seguenti materiali (dall'interno all'esterno):

- calcestruzzo armato: $s = 10 \text{ cm}$ $\delta = 2 \cdot 10^{-12} \text{ kg/(msPa)}$ $\lambda = 1,5 \text{ W/(mK)}$;
- isolante: $s = 5 \text{ cm}$ $\delta = 4 \cdot 10^{-12} \text{ kg/(msPa)}$ $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$;
- calcestruzzo armato: $s = 5 \text{ cm}$ $\delta = 2 \cdot 10^{-12} \text{ kg/(msPa)}$ $\lambda = 1,5 \text{ W/(mK)}$.

I coefficienti di scambio termico liminare sono: $h_i = 8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $h_e = 23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Nel caso di condizioni termoigrometriche interne $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\varphi_i = 50\%$ e condizioni termoigrometriche esterne $t_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\varphi_e = 80\%$, si verifichi l'esistenza di condensazione all'interno della parete e si rappresentino i profili della pressione del vapore e della pressione di saturazione con il metodo di Glaser.

In caso di formazione della condensa, determinare la portata di vapore condensata per unità di superficie frontale e calcolare la massa di acqua che si accumula all'interno della struttura in 3 mesi, supponendo che le condizioni termoigrometriche si mantengano costanti per tutto l'intervallo di tempo.

Esercizio 2

Una parete perimetrale esterna è formata da uno strato interno di 15 cm di calcestruzzo alleggerito ($\lambda = 0,27 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ e $\delta = 3,1 \cdot 10^{-11} \text{ kg/(s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa)}$) e da uno strato esterno di 10 cm di laterizio ($\lambda = 0,43 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ e $\delta = 2,1 \cdot 10^{-11} \text{ kg/(s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa)}$). La temperatura dell'ambiente interno è pari a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e quella dell'ambiente esterno è pari a $5 \text{ }^\circ\text{C}$, mentre l'umidità relativa interna è pari al 45% e quella esterna è pari al 80%. I coefficienti di scambio termico liminare interno ed esterno valgono rispettivamente $8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ e $25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Si chiede di:

- a) calcolare la trasmittanza termica e la permeanza della parete;
- b) determinare il profilo della pressione di vapore all'interno della parete;
- c) verificare la formazione di condensa interstiziale.

Pressione di saturazione del vapor d'acqua

t [°C]	+0,0	+0,1	+0,2	+0,3	+0,4	+0,5	+0,6	+0,7	+0,8	+0,9
20,0	2338	2352	2367	2382	2397	2412	2427	2442	2457	2472
19,0	2196	2209	2223	2237	2251	2266	2280	2294	2309	2323
18,0	2061	2074	2087	2101	2114	2127	2141	2154	2168	2182
17,0	1934	1947	1959	1972	1984	1997	2010	2022	2035	2048
16,0	1814	1826	1838	1850	1861	1873	1885	1898	1910	1922
15,0	1701	1712	1723	1734	1746	1757	1768	1780	1791	1803
14,0	1594	1605	1615	1626	1636	1647	1658	1668	1679	1690
13,0	1493	1503	1513	1523	1533	1543	1553	1563	1574	1584
12,0	1398	1408	1417	1426	1436	1445	1455	1464	1474	1484
11,0	1309	1317	1326	1335	1344	1353	1362	1371	1380	1389
10,0	1224	1232	1241	1249	1257	1266	1274	1283	1291	1300
9,0	1145	1152	1160	1168	1176	1184	1192	1200	1208	1216
8,0	1070	1077	1084	1092	1099	1107	1114	1122	1129	1137
7,0	999	1006	1013	1020	1027	1034	1041	1048	1055	1062
6,0	933	939	946	952	959	965	972	979	986	992
5,0	871	877	883	889	895	901	907	914	920	926
4,0	812	818	823	829	835	841	847	853	858	864
3,0	757	762	768	773	779	784	790	795	801	806
2,0	705	710	715	720	726	731	736	741	746	752
1,0	657	662	666	671	676	681	686	690	695	700
0,0	611	616	620	624	629	634	638	643	647	652
-1,0	563	568	572	577	582	587	592	596	601	606
-2,0	518	522	527	531	535	540	544	549	554	558

CONDENSA INTERSTIZIALE

16/11/2016

1.

	s	$\delta \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$	λ
CLS	10cm	$2 \cdot 10^{-12}$	1,5
ISO	5cm	$4 \cdot 10^{-12}$	0,04
CLS	5cm	$2 \cdot 10^{-12}$	1,5

$$h_i = 8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}; \quad h_e = 23 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}; \quad t_i = 20^\circ\text{C}; \quad t_e = 0^\circ\text{C}; \quad \varphi_i = 50\%; \quad \varphi_e = 80\%$$

a. Verifica condensa interstiziale e grafico con metodo di Glaser;

b. Mcond in 3 mesi

a. Se $p_i < p_{is}$ NO CONDENSA

calcolo p_i e p_e :

$$p_{v,i} = 2338 \cdot 0,5 = 1169 \text{ Pa};$$

$$p_{v,e} = 611 \cdot 0,8 = 488,8 \text{ Pa};$$

$$M = \frac{1}{\sum \frac{s_i}{\delta_i}} = \frac{1}{\frac{0,10}{2 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,05}{4 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,05}{2 \cdot 10^{-12}}} = 0,114 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,10}{1,5} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,05}{1,5} + \frac{1}{23}} = 0,66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

PROFLO DI SATURAZIONE → Temperature

PROFLO DI PRESSIONE → Pressioni

PRESSIONI: $p_{v,i} = 1169 \text{ Pa}; \quad p_{v,e} = 489 \text{ Pa}$

$$p_{v(1)} = p_{v,i} - M(p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \sum R_{v1} =$$

$$= 1169 - 0,114 \cdot 10^{-10} (1169 - 489) \cdot \frac{0,10}{2 \cdot 10^{-12}} = 780 \text{ Pa};$$

$$p_{v(2)} = p_{v,i} - M(p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \sum \frac{s_{cls}}{\delta_{cls}} + \frac{s_{iso}}{\delta_{iso}} =$$

$$= 1169 - 0,114 \cdot 10^{-10} (1169 - 489) \left(\frac{0,10}{2 \cdot 10^{-12}} + \frac{0,05}{4 \cdot 10^{-12}} \right) = 683 \text{ Pa};$$

$$R_{v,i} = 1169 \text{ Pa}; \quad p_{v(1)} = 780 \text{ Pa}; \quad p_{v(2)} = 683 \text{ Pa}; \quad p_{v,e} = 489 \text{ Pa};$$

2.

	S	$\lambda \left(\frac{W}{mK} \right)$	$\delta \left(\frac{m}{sm} \right)$
CLS	0,15 m	0,27	$3,1 \cdot 10^{-11}$
LAT	0,10 m	0,43	$2,1 \cdot 10^{-11}$

$t_i = 20^\circ C$ $\phi_i = 50\%$ $h_i = 8 \frac{W}{m^2K}$
 $t_e = 5^\circ C$ $\phi_e = 80\%$ $h_e = 25 \frac{W}{m^2K}$

a. $U = ?$ $M = ?$

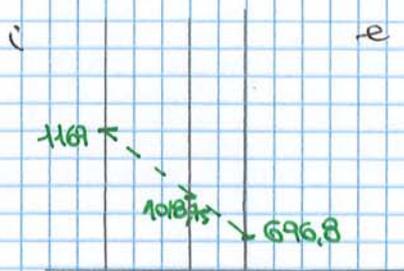
b. profilo pv

c. verifica condensa interstiziale

a. $U = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,15}{0,27} + \frac{0,10}{0,43} + \frac{1}{25}} = 1,05 \frac{W}{m^2K}$

$M = \frac{1}{\frac{0,15}{3,1 \cdot 10^{-11}} + \frac{0,10}{2,1 \cdot 10^{-11}}} = 1,042 \cdot 10^{-10} \frac{kg}{smPa}$

b.



$p_{v,i} = p_{v,s,i} \cdot \phi_i = 2338 \cdot 0,5 = 1169 Pa$

$p_{v,e} = p_{v,s,e} \cdot \phi_e = 871 \cdot 0,8 = 696,8 Pa$

$p_v(z) = p_{v,i} - M(p_{v,i} - p_{v,e}) \Rightarrow \Sigma R_{v,i} = 1169 - 1,042 \cdot 10^{-10} (1169 - 871) \cdot \frac{0,15}{3,1 \cdot 10^{-11}} =$
 $= 1169 - 150,25 = 1018,75 Pa$

$R_{v,s,t_i} = 2338 Pa$; $R_{v,s,t_{p_i}} = 2061 Pa$;

$R_{v,s,t_e} = 871 Pa$; $R_{v,s,t_{p_e}} = 907 Pa$;

$t_{p_i} = t_i - U(t_i - t_e) \cdot \frac{1}{h_i} = 18^\circ C$

COMPONENTE EDILIZIO TRASPARENTE

3. $g = 0,59$

$U = 3 \frac{W}{m^2K}$

$t_i = 20^\circ C$

$t_e = 32^\circ C$

$I = 350 \frac{W}{m^2}$

$A_{fn} = 2 m^2$

a. $\phi_s = ?$

b. $\phi_{\Delta t} = ?$

c. $\phi_{tot} = ?$

a. $\phi_s = g \cdot I \cdot A = 0,59 \cdot 350 \cdot 2 = 413 W$

b. $\dot{Q}_{\Delta t} = U \cdot A (t_e - t_i) = 3 \cdot 2 (32 - 20) = 36 W$

c. $\phi_{tot} = \phi_{\Delta t} + \phi_s = 36 + 413 = 449 W$

4. $A = 10 m^2$

$s = 4 mm$

$\lambda = 1 \frac{W}{mK}$

$J = 500 \frac{W}{m^2}$

$t_i = 20^\circ C$

$t_e = 0^\circ C$

$h_i = 8 W/m^2K$

$h_e = 25 W/m^2K$

$g = 0,85$

$\tau = 0,80$

a. $U_g = ?$

b. $SC = ?$

c. $\phi_{tot} = ?$

d. $\phi_s = ?$

a. $U_g = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,004}{1} + \frac{1}{25}} = 5,92 \frac{W}{m^2K}$

b. $SC = \frac{g \cdot \tau}{g_{eff} \cdot \tau} = \frac{0,85}{0,84} = 0,994$

Corso di FISICA TECNICA
 Esercizi sui **BILANCI DI ENERGIA E DI MASSA DELL'AMBIENTE INTERNO**
 Data 17-11-2015

X Esercizio 1

Un ambiente di forma parallelepipedica a pianta quadrata (lato 6 m, altezza 3 m) ha due pareti che confinano con l'ambiente esterno a 0 °C, mentre le altre due pareti, il soffitto e il pavimento sono superfici adiabatiche. Una delle due pareti esterne ha due finestre di 2,5 m² ciascuna; sulle finestre vi è un'irradianza solare di 100 W/m². La trasmittanza termica della finestra (U_w) è 2,2 W/(m²K), la trasmittanza di energia solare totale del vetro (g o TSET) è 0,65, la trasmittanza termica della parete opaca (U_{op}) è 0,3 W/(m²K). L'ambiente è ventilato naturalmente con un tasso di ricambio a 0,5 vol/h, ed è riscaldato con un impianto che controlla la sola temperatura e la mantiene a 20 °C. Considerando che in ambiente vi è un occupante che svolge un'attività assimilabile a lavoro medio (emissione termica globale pari a 265 W/pers.), si chiede di calcolare:

- a) gli apporti solari entranti in ambiente attraverso le finestre;
- b) la portata massica dell'aria di ventilazione;
- c) la potenza termica che l'impianto termico fornisce all'ambiente.

Si trascuri il contributo dell'irradianza solare incidente sulla parte opaca delle pareti. Si assuma 1,2 kg/m³ la massa volumica dell'aria.

✓ Esercizio 2

In un ambiente di forma parallelepipedica (dimensioni: 5 x 7 m, altezza 3 m) è presente un impianto di riscaldamento a radiatori che fornisce una potenza di 1000 W. Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione H_r verso l'esterno è pari a 160 W/K, gli apporti solari in ambiente ammontano a 2000 W e non vi sono apporti interni. Sapendo che l'ambiente esterno si trova ad una temperatura di 3 °C e che il ricambio d'aria è pari a 1 vol/h, si chiede di determinare:

- a) la temperatura all'interno dell'ambiente. *↳ viene messo il termine φ_{I,s}*

Ipotizzando poi di attivare un umidificatore che produce una portata di 700 g/h di vapore e sapendo che l'umidità specifica esterna è pari a 2 g_v/kg_a, si determini:

- b) l'umidità specifica all'interno dell'ambiente.

Si assuma 1,2 kg/m³ la massa volumica dell'aria. Si assumano condizioni stazionarie.

✓ Esercizio 3

Un ambiente (V = 300 m³), riscaldato a 22 °C, è ventilato naturalmente con un tasso di ventilazione pari a 0,5 vol/h (aria esterna t_e = 0 °C, φ_e = 90%, ρ_a = 1,29 kg/m³). Sapendo che nell'ambiente sono presenti 5 persone che svolgono lavoro d'ufficio (M = 140 W), si determini:

- a) la portata di vapore generata dagli occupanti;
- b) la portata di vapore che un umidificatore d'ambiente dovrebbe produrre per mantenere l'umidità relativa interna al 50%.

Sono dati i valori della pressione di saturazione del vapore: p_{vs,22°C} = 2646 Pa, p_{vs,0°C} = 611 Pa.

ALLEGATO - Produzione termica del corpo umano:

Attività	Emissione termica (W)	Temperatura ambiente (°C)									
		15		20		22		24		26	
		sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)
Seduto	115	100	15	90	25	80	35	75	40	65	50
Lavoro in ufficio	140	110	30	100	40	90	50	80	60	70	70
In cammino	160	120	40	110	50	100	60	85	75	75	85
Lavoro leggero	235	150	85	130	105	115	120	100	135	90	155
Lavoro medio	265	160	105	140	125	125	140	105	160	90	175
Lavoro pesante	440	220	220	190	250	165	275	135	305	105	335

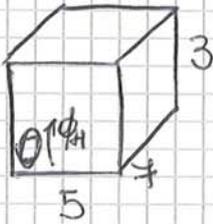
$$\phi_{I,S} = 140 \text{ W (esempio sulle tabelle)}$$

$$\phi_H = 0,018 \cdot 1000 \cdot (20-0) + (2,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 31) \cdot (20-0) - 325 - 140 = 301 \text{ W}$$

$$A_{op} = (6+6) \cdot 3 - 5 = 31 \text{ m}^2$$

\uparrow 2 pareti opache
 \uparrow finestre

2.



$$\phi_H = 1000 \text{ W}$$

$$H_T = 160 \frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\phi_S = 2000 \text{ W}$$

$$\phi_S = 0$$

$$t_e = 3^\circ\text{C}$$

$$n = 1 \text{ vol/h}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

a) $t_i = ?$

b) $x_i = ?$

a) Per la temperatura dell'ambiente consideriamo l'equazione di bilancio del calore sensibile

$$\phi_H + \phi_T + \phi_V + \cancel{\phi_{I,S}} + \phi_S = 0$$

$$\dot{m}_a = \rho \cdot \frac{n \cdot V}{3600} = 1,2 \cdot 1 \cdot \frac{(5 \cdot 4 \cdot 3)}{3600} = 0,035;$$

$$\phi_H + H_T (t_e - t_i) + \dot{m}_a \cdot c_p (t_e - t_i) + \phi_S = 0$$

$$t_i = t_e + \frac{(\phi_H + \phi_S)}{H_T + \dot{m}_a c_p} = 3 + \frac{(1000 + 2000)}{160 + 0,035 \cdot 1000} =$$

b) $\dot{m}_a (x_e - x_i) + \cancel{\dot{m}_{v,I}} + \dot{m}_{v,H} = 0$ = 18,4%

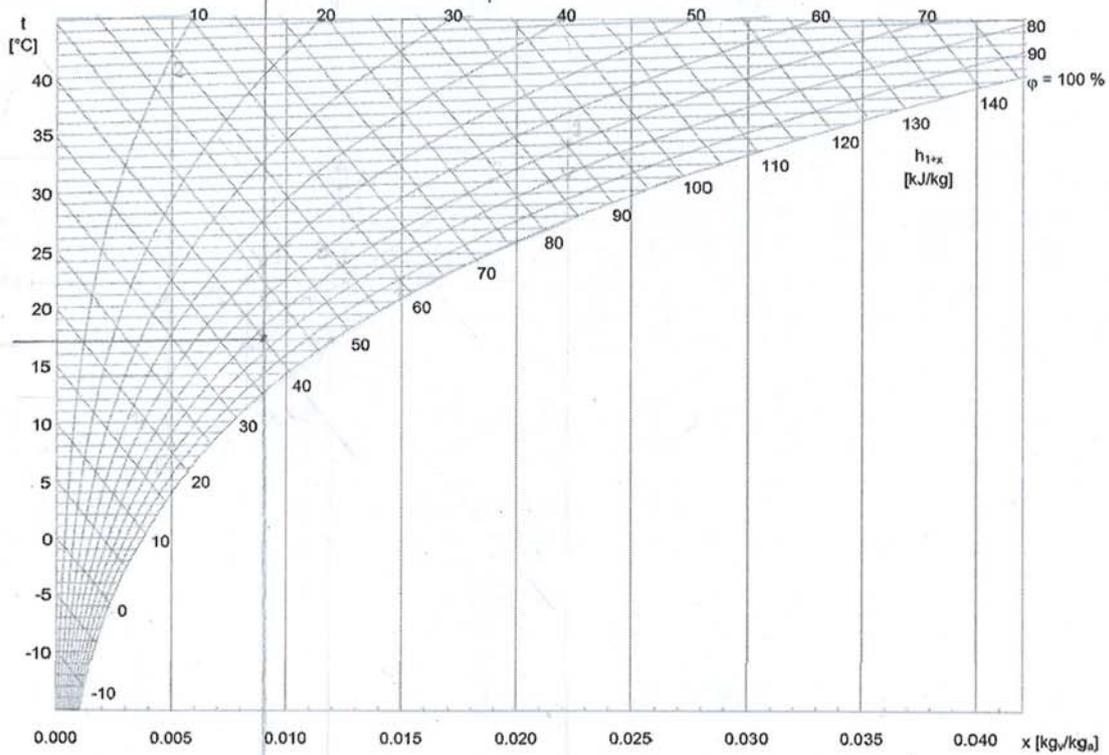
$$x_i = x_e + \frac{\dot{m}_{v,H}}{\dot{m}_a} = 0,0076$$

Corso di FISICA TECNICA
 Esercizi sui **BILANCI DI ENERGIA E DI MASSA DELL'AMBIENTE INTERNO**
 Data 23-11-2015

ALLEGATO - Produzione termica del corpo umano:

Attività	Emissione termica (W)	Temperatura ambiente (°C)									
		15		20		22		24		26	
		sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)	sens. (W)	lat. (W)
Seduto	115	100	15	90	25	80	35	75	40	65	50
Lavoro in ufficio	140	110	30	100	40	90	50	80	60	70	70
In cammino	160	120	40	110	50	100	60	85	75	75	85
Lavoro leggero	235	150	85	130	105	115	120	100	135	90	155
Lavoro medio	265	160	105	140	125	125	140	105	160	90	175
Lavoro pesante	440	220	220	190	250	165	275	135	305	105	335

ALLEGATO - Diagramma di Mollier:



$$h_i = c_{p,i} t_i + x_i (c_{p,i} t_i + r_0) = 1,006 \cdot 26 + 0,0105 (1,875 \cdot 26 + 2501) =$$

$$\Phi_{I, TOT} = 120 \times 10 = 1200 \quad \text{potenza} \quad = 529 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

\downarrow \leftarrow pers
 Potere sens

$$t_{su} = \frac{h_{su} - r_0 \cdot x_{su}}{c_{p,a} + x_{su} \cdot c_{p,v}} = \frac{43,76 - 2501 \cdot 0,00913}{1,006 + 0,00913 \cdot 1,875} = 20,4^\circ\text{C}$$

$$t_{su} = t_i - \frac{\Phi_{I,s} + \Phi_T}{(c_{p,a} + x_i \cdot c_{p,v}) \cdot \dot{m}_a} = 26^\circ\text{C} - \frac{0,7 + 0,434}{(1,8 \cdot 1,006 + 0,0105 \cdot 1,875) \cdot 0,2} = 20,5^\circ\text{C}$$

2. $t_i = 22^\circ\text{C}$

$\phi_i = 60\%$

$\dot{V} = 300 \text{ l/s} = 0,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

15 pers. (lav. soffoc)

$h_e = 25 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{K}}$

$\rho_a = 1,29 \text{ kg/m}^3$

1. $n_i = x_i = 0,622 \cdot \frac{2646 \cdot 0,6}{101325 - 2646 \cdot 0,6} = 0,0099$

$$h_i = (1,006 + 1,875 \cdot 0,0099) \cdot 22 + 0,0099 \cdot 2501 = 47,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

2. $\dot{m}_{v,i} = \frac{\phi_i \rho_a}{h_{v,i}} = \frac{1,8}{2542} = 0,71 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} = 0,71 \text{ g/s}$

$$h_{v,i} = 2501 + 1,875 \cdot 22 = 2542 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Phi_{I,e} = 120 \cdot 15 = 1800 \text{ W} = 1,8 \text{ kW}$$

3. $A_{op} = 150 \text{ m}^2$; $U_{op} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$; $\alpha_{s,op} = 0,3$;

$A_{sm} = 22 \text{ m}^2$; $U_{sm} = 32 \text{ W/m}^2\text{K}$; $T_{SET} = 0,7$;

$I = 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$; $t_e = -4^\circ\text{C}$;

\uparrow irradiazione solare media

$$\begin{aligned} \Phi_T &= \Phi_{T,op} + \Phi_{T,sm} = U_{op} \cdot A_{op} (t_{su} - t_i) + U_{sm} \cdot A_{sm} (t_e - t_i) = \\ &= 1 \cdot 150 (-2,8 - 22) + 32 \cdot 0,22 (-4 - 22) = -5550 \text{ W} \end{aligned}$$

$$t_{su} = t_e + \frac{\alpha_{s,op} \cdot I}{h_e} = -4 + \frac{0,3 \cdot 100}{25} = -0,4 + 1,2 = -1,8^\circ\text{C}$$

Corso di FISICA TECNICA
 Esercizi su FLUSSO LUMINOSO – RELAZIONE TRA GRANDEZZE FOTOMETRICHE
 Data 24-11-2015

Esercizio 1

Una sorgente luminosa emette un flusso energetico di 150 W con spettro costante nell'intervallo di lunghezza d'onda da 0,605 μm a 0,675 μm . Calcolare il flusso luminoso emesso, utilizzando la tabella del coefficiente di visibilità in condizioni fotopiche.

Esercizio 2

Una sorgente luminosa emette una luce bianca avente $\Phi_{e,\lambda} = 200 \text{ W}/\mu\text{m}$. Determinare se il corrispondente flusso luminoso è maggiore per condizioni di visione fotopica o scotopica calcolandone il valore nei due casi. Si assuma pari a 683 lm/W la visibilità massima in condizioni fotopiche e pari a 1700 lm/W la visibilità massima in condizioni scotopiche. Si determini inoltre il flusso energetico totale.

Esercizio 3

Una sorgente luminosa con una superficie di 50 cm^2 emette in modo uniforme un flusso luminoso pari a 250 lm con intensità costante in un angolo solido pari a π steradiani, entro un cono circolare avente asse perpendicolare alla superficie. Si calcolino l'emetenza, l'intensità e la luminanza di tale sorgente nella direzione perpendicolare alla sorgente.

Esercizio 4

È data una superficie di area 3 m^2 sulla quale incide un flusso luminoso di 1500 lm. Il coefficiente di trasmissione luminosa della superficie vale 0,6; il coefficiente di riflessione luminosa della superficie vale 0,3. Calcolare:

- l'emetenza della superficie, vista da entrambi lati;
- la luminanza della superficie, vista da entrambi i lati, considerando la superficie perfettamente diffondente.

ALLEGATO

FATTORE DI VISIBILITÀ IN VISIONE DIURNA

λ (μm)	V	λ (μm)	V	λ (μm)	V	λ (μm)	V
0,38	0,00004	0,49	0,208	0,58	0,870	0,68	0,017
0,39	0,00012		0,323	0,59	0,757	0,69	0,0082
0,40	0,0004	0,51	0,503	0,60	0,631	0,70	0,0041
0,41	0,0012	0,52	0,710	0,61	0,503	0,71	0,0021
0,42	0,004	0,53	0,862	0,62	0,381	0,72	0,00105
0,43	0,0116	0,54	0,954	0,63	0,265	0,73	0,00053
0,44	0,023	0,55	0,995	0,64	0,175	0,74	0,00025
0,45	0,038	0,555	1,000	0,65	0,107	0,75	0,00013
0,46	0,060	0,56	0,995	0,66	0,061	0,76	0,00007
0,47	0,091	0,57	0,952	0,67	0,032	0,77	0,00003
0,48	0,139					0,78	0

FATTORE DI VISIBILITÀ IN VISIONE NOTTURNA

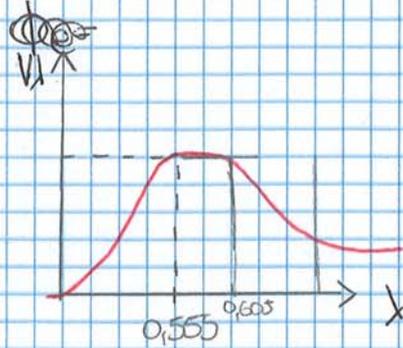
Wavelength λ (nanometers)	Relative Value	Wavelength λ (nanometers)	Relative Value
380	0.000589	590	0.0655
390	0.02209	600	0.3315
400	0.0929	610	0.1593
410	0.3484	620	0.0737
420	0.966	630	0.03335
430	1.998	640	0.01497
440	3.281	650	0.00677
450	4.55	660	0.003129
460	5.67	670	0.001480
470	6.76	680	0.000715
480	7.93	690	0.0003533
490	9.04	700	0.0001780
500	9.82	710	0.0000914
510	9.97	720	0.0000478
520	9.35	730	0.00002546
530	8.11	740	0.00001379
540	6.50	750	0.00000760
550	4.81	760	0.00000425
560	3.288	770	0.000002413
570	2.076	780	0.000001390
580	1.212		

FLUSSO LUMINOSO - RELAZIONE TRA GRANDEZZE FOTOMETRICHE

1. $\Phi_e = 150 \text{ W}$

VISIONE DIURNA

24/11/2015



$$\Phi_{e,\lambda} = \frac{\Phi_e}{\lambda} = \frac{150}{(675 - 605)} = 2,14 \frac{\text{W}}{\text{nm}}$$

$$\Phi = \int_0^{\infty} \Phi_{e,\lambda} k_{\text{max}} V_\lambda d\lambda = \int_{605}^{675} \Phi_{e,\lambda} k_{\text{max}} V_\lambda d\lambda = k_{\text{max}} \Phi_{e,\lambda} \int_{605}^{675} V_\lambda d\lambda = k_{\text{max}} \Phi_{e,\lambda} \sum_{i=1}^n V_i \Delta\lambda =$$

in questo caso parte costante è costante, poiché abbiamo uno spettro costante

intervalli di ampiezza $\Delta\lambda$

intervalli: $\lambda_1 = 610 \text{ nm}$
 $\lambda_2 = 620 \text{ nm}$
 \vdots
 $\lambda_n = 670 \text{ nm}$

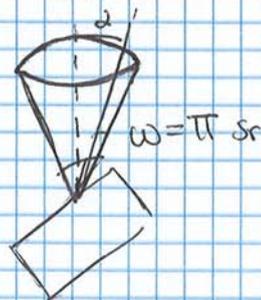
intervalli 5 nm
 prima del primo intervallo o 5
 dopo l'ultimo

$$\Phi = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \cdot 2,14 \frac{\text{W}}{\text{nm}} (0,503 + 0,381 + 0,265 + 0,145 + 0,107 + 0,061 + 0,032) = 22275 \text{ lm}$$

3. $I = \text{cost}$

$A = 50 \text{ cm}^2;$

$\Phi = 250 \text{ lm};$



$M = ?$

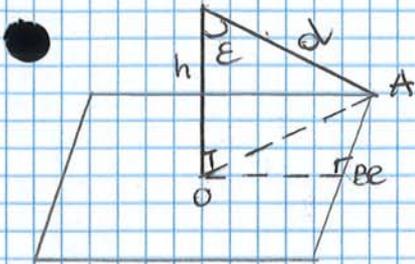
$L = ?$

$I = ?$

$\alpha = 0 = ?$

6. Solido fotometrico simm. di scotaz. ottenuto ad un'asse

(vertical) s



I non costante, bisogna leggere sull'indicatrice

debbono trovare E

$h = 8 \text{ m}$
 $e = 18 \text{ m}$

$$OA = \sqrt{9^2 + 9^2} = 12,73 \text{ m}$$

$$d = \sqrt{12,73^2 + 8^2} = 15 \text{ m}$$

$$\cos E = \frac{h}{d} = 0,5334 \Rightarrow E = 57,8^\circ$$

In

a) $I = ?$ (entro dello spazio, cioè in O)

b) $E = ?$

c) $I_A = ?$

d) $I_A = ?$

a) $I(E=0^\circ) = 45 \cdot 100 = 4500 \text{ cd}$

b) $E_0 = \frac{I_E \cos^3 E}{h^2} = \frac{4500 \cdot 1}{8^2} = 70,31 \text{ lux}$

c) $E = 57,8^\circ$

$$I(E=57,8^\circ) = 45 \cdot 100 = 4100 \text{ cd}$$

d) $I_A = \frac{I_E \cos^3 E}{h^2} = \frac{4100 \cdot 0,5334^3}{8^2} = 9,72 \text{ lx}$

Corso di FISICA TECNICA
 Esercizi di COLORIMETRIA
 Data 30-11-2015

X *Esercizio 4*

Si consideri un colore avente coordinate tricromatiche $\{X=5, Y=9, Z=5\}$. Calcolare le coordinate tricromatiche ridotte, individuare tale punto sul triangolo dei colori, calcolare la purezza colorimetrica e individuare la lunghezza d'onda dominante.

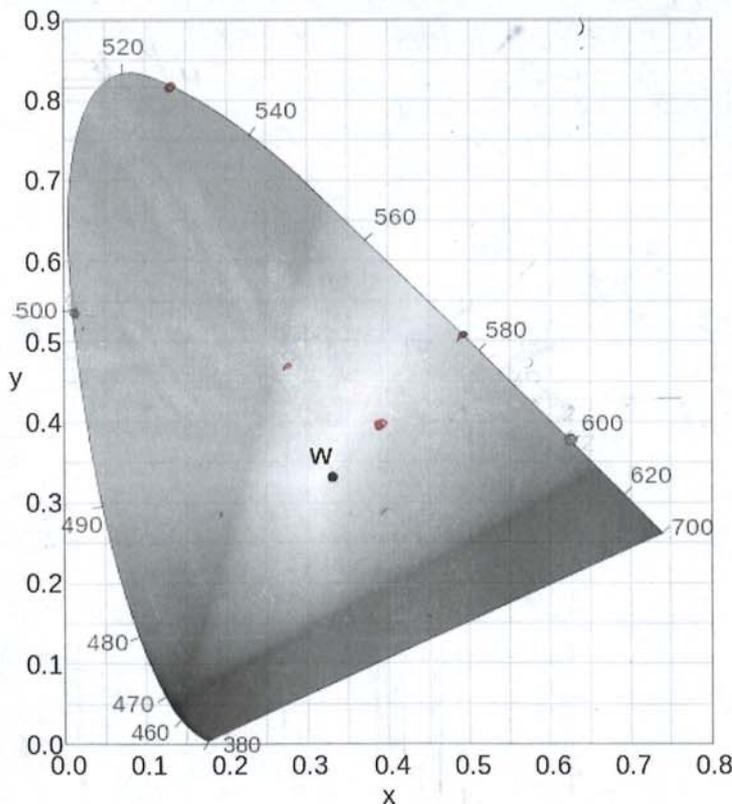
X *Esercizio 5*

Dato un colore avente coordinate tricromatiche $\{X = 7, Y = 7, Z = 4,2\}$, calcolarne le coordinate tricromatiche x, y e z e rappresentarlo sul triangolo dei colori. Calcolarne inoltre il fattore di purezza e determinarne la lunghezza d'onda dominante.

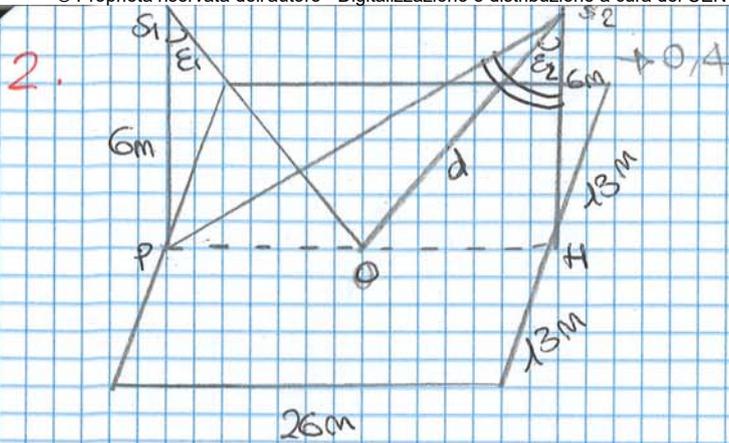
Esercizio 6

Sono dati due colori aventi rispettivamente coordinate tricromatiche ridotte $\{x_A = 0,2, y_A = 0,4\}$ e $\{x_B = 0,3, y_B = 0,7\}$. Inoltre sono note $Y_A = 4$ e $Y_B = 2$. Calcolare le coordinate tricromatiche ridotte del colore risultante dalla somma dei due, rappresentarlo sul triangolo dei colori, determinarne la lunghezza d'onda dominante e calcolarne il fattore di purezza.

Allegato – Diagramma cromatico CIE



H si trova prolungando il segmento che unisce A e W



a) $E_0 = ?$
 b) $E_p = ?$ $E_H = ?$

IN QUESTI ESERCIZI BISOGNA SAPER FARE BENE IL DISEGNO

a)
$$E = \frac{I_{\epsilon} \cdot \cos^3 \epsilon}{h^2}$$

$h = 6m;$

$$E_0 = \frac{I_{\epsilon_1} \cdot \cos^3 \epsilon_1}{h^2} + \frac{I_{\epsilon_2} \cdot \cos^3 \epsilon_2}{h^2} = 2 \left(\frac{I_{\epsilon_1} \cdot \cos^2 \epsilon_1}{h^2} \right) =$$

SIMMETRICI

$$\cos \epsilon_1 = \frac{S_{1P}}{S_{1O}} = \frac{h}{d} = \frac{6}{\sqrt{13^2 + 6^2}} = 0,419$$

$\epsilon_1 = 65,2^\circ$

$I_{65^\circ} = 950 \text{ cd}$ (dalla indicatrice)

$$E_0 = \frac{2 \cdot 950 \cdot 0,419^3}{6^2} = 3,88 \text{ lx}$$

b)
$$E_p = \frac{I_{\epsilon_1} \cos^3 \epsilon_1}{h^2} + \frac{I_{\epsilon_3} \cos^3 \epsilon_3}{h^2} = \frac{1000 \cdot 1}{6^2} + \frac{990 \cdot (0,225)^3}{6^2} =$$

$\epsilon_1 = 0^\circ; I_{\epsilon_1} = 1000 \text{ cd};$ $= 27,78 + 0,31 = 28,1 \text{ lx}$

$\epsilon_3 = 74^\circ; I_{\epsilon_3} = 990 \text{ cd};$

$$\frac{S_{2H}}{\sqrt{PA^2 + S_{2H}^2}} = \frac{6}{\sqrt{(26)^2 + 36}} = 0,225 = \cos \epsilon_3$$

$$S_{2P} = \sqrt{PA^2 + S_{2H}^2} = \sqrt{(26)^2 + 6^2}$$

COLORIMETRIA

4) Colore: $X_c = 5$
 $Y_c = 9$
 $Z_c = 5$

a. $\begin{cases} X=? \\ Y=? \\ Z=? \end{cases}$

b. rappresentare
sue triangolo
dei colori?

c. Area? $\lambda d=?$

a. $x = \frac{X}{X+Y+Z} = \frac{5}{5+9+5} = 0,263$

$y = \frac{Y}{X+Y+Z} = \frac{9}{5+9+5} = 0,474$

$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y = 1 - 0,263 - 0,474 = 0,263$

b. λd es tramite del grafico e vale 522

$$fp = \frac{WA}{WAH} = \frac{\sqrt{(XW-XA)^2 + (YW-YA)^2}}{\sqrt{(XW-XH)^2 + (YW-YH)^2}} = \frac{\sqrt{(0,333-0,263)^2 + (0,333-0,474)^2}}{\sqrt{(0,333-0,08)^2 + (0,333-0,24)^2}} = \frac{\sqrt{0,0049 + 0,0199}}{\sqrt{0,0049 + 0,0199}} = 0,278$$

5) Colore: $\begin{cases} X = 7 \\ Y = 7 \\ Z = 4,2 \end{cases}$

a. $\begin{cases} X=? \\ Y=? \\ Z=? \end{cases}$

b. rappresentazione

c. $\lambda d=?$

$\frac{WA}{WAH}=?$

a. $x = \frac{X}{X+Y+Z} = \frac{7}{7+7+4,2} = 0,385$

$y = \frac{Y}{X+Y+Z} = 0,385$

$z = 1 - x - y = 0,23$

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi su **FATTORE MEDIO DI LUCE DIURNA**
Data 01-12-2015

X *Esercizio 1*

Un locale a forma parallelepipedica di dimensioni in pianta 6 x 5 m e altezza 4 m ha una finestra a nastro di altezza 1,4 m posta sul lato lungo a filo esterno rispetto alla facciata. Il coefficiente di riflessione del pavimento vale 0,6; il coefficiente di riflessione delle pareti e del soffitto vale 0,7; il coefficiente di riflessione del vetro vale 0,3. Noto il coefficiente di trasmissione del vetro, pari a 0,6, calcolare il fattore medio di luce diurna del locale. Si consideri l'assenza di ostruzioni di fronte alla finestra.

X *Esercizio 2*

Un locale a forma parallelepipedica di dimensioni in pianta 5 x 4 m e altezza 3 m presenta una finestra di dimensioni 2,4 m di larghezza e 1,5 m di altezza, posta a filo interno* (spessore parete 30 cm). Il bordo inferiore della finestra è a 75 cm dal suolo. La finestra è parzialmente ostruita da un edificio parallelo al locale, distante da esso 10 m e alto 9,5 m. Il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro vale 0,8; il valore medio del coefficiente di riflessione luminosa del locale vale 0,7. Calcolare l'illuminamento medio all'interno del locale nel caso in cui l'illuminamento esterno sul piano orizzontale valga 20000 lx in condizioni di cielo coperto.

* arretrato di 3

X *Esercizio 3*

Un locale adibito ad uso residenziale, a forma parallelepipedica (6 x 5 m, altezza 2,7 m), è illuminato da una superficie vetrata verticale di forma quadrata e area pari a 1/10 dell'area del pavimento. La superficie vetrata è incassata di 40 cm e non vi sono ostruzioni esterne. Le pareti e il soffitto hanno coefficiente di riflessione pari a 0,5, il pavimento pari a 0,4 e la superficie vetrata pari a 0,1. Il coefficiente di trasmissione luminosa della vetrata vale 0,8. Si calcoli:

- il fattore medio di luce diurna;
- nel caso in cui non siano soddisfatti i requisiti della normativa vigente, la superficie minima di un lucernario ($\tau_l = 0,8$) da inserire sul tetto piano (a filo esterno) per rispettare la normativa vigente (si consideri invariato il coefficiente di riflessione medio utilizzato al punto a).

X *Esercizio 4*

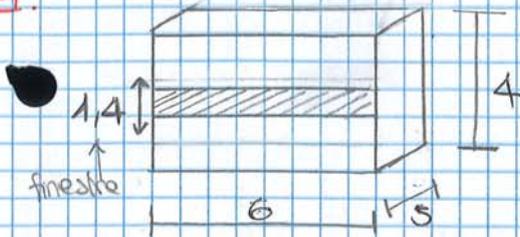
Un ambiente ad uso residenziale a forma parallelepipedica di dimensioni in pianta 5 x 6 m e altezza 3 m presenta, su un lato lungo, una finestra larga 2 m e alta 1,2 m, incassata di 20 cm rispetto al filo facciata, e sul tetto un lucernario di 1,5 m² posto a filo esterno. Ad una distanza di 8 m dalla finestra si trova un edificio che ha un'altezza di 10 m superiore al baricentro della finestra. Il lucernario è privo di ostruzioni. Sapendo che il vetro della finestra ha un fattore di trasmissione luminosa pari a 0,85 e un fattore di riflessione luminosa pari a 0,1, che il vetro del lucernario ha un fattore di trasmissione luminosa pari a 0,65 e un fattore di riflessione luminosa pari a 0,1, e che i coefficienti di riflessione luminosa delle altre superfici interne dell'ambiente sono pari a 0,7 (pavimento), 0,6 (pareti) e 0,7 (soffitto), si determini:

- il fattore medio di luce diurna dell'ambiente e si dica se rispetta la normativa vigente;
- l'illuminamento sulla superficie esterna in corrispondenza del baricentro della finestra e del lucernario, quando all'esterno vi è un illuminamento sul piano orizzontale (in assenza di ombre e in presenza di radiazione solare diffusa) pari a 12000 lx.

FATTORE MEDIO DI LUCE DIURNA

01/12/2015

1.



- $p_{e,2} = 0,6;$
- $p_{e,pav} = 0,7;$
- $p_{e,s} = 0,7;$
- $p_{e,v} = 0,3;$
- $T_{e,v} = 0,6;$

$F_{LDm} = ?$

non c'è orientamento $E = 0,5$ (finestre verticali) \uparrow angolo 90°

$$F_{LDm} = \frac{E \cdot A_f \cdot T_e \cdot \psi}{(1 - p_{e,pav}) \cdot A_{tot}} = \frac{0,5 \cdot 1,4 \cdot 6 \cdot 0,6}{(1 - 0,657) \cdot 148} = 0,05 = 5\%$$

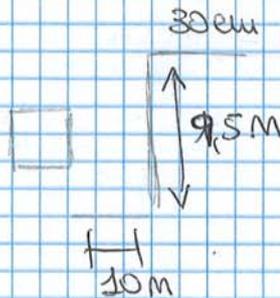
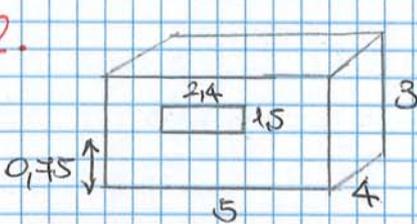
pareti = $(6 \cdot 5) \times 2 \times 4$ m

$A_{tot} = 6 \cdot 5 \cdot 2 + (6+5) \cdot 2 \cdot 4 = 148 \text{ m}^2$ \uparrow pareti

parimento e soffitto \leftarrow Consideriamo tutte le diverse superfici \rightarrow stringo la parte vetrata

$$p_{p,m} = \frac{\sum A_i \cdot p_{e,i}}{\sum A_i} = \frac{(6 \cdot 5) \cdot 0,6 + (1,4 \cdot 6) \cdot 0,3 + [6 \cdot 5 + (6+5) \cdot 2 \cdot 4 - 1,4 \cdot 6] \cdot 0,7}{148} = 0,657$$

2.



- $T_e = 0,8$
- $p_{e,m} = 0,7$
- $E_{e,0} = 20000$
- $E_{i,m} = ?$

$$F_{LDm} = \frac{E_{i,m}}{E_{e,0}} \rightarrow E_{i,m} = E_{e,0} \cdot F_{LDm} = 20000 \cdot 0,186 = 3720$$

$$F_{LDm} = \frac{E \cdot A_f \cdot T_e \cdot \psi}{(1 - p_{e,m}) \cdot A_{tot}} = \frac{0,2 \cdot 3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,91}{(1 - 0,7) \cdot 94} = 0,186 = 1,9\%$$

$A_{tot} = 5 \cdot 4 \cdot 2 + (5+4) \cdot 2 \cdot 3 = 94 \text{ m}^2;$

$A_f = 2,4 \cdot 1,5 = 3,6 \text{ m}^2$

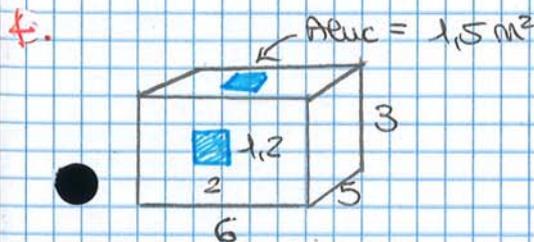
\uparrow se fosse un ologgio
quello non si spetterebbe
i parametri

$$\frac{H-h}{L_0} = \frac{9,5 - 1,5}{10} = 0,8 \quad E = 20\% = 0,2$$

$$A_{LDM} = \frac{F_{LDm} \cdot (1 - p_{e,m}) - A_{tot} - (A_{fin} \cdot \epsilon_{s,fin} \cdot \psi_{s,fin} \cdot T_{e,fin})}{E_{auc} \cdot \psi_{auc} \cdot T_{e,auc}}$$

$$= \frac{0,02(1 - 0,465) \cdot 119,4 - (3; 0,5 \cdot 0,85 \cdot 0,8)}{1 \cdot 1 \cdot 0,8} = \frac{0,2576}{0,8} = 0,322 \text{ m}^2$$

In realtà il p medio non dovrebbe rimanere invariato poiché aumentata la superficie vetrata il p medio diminuisce e di conseguenza $1 - p_{e,m}$ aumenta.



$$\begin{cases} T_{e,fin} = 0,85 \\ p_{e,fin} = 0,1 \\ T_{e,auc} = 0,65 \\ p_{e,auc} = 0,1 \end{cases}$$

a) $F_{LDm} = ?$
b) $E_{m,e} = ?$

$p_{fin} = 20 \text{ eu}$
(Aumentano su filo esterno)

$p_{e,par} = p_{e,sf} = 0,7$
 $p_{e,por} = 0,6$

a)

$$F_{LDm} = \frac{(E_{fin} \cdot A_{fin} \cdot T_{e,fin} \cdot \psi_{s,fin}) + (E_{auc} \cdot A_{auc} \cdot T_{e,auc} \cdot \psi_{s,auc})}{(1 - p_{e,m}) \cdot A_{tot}}$$

$$= \frac{(0,12 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 0,85 \cdot 0,94) + (1 \cdot 1,5 \cdot 0,65 \cdot 1)}{(1 - 0,631) \cdot 126} = \frac{0,226}{0,369} = 0,612$$

$\epsilon_{s,fin} = 12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$\frac{h \cdot h}{L_e} = \frac{10 \text{ m}}{8 \text{ m}} = 1,25$

$\psi_{s,fin} = 0,94$ $\frac{L_e}{p} = \frac{2}{0,2} = 10$ $\frac{h}{p} = \frac{1,2}{0,2} = 6$

↑
rispetto
la normativa

$E_{auc} = 1$ (vetro orizzontale)

$\psi_{s,auc} = 1$

$A_{tot} = 126$

Corso di FISICA TECNICA
Esercizi sul METODO DEL FLUSSO TOTALE
Data 14-12-2015

✕ **Esercizio 1**

Una sala da lettura a pianta rettangolare (10 m x 8 m) è illuminata da 15 apparecchi per illuminazione indiretta sospesi a soffitto. Ciascun apparecchio è equipaggiato con due lampade fluorescenti tubolari, ciascuna caratterizzata da una potenza di 55 W ed efficienza luminosa pari a 90 lm/W.

Il locale è alto 4 m, i compiti visivi di lettura e scrittura sono posti a 85 cm dal pavimento. I coefficienti di riflessione di soffitto e pareti della sala sono rispettivamente pari a 75% e a 50%. Si assuma un coefficiente di manutenzione pari a 0,8. Si chiede di determinare:

- l'illuminamento medio di esercizio verificando che corrisponda a quello richiesto da normativa per il tipo di attività;
- l'illuminamento medio a impianto nuovo;
- il numero di apparecchi necessario per garantire un illuminamento medio di esercizio di 750 lx.

✕ **Esercizio 2**

Un'aula per disegno tecnico a pianta quadrata avente lato pari a 12 m (altezza 4 m) è illuminata da 22 apparecchi di tipo aperto con riflettore in alluminio posti all'altezza del soffitto. Ciascun apparecchio è equipaggiato con due lampade fluorescenti aventi efficienza luminosa pari a 50 lm/W.

Nell'ipotesi che si voglia soddisfare la richiesta di illuminamento previsto per il tipo di attività ($E_m = 750$ lx), e sapendo che il soffitto è dipinto in colore chiaro ($\rho_{\text{soffitto}} = 75\%$) e che il coefficiente di riflessione medio delle pareti è pari a $\rho_{\text{pareti}} = 50\%$, determinare:

- il flusso luminoso di ciascuna lampada;
- la potenza elettrica assorbita dall'impianto quando tutti gli apparecchi sono accesi.

Si assuma un fattore di manutenzione ordinario (0,8) e un'altezza del compito visivo pari a 85 cm.

✕ **Esercizio 3**

Astolfi A., Corrado V., *Applicazioni di Illuminazione e Acustica*, Celid, Torino 2012 - Esercizio 23, p. 45.

Si prevede di illuminare una sala da lettura, di pianta rettangolare avente dimensioni 10 m x 5 m, con apparecchi rettangolari per illuminazione diretta-indiretta equipaggiati con due lampade fluorescenti tubolari, di potenza di 36 W ciascuna e flusso luminoso emesso di 2800 lm (per il fattore di utilizzazione vedere la tabella in appendice).

Le dimensioni dell'apparecchio, montato a soffitto, sono 125 cm x 31,2 cm. Il locale è alto 2,9 m, i compiti visivi di lettura e scrittura sono posti a 85 cm dal pavimento. I coefficienti di riflessione di soffitto, pareti e pavimento della sala sono rispettivamente pari a 75% e 30%. Si assuma un coefficiente di manutenzione pari a 0,7. Si determini:

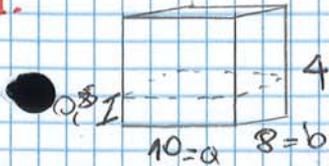
- il valore di illuminamento medio di esercizio E_m raccomandato per il tipo di compito visivo;
- il numero di apparecchi necessari a garantire l'illuminamento medio di esercizio E_m raccomandato;
- l'illuminamento medio a impianto nuovo $E_{m,N}$ e l'illuminamento medio di esercizio E_m .

Si dimostri la convenienza economica dell'impianto di illuminazione proposto rispetto ad uno a lampade ad incandescenza. Si assuma il costo dell'apparecchio di illuminazione per lampade fluorescenti tubolari (lampade escluse) pari a 224,70 euro; il costo di una lampada fluorescente tubolare tipo OSRAM 36 W (120 cm) pari 5,89 euro (con una durata di 10000 ore); il costo di un apparecchio di illuminazione per lampade ad incandescenza pari a 10,00 euro (per una lampada) e il costo di una lampada ad incandescenza con riflettore tipo OSRAM 100 W pari a 2,17 euro (con durata di 1000 ore, flusso nominale emesso 1110 lm). In questo caso si assuma per semplicità il coefficiente di utilizzazione pari a 0,75 e il coefficiente di manutenzione pari a 0,8. Il costo dell'energia elettrica è pari a 0,40 euro/kWh. Si assuma la vita degli apparecchi, nei due casi, pari a 40000 ore.

METODO DEL FLUSSO TOTALE

14/12/2015

1.



$$\epsilon_{\text{PARETI}} = 50\%$$

$$\epsilon_{\text{SOFFITTO}} = 75\%$$

$$\mu = 0,8$$

$$n_{\text{app}} = 15 \quad \text{o} \quad 2 \text{ lampade}$$

$$W = 55 \text{ W}$$

$$\eta = 90 \text{ lm/W}$$

(a) $E_m = ?$

(b) $E_{m,n} = ?$

(c) $n_{\text{app}}^e = ?$

Siamo nel IV caso della tabella "Apparecchio aperto con riflettore in alluminio, lampade tubolari fluorescenti"

$$d. \quad i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a+b)} = \frac{10 \cdot 8}{(4 - 0,85) \cdot (10+8)} = 1,49;$$

$$\Rightarrow U = 0,28 \quad (\text{valore da tabella})$$

$$\Phi_{\text{lamp}} = W \cdot \eta = 55 \cdot 90 = 4950 \text{ lm}$$

$$\Phi_t = 4950 \cdot 15 \cdot 2 = 148500 \text{ lm}$$

↑ apparecchi ↑ lampade

$$E_m = \frac{\Phi_t \cdot U \cdot \mu}{A} = \frac{148500 \cdot 0,28 \cdot 0,8}{80} = 416 \text{ lx}$$

↑ darebbe essere 500 per rispettare E_p normativa

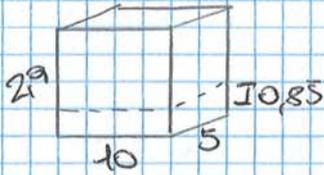
$$b. \quad E_{m,n} = \frac{\Phi_t \cdot U}{A} = \frac{148500 \cdot 0,28}{80} = 520 \text{ lx};$$

$$c. \quad \Phi_t = \frac{E_m \cdot A}{U \cdot \mu} = \frac{500 \cdot 80}{0,28 \cdot 0,8} = 267857 \text{ lm}$$

$$n_{\text{lamp}} = \frac{\Phi_t}{\Phi_{\text{lamp}}} = \frac{267857}{4950} = 54 \quad (\text{ARROTONDARE A UN NUMERO INTERO PARI})$$

$$n_{\text{app}} = \frac{n_{\text{lamp}}}{2} = \frac{56}{2} = 28$$

3. ~~$E_m = 500 \text{ lx}$~~



$E_m = 500 \text{ lx}$
 $\Phi_{\text{camp}} = 2800 \text{ lm}$
 $W_{\text{camp}} = 36 \text{ W}$

$\rho_{\text{soffitto}} = 75\%$

$\rho_{\text{pareti}} = 30\%$

$M = 0,7$

a. $i = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} = \frac{10 \cdot 5}{(2,9+0,85)(10+5)} = 1,63$

$U = 0,38$

$\Phi_t = \frac{E_m \cdot A}{U \cdot M} = \frac{500 \cdot 50}{0,38 \cdot 0,7} = 93985 \text{ lm}$

- ⓐ $E_m = ?$ (staccando dato per il campo visivo)
- ⓑ $N_{\text{app}} = ?$
- ⓒ $E_m, N = ?$ $E_m = ?$

b. $n_{\text{camp}} = \frac{\Phi_t}{\Phi_{\text{camp}}} = \frac{93985}{2800} = 34$ $N_{\text{app}} = 34/2 = 17$ $\eta_{\text{camp}} = \frac{2800}{36} = 78 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

c. $E_{m, \text{min}} = \frac{\Phi_{t, \text{nom}} \cdot U}{A} = \frac{95200 \cdot 0,38}{50} = 724 \text{ lx}$

nominale $E_m = \frac{\Phi_{t, \text{nom}} \cdot U \cdot M}{A} = \frac{95200 \cdot 0,38 \cdot 0,7}{50} = 506 \text{ lx}$

$\Phi_{t, \text{nom}} = 34 \cdot 2800 = 95200 \text{ lm}$

↑ è + di 500 perché

abbiamo considerato il numero di lamp. per eccesso.

$\text{Costo}_{\text{camp}} = 5,89 \text{ €}$ $D_{\text{camp}} = 10000 \text{ h}$

$C_{\text{app}} = 224,40 \text{ €}$ $D_{\text{app}} = 40000 \text{ h}$

CALCOLO ECONOMICO:

debbono fare il calcolo per il secondo impianto e poi confrontare con il

$U' = 0,75$ $M' = 0,8$ $\Phi'_{\text{camp}} = 110 \text{ lm}$ $W_{\text{camp}} = 100 \text{ W}$

$\eta'_{\text{camp}} = \frac{110}{100} = 1,1 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

$\Phi'_t = \frac{500 \cdot 50}{0,75 \cdot 0,8} = 41667 \text{ lm}$

$n_{\text{camp}} = \frac{41667}{110} = 38$

$N_{\text{app}} = n_{\text{camp}}$ (poiché sono apparecchi che montano due solo lampadine)