NUMERO : 262 DATA : 05/03/2012

A P P U N T I

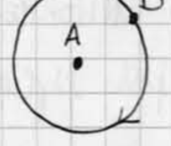
STUDENTE : Raguseo

MATERIA : Fisica Tecnica Ambientale II
Prof. Corrado

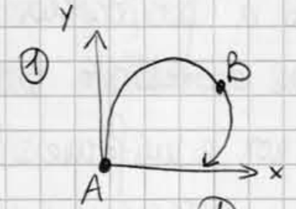
3/11/10

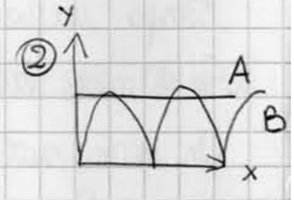
3 ore di lezione + 2 esercizi e 1 lezione. La legislazione impone utilizzo di isolanti di 10 cm, usare serramenti a taglio termico e vetri camera basso-emissivi, schermature per il controllo solare delle finestre (...).
MECCANICA → movimento dei corpi. TERMOLOGIA → temperatura. Anche l'aria è un fluido. Aria umida è vapore acqueo. Circola nei canali dell'aria condizionata. Vapore acqueo → passa attraverso le pareti (può causare la formazione di CONDENSA → dovuta ad errata progettazione)

RICHIAMI di MECCANICA 3 branche: ① CINEMATICA, ② STATICA e ③ DINAMICA.
① Non tratta le cause del movimento → lo descrive. ② Studia la causa del movimento, l'equilibrio dei corpi. ③ Mette insieme causa ed effetto.
① EFFETTO, ② CAUSA, ③ CAUSA ed EFFETTO. Cinematica e dinamica → soprattutto nei fluidi. Moto di un punto materiale ⇒ è un corpo ⇒ quando le distanze percorse sono molto > rispetto al corpo/oggetto. Punto geometrico non ha dimensioni. Bisogna definire la posizione tramite la terna x, y, z (basta questa perché è un semplice punto).
La traiettoria è la linea che unisce le posizioni occupate dal punto.
↳ i suoi punti sono infiniti! Sistema di riferimento è quello cartesiano ⇒ 3 rette ortogonali si incontrano in O (origine). 3 sono le coordinate di ∀ punto rappresentato. Se il punto materiale muove su un piano bastano 2 coordinate/dimensioni. Il sistema può essere fermo o in moto.
Es. ruota di una bici.



A: centro della ruota
B: valvola di gonfiaggio





2 possibilità: sistema di assi fermo o in movimento. ① Per un osservatore in movimento lungo la traiettoria della bici A è fermo e B si muove in senso circolare. ② Se l'osservatore è fermo A ha traiettoria rettilinea e B simil sinusoidale.

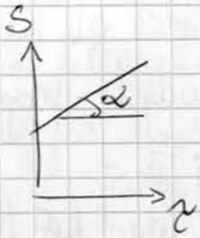
È quello dei corpi che si lasciano cadere nell'atmosfera. (se non ci fosse nessun attrito). $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ $\Delta v = a \cdot \Delta t$ Se $t=0 \rightarrow v = v_0$ (vel. iniziale) $\Rightarrow$

$$v - v_0 = \Delta v = a \cdot (t - 0) \rightarrow \boxed{v = v_0 + at}$$

Posso legare variazioni finite di spostamento e tempo purché si usi una velocità media e non istantanea.

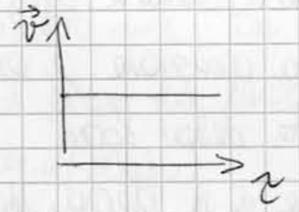
$t = 0$ $s = s_0$ $v = v_0$ $\Rightarrow \boxed{s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2}$ (è una legge quadratica)

MOTO UNIFORME

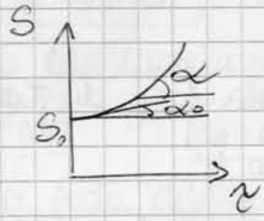


$s = s_0 + v \cdot t$

$tg\alpha = v$

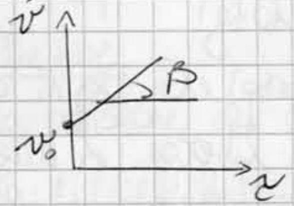


MOTO VARIO



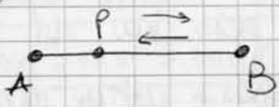
$tg\alpha = v$

$tg\alpha_0 = v_0$



$tg\beta = a$

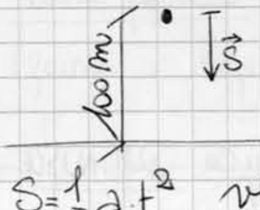
MOTO OSCILLATORIO



Da A a B e da B ad A per 2 o più volte nello stesso modo.

Es. Terra che ruota attorno al Sole.

Moto si definisce:
1) OSCILLAZIONE COMPLETA $\rightarrow$ mov. di a/r $\rightarrow$ A-B-A
2) PERIODO $\rightarrow$ tempo impiegato dal punto per compiere una oscillazione completa. $[T] = s$
3) FREQUENZA $\rightarrow$ numero di oscillazioni complete nell'unità di tempo. $[f] = s^{-1} = Hz$



$a = 10 \frac{m}{s^2} = \text{cost}$. Determinare il tempo che occorre all'arrivo e la velocità di arrivo. $t=0$ $s_0 = 0$ $v_0 = 0$

$S = \frac{1}{2} a t^2$ $v = a \cdot t$

$$\begin{cases} s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \\ v = a \cdot t \end{cases} \quad \begin{cases} 100 = \frac{1}{\cancel{2}} \overset{5}{\cancel{10}} \cdot t^2 \\ v = a \cdot t \end{cases} \quad \begin{cases} t^2 = 20 \\ v = 10 \cdot t \end{cases} \quad \begin{cases} t = 4,5\, s \\ v = 45 \frac{m}{s} \end{cases}$$

3) "Ad ogni ~~reazione~~ azione corrisponde una reazione uguale e contraria". La forza peso è esercitata dalla massa della terra su un corpo (e vev.)
$a = \frac{F}{m}$ → se m è grande a è piccola (e vev.)

LAVORO E POTENZA. Lavoro è prodotto scalare di forza e spostamento.
$L = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos\alpha$ $\quad L = \vec{F} \times \vec{s}$ $\quad [L] = J$

Un corpo è sottoposto a 3 forze: gravitazionale, opposta ad essa e quella agente. Solo l'ultima compie lavoro, ma se e solo se avviene spostamento. Se sollevo un libro verso l'alto, la forza di gravità opposta a quella che esercito è negativa, perché $\cos\alpha = \cos 180° = -1$. Se il lavoro è positivo, fornisco energia al corpo; se negativo, il corpo dà energia all'ambiente.

$\boxed{P = L/\Delta t}$ $\quad [P] = W \quad W = J/s$ (energia/tempo)

Kwh è udm dell'ENERGIA. Kwh = 1000 W · 3600 s = $3{,}6 \cdot 10^6$ J

ENERGIA MECCANICA. È un'energia macroscopica. È la somma di energia cinetica ed energia potenziale. $Em = Ec + Ep$

$\boxed{Ec = \frac{1}{2} m v^2}$ $\quad \boxed{Ep = mgz}$ (è legata alla posizione del corpo)
z è la quota del corpo stesso. $Ep = G \cdot z$ (Ep è definita risp. a uno ϕ che definiamo noi) $\boxed{Em = \frac{1}{2} m v^2 + mgz}$

FLUIDI Il fluido è una sostanza o miscela allo stato LIQUIDO o AERIFORME.
Ci sono 3 stati: 1) SOLIDO → ha forma e volume propri
2) LIQUIDO → ha volume proprio ma non forma
3) GASSOSO → non ha né forma né volume propri

Il liquido si dispone in basso e definisce un PELO LIBERO → superficie orizzontale.
Gli aeriformi si possono espandere o comprimere, i liquidi no.
Fluidi pesanti → quelli soggetti alla forza di gravità, che si dispongono in basso (quindi i liquidi).

fluido fermo/in quiete.
Ne prendo una porzione irregolare, che diventa il nostro sistema. Il fluido esterno scambia forze con esso. (di superficie → ⊥ alla superf. considerata)

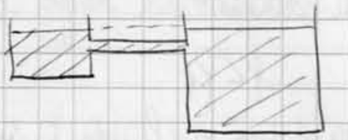
Se in aula abbiamo $p = 100'000$ Pa, essi sono dovuti alla pressione esercitata dall'aria presente in atmosfera. La pressione è quantificabile:

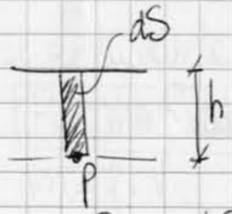
(press. relativa) $\boxed{p = \underbrace{\rho}_{\text{massa volumica}} \cdot g \cdot h} \to$ dislivello piano considerato - superficie

$$[p] = \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = \frac{kg}{ms^2} = Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot m^2} = \frac{kg}{ms^2}$$

$p = \rho \cdot g \cdot h \Rightarrow$ con qst formula considero solo la pressione relativa $\to$ considera la p esercitata dalla colonna d'acqua, e non anche dalla p. atmosferica (che è ca. 100'000 Pa).

Conseguenza: dati 2 vasi comunicanti, parzialmente riempiti con liquido, il fluido si dispone così che le 2 sup. libere risultano orizz. e alla stessa quota se agisce su esse la stessa pressione (es. p. atm)





Cilindretto ha come base un'area infinitesima costruita intorno a P, e come altezza h. La pressione in P dipende dal peso di tutto il liquido soprastante. $dF = dG =$ peso della colonna di fluido

$$p = \frac{dF}{dS} = \frac{dG}{dS} = \frac{dm \cdot g}{dS} = \frac{\rho \cdot \cancel{dS} \cdot h \cdot g}{\cancel{dS}} = \rho \cdot g \cdot h \quad (dm = \rho \cdot dV \Rightarrow dV = dS \cdot h)$$

Se consideriamo che sul pelo libero c'è una pressione esistente (quella atmosferica), allora: $\boxed{p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h}$ (pressione ASSOLUTA).

$\boxed{p_{ass} = p_{atm} + p_{rel}}$ Quando si è sotto p_{atm}, quella relativa è negativa.

Es. $h = 30\,m$

$\rho_{H_2O} = 1000\,kg/m^3$ (acqua distillata) (si arrotonda fino a 3,4 cifre significative)

$p_{rel} = 1000\,kg/m^3 \cdot 9{,}81\,m/s^2 \cdot 30\,m = 294\,000\,Pa$

$p_{ass} = 294'000\,Pa + 101'000\,Pa = 395'000\,Pa$

! Ogni 10 metri si ha ca. un aumento di pressione corrispondente a quella atm (nel caso dell'acqua).

Il moto di un fluido è spesso condizionato dalla temperatura. Vd. massa volumica: l'aria si dilata per effetto di aumenti di temperatura, quindi suo volume aumenta.
Aria calda → determinazione di MOTI CONVETTIVI.
Si parla di DINAMICA se considero solo velocità e pressione, di TERMOFLUIDODINAMICA se considero anche la temperatura.
Nella dinamica dei fluidi:

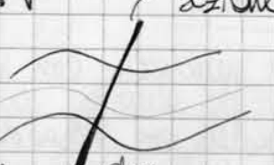
1) non si considerano i fenomeni termici (es. quando campi di temp. sono poco variabili, quindi trascurabili);
2) il moto è stazionario e unidimensionale (la velocità varia in fz. delle coordinate spaziali ma non in fz. del tempo). L'opposto è il moto transitorio/dinamico;
3) il fluido è incomprimibile. (ρ è costante al variare della pressione).

* Ci sono delle turbolenze → componenti irregolari di velocità ≠ da quelle del moto. Quindi la velocità non segue esattamente la direz. radiale del percorso che deve compiere!

da 3) è molto corretta x i liquidi, non x gli aeriformi! Solo con approssimazione è applicabile x l'aria in un condotto.

PORTATA VOLUMETRICA. Considero un fluido che si muove in un condotto.

$m = \rho \cdot V$



m = massa di fluido che attraversa la sezione in intervallo di tempo τ.

$$\dot{m} = \frac{m}{\tau} = \frac{dm}{d\tau}$$ => gli infinitesimi sono trascurabili xké le condiz. sono stazionarie.

(portata massica (o in massa) → puntino indica derivata rispetto al tempo).

$$\dot{m} = \frac{m}{\tau} = \frac{\rho \cdot V}{\tau} = \rho \cdot \frac{V}{\tau}$$

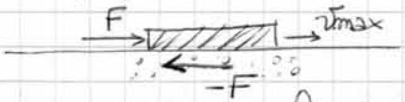
PORTATA VOLUMICA/VOLUMETRICA: $\dot{V} = \frac{V}{\tau} = \left[\frac{m^3}{s}\right]$

$[\dot{m}] = \frac{kg}{s}$ $\qquad [\dot{V}] = \frac{m^3}{s} = \frac{l}{s}$

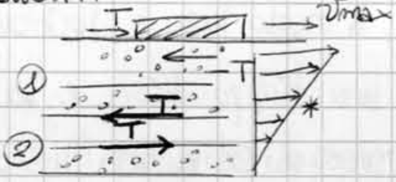
Es. $\dot{V} = 10'000 \frac{l}{h} = 10'000 \frac{10^{-3} m^3}{3600 s} = 0,03 \frac{m^3}{s}$

! Se $y=0 \rightarrow v=0$; se $y=h \rightarrow v=v_{max}$.

Quali sono le forze in gioco? Per mantenere v_{max} bisogna applicare alla tavola una certa forza F (per mantenere il moto rettilineo uniforme).



-F è esercitata dalle particelle di fluido sottostante → esercitano forza frenante/di attrito, e sono scambiate tangenzialmente (quindi $F=T$, $-F=-T$). Gli sforzi si propagano anche in profondità.



① esercita forza d'attrito su ②
② " forza frenante su ①

Gli sforzi tangenziali si verificano quando 2 strati di fluido scorrono l'uno sull'altro a diverse velocità.

$\tau = \dfrac{T}{A}$

↓
tensione tangenziale → è una pressione // alla superficie

⊥ al piano di scorrimento

C'è diretta proporzionalità tra τ e gradiente di velocità $\Rightarrow \tau \propto \dfrac{v_{max}}{h}$. Quindi tanto più è inclinata la retta* tanto più sono grandi le τ.

$\tau \propto \dfrac{dv}{dy} \Rightarrow \boxed{\tau = \mu \cdot \dfrac{dv}{dy}}$ ⇒ vale ∀ volta che un fluido si muove e c'è un gradiente di velocità.

μ è la costante di proporzionalità ⇒ è la VISCOSITÀ DINAMICA (propr. del fluido). μ è funzione delle forze d'attrito presenti nel fluido. Es. l'acqua è meno viscosa dell'olio, ma più densa di esso.

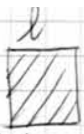
$[\mu] = \dfrac{[N/m^2]}{\left[\frac{m/s}{m}\right]} = \left[\dfrac{kg}{m \cdot s}\right]$

L'aria ha una viscosità che è ca. $10^{-5} \dfrac{kg}{m \cdot s}$, l'acqua $10^{-3} \dfrac{kg}{m \cdot s}$.

$\boxed{\text{VISCOSITÀ CINEMATICA}}$: $\nu = \dfrac{\mu}{\rho}$ $\quad [\nu] = \left[\dfrac{m^2}{s}\right]$

Se il gradiente è $\neq 0$ si generano sforzi tangenziali (purché ci siano ≠ velocità).

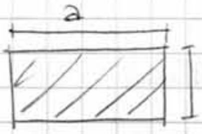
Es.



$D^* = ?$

$$D^* = \frac{4A}{P} = \frac{\cancel{4}\,l^{\cancel{2}}}{\cancel{4}\cancel{l}} = l$$

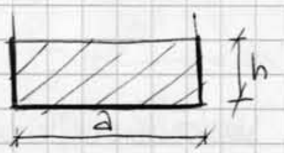
Es.



$D^* = ?$

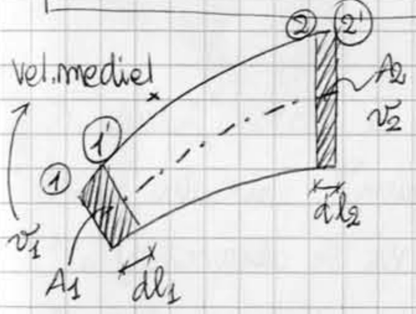
$$D^* = \frac{4A}{P} = \frac{4a\cdot b}{2(a+b)} = \frac{2ab}{(a+b)}$$

Es.



! Il perimetro bagnato è dato da superficie di contatto tra contenitore e fluido. $D^* = \frac{4a\cdot h}{(a+2h)}$

PRINCIPIO della CONSERVAZIONE della MASSA



Ho una sezione variabile e il condotto è in salita. La massa del sistema all'istante $\tau_0 + d\tau$ (massa finale) è uguale alla massa del sistema all'istante τ_0 (massa iniziale). Considero il fluido compreso fra le 2 sezioni. Lo spostamento in avanti è infinitesimo (della sez. 1 risp. a 1', e 2 risp. a 2').

In condizioni stazionarie la portata in massa che attraversa ogni sezione del condotto è sempre la stessa: $\boxed{\dot m_1 = \dot m_2}$ La massa non si crea né si distrugge (accade solo nelle reazioni nucleari)

$m_{1,2}^{(\tau_0)} = m_{1',2'}^{(\tau_0+d\tau)}$ → si può scrivere indipendentemente dall'istante (le condizioni sono stazionarie)

$$dm_{11'} + \cancel{m_{1'2}} = \cancel{m_{1'2}} + dm_{22'} \Rightarrow \boxed{dm_{11'} = dm_{22'}}$$

Divido per $d\tau$ ⇒ $\underbrace{\frac{dm_{11'}}{d\tau}}_{\dot m_1} = \underbrace{\frac{dm_{22'}}{d\tau}}_{\dot m_2}$

La portata in massa si conserva in tutte le sezioni del condotto. Ma quando $\dot V_1 = \dot V_2$? Se $\dot m_1 = \rho_1 \dot V_1$ $\dot m_2 = \rho_2 \dot V_2$ ⇒ $\dot V_1 = \dot V_2$ se $\rho = cost.$

$\rho \cdot g \cdot z_1 + p_1 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_1^2 = \rho \cdot g \cdot z_2 + p_2 + \frac{1}{2}\rho \cdot v_2^2$

$\boxed{\underbrace{\rho \cdot g \cdot z + p}_{\text{legato a } E_p} + \underbrace{\frac{1}{2}\rho \cdot v^2}_{\text{legato a } E_c} = cost.}$

p = pressione statica [Pa]

$\frac{1}{2}\rho \cdot v^2$ = pressione dinamica [Pa]

$p + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2$ = pressione totale [Pa]

Il principio di cons. dell'energia meccanica afferma che la somma delle 3 pressioni resta costante.

10/11/10

L'eq. di Bernoulli può essere espressa sotto forma di altezze → dividendo per $\rho \cdot g$.

$\boxed{z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = cost.}$ → sono 3 altezze → [m]. Si può scegliere di applicare le 2 formule indifferentemente.

z = altezza geometrica [m]

$\frac{p}{\rho g}$ = altezza di pressione [m]

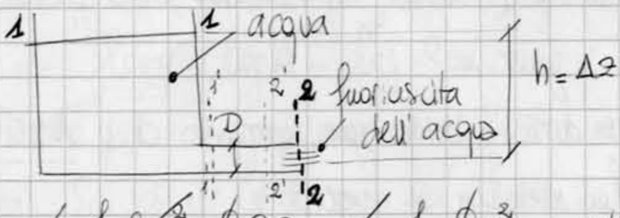
} la somma è l'ALTEZZA PIEZOMETRICA

$\frac{v^2}{2g}$ = altezza cinetica/cinematica/di arresto [m]

"Di arresto" perché se un fluido ha una v certa, il fluido stesso si ferma alla terza altezza. Quando ho una sezione la quota z è riferita al suo baricentro (riferimento all'asse del condotto). Se il piano di riferimento cambia, l'equazione resta invariata. Anche la pressione statica deve essere la stessa (p_1 e p_2) => possono essere o entrambe assolute o entrambe relative.

La velocità è quella media della sezione ~~nei~~ nei fluidi reali non è costante (vd moto laminare e turbolento).

ES.



$\cancel{\rho} g z_1 + \cancel{p_1} + \frac{1}{2}\cancel{\rho} v_1^2 = \cancel{\rho} g z_2 + \cancel{p_2} + \frac{1}{2}\cancel{\rho} v_2^2$ → vale x qualunque coppia di sezioni.

Se la sezione non cambia la portata in volume resta costante come la velocità. Ma non conosco né v_1 e v_2 né p_1 e p_2 (scegliendo le sezioni come indicate).

Scelgo sez. 2 in corrispondenza dello sbocco (contatto con atm), e sez. 1 in corrisp. del pelo libero del serbatoio (contatto con atm). La p atm è costante.

PERDITE di PRESS. DISTRIBUITE

$$\boxed{\Delta p_d = \underbrace{\frac{\rho v^2}{2}}_{\text{press. cinetica}} \cdot \frac{L}{D} \cdot f}$$

$$\boxed{\Delta H_d = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{L}{D} \cdot f}$$

L = lunghezza condotto

f = coefficiente d'attrito (dipende dalle caratt. moto)

PERDITE di PRESS. CONCENTRATE

$$\boxed{\Delta p_c = \frac{\rho v^2}{2} \cdot \beta}$$

$$\boxed{\Delta H_c = \frac{v^2}{2g} \cdot \beta}$$

β = coefficiente di perdita concentrata (si può trovare con esperimenti)

I valori di β sono già tabulati → non trovabili con delle formule. f e β → ADIMENSIONALI

Per moto laminare (che avviene a basse velocità):

$$\boxed{f = 64/N_{Re}}$$

Per moto turbolento f dipende da N_{Re} e dalla SCABREZZA del CONDOTTO. Quindi $f = \text{funz.}(N_{Re}, \varepsilon)$. Esaminando la sup. interna del condotto, che al tatto sembra liscia, ha una serie di asperità. Definisco h media delle asperità (in millesimi di mm) e trovo la scabrezza assoluta ($10^{-5}/10^{-4}$ m).

e → scabrezza assoluta [m]

ε → scabrezza relativa $\boxed{\varepsilon = \frac{e}{D}}$ [-]

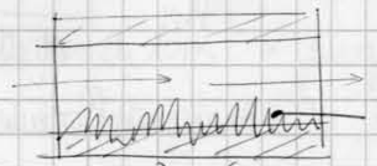


DIAGRAMMA di MOODY. Asse y: f (o anche λ). È espresso su scala logaritmica. Asse x: N_{Re}. Sempre su scala logaritmica.

D.st. tra 10000 e 100000 è stessa tra 100000 e 1000000 (ad esempio). La retta in diagramma rappresenta il moto laminare → $f = 64/N_{Re}$. Dovrebbe essere $y = \frac{A}{x}$, cioè un iperbole ⇒ ma in scala logaritmica diventa una retta.

$y = \frac{A}{x} \Rightarrow \log y = \log A - \log x$

Ogni curva sul diagramma è riferita a un preciso valore della scabrezza relativa. Sul diagr. è ε, ma va sostituita con e. I valori si leggono sulla sx.

La curva più bassa è quella in cui non c'è scabrezza → "tubi lisci".

MOTO LAMINARE → non considero la scabrezza! Le curve hanno andamento decrescente. Se N_{Re} aumenta, f diminuisce. Se la curva è orizzontale, vado a leggere il valore della sc. relativa (se N_{Re} ha valori elevati).

11/11/10

ESERCITAZIONE

Es. 1 - Richiami di meccanica

$\tau = 1\ min = 60\ s$

$m = 60\ kg$

$h = 10\ m$

$L = ?$ $W = ?$

$L = F \cdot s$ $[J] = [N] \cdot [m]$ $L = m \cdot g \cdot s$

$L = m \cdot g \cdot s = 60\ kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 10\ m = 5886\ J$

$W = \frac{L}{\tau} = \frac{5886\ J}{60\ s} = 98{,}1\ W$

L'en. meccanica del corpo è la somma di en. cinetica ed en. potenziale. $E_m = E_c + E_p$

A 10 m di altezza il corpo possiede solo E_p ($E_c = 0$ perché è fermo).

$E_p = m \cdot g \cdot z = 60 \cdot 9{,}81 \cdot 10 = 5886\ J$ => è il lavoro!

$L = F \cdot s = m \cdot g \cdot s = 60 \cdot 9{,}81 \cdot 10 = 5886\ J$

lavoro compiuto dal sacco per cadere dall'altezza di 10 m. L'energia immagazzinata dal corpo è ceduta sotto forma di lavoro. E_p diventa ϕ.

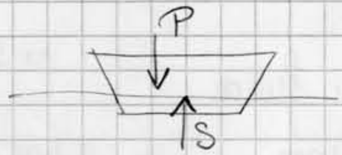
Es. 2 - Statica dei fluidi

$m = 15\ t = 15000\ kg$ $\rho = 1030\ kg/m^3$

$m_{p,max} = 5000\ kg$

$V_{fsp} = ?$ (quando è scarica)

$V'_{fsp} = ?$ (quando è a pieno carico)



=> galleggia quando è in equilibrio.

Data ρ, la massa è pari a $V \cdot \rho$ $m = V \cdot \rho$ => $[kg] = [m^3]\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Le 2 forze hanno uguale intensità ma verso opposto. Perché il corpo galleggi deve essere $P = S$.

$P = m_i \cdot g$ (della barca scarica) $S = m_a \cdot g = V_a \cdot \rho_a \cdot g$ (dell'acqua)

$P = S \rightarrow m_i \cdot \cancel{g} = V_a \cdot \rho_a \cdot \cancel{g}$ => $V_a = \frac{m_i}{\rho_a} = \frac{15000\ kg}{1030\ \frac{kg}{m^3}} = 14{,}56\ m^3$

$P' = (m_i + m_{p,max}) \cdot g = (15000\ kg + 5000\ kg) \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 196200 \frac{kg \cdot m}{s^2}$

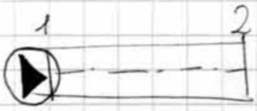
$p_2 = p_1 + \rho \cdot g\,(z_1 - z_2)$

$p_2 = 800\,000\ Pa + 1000\ kg/m^3 \cdot 9{,}81\ m/s^2\ (15-40)\,m = 554\,750\ Pa = 5{,}55\ bar$

La pressione da 1 a 2 è diminuita => perché c'è stato un dislivello. Se avessimo avuto perdite di carico il valore sarebbe stato più basso.

$p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \frac{1}{2} m v_1^2 + \Delta p_{pompa} = p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \frac{1}{2}\rho\, v_2^2 + \Delta p_{1,2}$ => per FLUIDO REALE

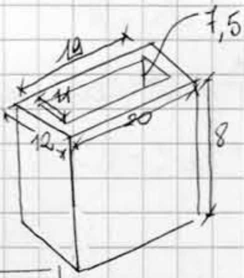
pressione aggiuntiva (grazie alla pompa) perdite di carico

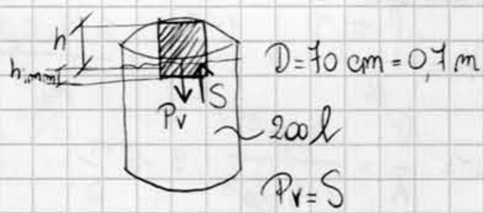


ES. 4 - Statica dei fluidi

$\rho_v = 2200\ kg/m^3$

$m_v = ?$ "v = vetro"





$P_v = m_v \cdot g = \rho_v \cdot V_v \cdot g$ $\boxed{m_v = \rho_v \cdot V_v}$

$V_v = V_{ve} - V_{vi} = (0{,}2 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}08) - (0{,}19 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}075) = 0{,}352 \cdot 10^{-3}\ m^3$

$P_v = \underbrace{2200}_{m_{as}}\ kg/m^3 \cdot 0{,}352 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot 9{,}81\ m/s^2 = 7{,}61\ N$ -> peso del recipiente

$S = \overbrace{V_{as} \cdot \rho_a}^{m_{as}} \cdot g = P_v = 7{,}61\ N$

(acqua spostata)

$V_{as} = \frac{S}{\rho_a \cdot g} = \frac{7{,}61}{1000 \cdot 9{,}81} = 0{,}775 \cdot 10^{-3}\ m^3$

$h = 0{,}08\ m - h_{imm}$ h_{imm} = altezza di immersione

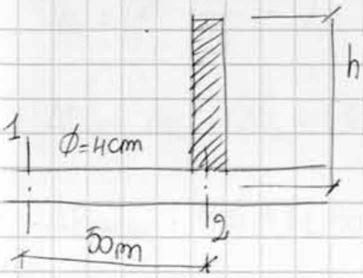
$h_{imm} = \frac{V_{as}}{A_{be}} = \frac{0{,}775 \cdot 10^{-3}}{0{,}2 \cdot 0{,}12} = 0{,}032\ m$

A_{be} = Area di base del cilindro "esterno"

$h = 0{,}08 - 0{,}032 = 0{,}0477\ m = 4{,}77\ cm$

18/11/10

ES 1



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

$\dot{V} = \left[\frac{m^3}{s}\right] \to \left[\frac{l}{s}\right]$ => se c'è qst allora si parla sempre di portata volumica

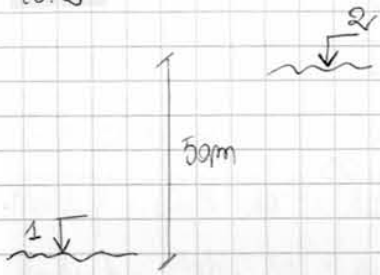
$\rho = \left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Se la sezione è costante, v non varia $\rightarrow v_1 = v_2$.

$\boxed{p_2 = p_1 - \Delta p_{1,2}}$ $\quad p_2 = 200\,000 - 151\,686 = 48\,314$ Pa

$$h = \frac{48314}{1000 \cdot 9,81} = 4,92 \text{ m}$$

ES. 2



$L = 300$ m

$D = \text{cost} = 25$ cm $= 0,25$ m

$\dot{m} = 160$ kg/s

$\rho = 900$ kg/m^3

$\nu = 2 \cdot 10^{-4}$ m^2/s

a) $$v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{m}}{\rho A} = \frac{160}{900\left(\frac{0,25}{2}\right)^2 \pi} = 3,6 \ \frac{m}{s}$$

b) $$\cancel{p_1} + \rho \cdot g \cdot z_1 + \cancel{\rho \frac{v_1^2}{2}} + \Delta p_{pompa} = \cancel{p_2} + \rho \cdot g \cdot z_2 + \cancel{\rho \cdot \frac{v_2^2}{2}} + \Delta p_{1,2}$$

$$\text{prevalenza} = \frac{\Delta p_{pompa}}{\rho \cdot g} \ [m] = \frac{716\,137}{900 \cdot 9,81} = 81 \text{ m}$$

$\underline{p_1 = p_2}$ => quando trovo "capacità infinita"

$z_1 \neq z_2$

$v_1 = v_2$ perché ho diametro costante

$$\Rightarrow \Delta p_{pompa} = \rho \cdot g \underbrace{(z_2 - z_1)}_{50m} + \Delta p_{1,2}$$

$$p_d = f \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$N_{Re} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{3,6 \cdot 0,25}{2 \cdot 10^{-4}} = 4500 \Rightarrow \text{MOTO TURBOLENTO}$$

dal diagramma $\rightarrow f = 0,038$

$$p_d = 0,038 \cdot \frac{300 \cdot 900 \cdot 3,6^2}{2 \cdot 0,25} = 265\,939,2 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_c = \beta \cdot \frac{\rho v^2}{2} = 1,5 \cdot \frac{900 \cdot 3,6^2}{2} = 8748 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{1,2} = \Delta p_d + \Delta p_c = 265\,939 + 8748 = 274\,687 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pompa} = 900 \cdot 9,81 \cdot 50 + 274\,687 = 716\,137 \text{ Pa}$$

ES 1 24/11/10

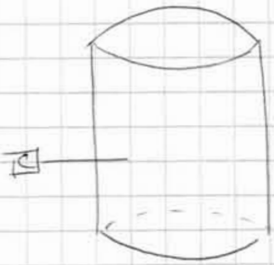
$\dot{Q}_u = 10\ kW = 10 \cdot 10^3 \frac{J}{s}$ 1) Q? 2) τ?

$t_i = 20°C$

$t_f = 30°C$ $\rho_{H_2O} = 1000 \frac{kg}{m^3}$

$r = 0{,}2\ m$

$h = 0{,}5\ m$



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

$m = V \cdot \rho = 62{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 62{,}8\ kg$

$V = A_b \cdot h = r^2 \pi h = 0{,}2^2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5 = 62{,}8 \cdot 10^{-3}\ m^3$

$c_{H_2O} = 4186\ J/kgK$

$Q = 62{,}8 \cdot 4186 (30 - 20) = 7890\ kJ = 7890 \cdot 10^3\ J$ $\quad [kg] \cdot \left[\frac{J}{kg°C}\right] \cdot [°C] = [J]$

la caldaia fornisce 10kJ/s. Quindi ricavo il tempo dividendo l'energia necessaria per la potenza termica fornita.

$\tau = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{7890 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 789\ s = 13' 9''$ $\quad [J] / \left[\frac{J}{s}\right] = [J] \left[\frac{s}{J}\right] = [s]$

$t'_f = 50°C$

$t'_i = 15°C$

$\dot{m}$? (uso la portata in massa e non la massa) → perchè riferita al tempo $\left[\frac{kg}{s}\right] \cdot \left[\frac{J}{kg°C}\right] [°C] = [W]$

$\boxed{\dot{Q} = \dot{m}\, c (t'_f - t'_i)}$

$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c(t'_f - t'_i)} = \frac{10 \cdot 10^3}{4186 (50 - 15)} = 0{,}068 \frac{kg}{s}$

ES. 2

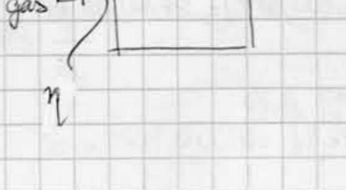
$V = 300\ m^3$ 1) Q? 2) $\dot{Q}$? 3) $\dot{V}$? supposto $\Delta t = 10°C$

$\tau = 4000\ h$

$V_{gas} = \frac{5\ m^3}{m^3\ edif.}$

$P_{c\,gas} = 40 \frac{MJ}{m^3}$

$\eta = 70\%$



$Q_{gas} = P_c \cdot V_{gas}$ $\quad V_{gas} = 5 \cdot 300 = 1500\ m^3 \Rightarrow Q = 40 \cdot 10^6 \cdot 1500 = 60 \cdot 10^9\ J = 60\ GJ$

$$t_m = \frac{t_1 m_1 + t_2 m_2}{m_1 + m_2} = \frac{40 \cdot 57{,}3 + 10 \cdot 30}{57{,}3 + 30} = 29{,}7\,°C$$

ES. 4

$m_r = 100\ g = 0{,}1\ kg$ $\qquad c_r = 3918 \frac{J}{kg\,°C}$

$m_a = 0{,}5\ kg \qquad t_{a,i} = 15\,°C$

$c_{H_2O} = 4186 \frac{J}{kg\,°C}$

$t_f = 24\,°C$

$Q_a = m_a c_a (t_{f_a} - t_{i_a})$

$Q_a = 0{,}5 \cdot 4186 (24 - 15) = 18837\ J$ → è l'acqua a ricevere calore, quindi Q è positivo

$\Rightarrow Q_r = -18837\ J$ → perché il cubetto cede calore (Q è negativo)

$-Q_r = m_r \cdot c_r (t_{f_r} - t_{i_r}) \rightarrow t_{i,r}$

$$t_{i,r} = t_{f,r} + \frac{Q_r}{c_r \cdot m_r} = 24 + \frac{18337}{3918 \cdot 0{,}1} = 50{,}8\,°C$$

2/12/16

Es. 2.3 pag. 35 - TRASFORMAZIONE di RISCALDAMENTO e UMIDIFICAZIONE

$\dot{m}_a = 1000 \frac{kg}{h} = \frac{1000}{3600} \frac{kg}{s} = 0{,}278 \frac{kg}{s}$ $\qquad$ 1) $x_1, h_1 = ?$ $\qquad$ 5) $\Delta \dot{m}_v = ?$ $\qquad x = \left[\frac{kg_v}{kg_a}\right]$

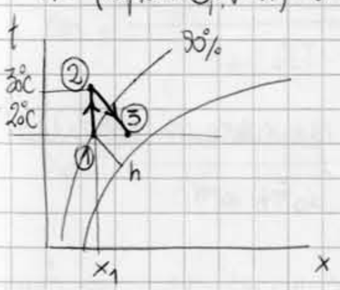
$t_1 = 20\,°C \qquad t_2 = 30\,°C \qquad t_3 = 20\,°C$ $\qquad$ 2) $h_2 = ?$ $\qquad t = [°C]$

$\varphi_1 = 50\%$ $\qquad$ 3) $\dot{Q}_{risc} = ?$ $\qquad \varphi = [\%]$

4) $x_3, \varphi_3 = ?$ $\qquad h = \left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$$x = 0{,}622 \cdot \frac{P_{vs}(t) \cdot \varphi}{p - P_{vs}(t) \cdot \varphi}$$

$$h = (c_{p,a} + c_{p,v} \cdot x) \cdot t + r_0 \cdot x$$



① $x_1 = 0{,}622 \cdot \frac{2338 \cdot 0{,}5}{101325 - 2338 \cdot 0{,}5} = 0{,}0073 \frac{kg_v}{kg_a}$

$h_1 = (1{,}006 + 1{,}875 \cdot 0{,}0073) \cdot 20 + 2501 \cdot 0{,}0073 = 38{,}65 \frac{kJ}{kg}$

La trasformazione è a titolo costante $\Rightarrow x_1 = x_2 = 0{,}0073 \frac{kg_v}{kg_a}$

② $h_2 = (c_{p,a} + c_{p,v} \cdot x_2) \cdot t_2 + r_0 \cdot x_2 = (1{,}006 + 1{,}875 \cdot 0{,}0073) \cdot 30 + 2501 \cdot 0{,}0073 = 48{,}85 \frac{kJ}{kg}$

③ $\dot{Q}_{risc} = \dot{m}_a (h_2 - h_1) = 0{,}278 (48{,}85 - 38{,}65) = 2{,}84\ kW$

④ $h_3 = h_2 = 48{,}85 \frac{kJ}{kg}$

Se $t_3 = 24°C \Rightarrow \dot{Q}_{risc} = \dot{m}_a (h_3 - h_2) = 2(54 - 46) = 16\ kW$

ES. 4 - RISCALDAM. con UMIDIFICAZIONE e POST-RISCALDAMENTO

$\dot{V}_a = 5000 \frac{m^3}{h} \longrightarrow$ di cui $\dot{V}_{ai} = 3000 \frac{m^3}{h}$ (di ricircolo) $\quad t_i = 20°C,\ \varphi_i = 55\%$

di cui $\dot{V}_{ae} = 2000 \frac{m^3}{h}$ (di rinnovo) $\quad t_e = 0°C,\ \varphi_e = 60\%$

$t_{mand} = 28°C,\ \varphi_{mand} = 45\%$

a) $t_m = ?$ $\quad$ b) $\dot{Q}_{risc} = ?$ $\quad$ c) $\Delta \dot{m}_v = ?$ $\quad \rho_a = 1{,}2 \frac{kg}{m^3}$

$x_m = ?$ $\quad \dot{Q}_{postrisc} = ?$

$h_m = ?$

$\varphi_m = ?$

$x_i = 0{,}008 \frac{kg_v}{kg_a}$ $\quad x_e = 0{,}0022 \frac{kg_v}{kg_a}$

$h_i = 40 \frac{kJ}{kg}$ $\quad h_e = 6 \frac{kJ}{kg}$

$$h_m = \frac{h_i \cdot \dot{m}_{ai} + h_e \dot{m}_{ae}}{\dot{m}_{ai} + \dot{m}_{ae}}$$

$\dot{m}_{ai} = \dot{V}_{ai} \cdot \rho_a$

$\dot{m}_{ae} = \dot{V}_{ae} \cdot \rho_a$

$$\dot{m}_{ai} = \frac{3000}{3600} \cdot 1{,}2 = 1\ kg/s$$

$$\dot{m}_{ae} = \frac{2000}{3600} \cdot 1{,}2 = 0{,}667\ kg/s$$

$$h_m = \frac{40 \cdot 1 + 6 \cdot 0{,}667}{1 + 0{,}667} = 26 \frac{kJ}{kg}$$

$$x_m = \frac{x_i \cdot \dot{m}_{ai} + x_e \cdot \dot{m}_{ae}}{\dot{m}_{ai} + \dot{m}_{ae}} = \frac{0{,}008 \cdot 1 + 0{,}0022 \cdot 0{,}667}{1{,}667} = 0{,}0056 \frac{kg_v}{kg_a}$$

$\underset{\pi\text{-}B}{\dot{Q}_{risc}} = \dot{m}_a \cdot (h_B - h_m) = 1{,}667 (43{,}4 - 26) = 29\ kW$

$h_A = h_B$

$(\dot{m}_a = 1{,}667)$

(A) $x_A = x_{mand}$

$\varphi_A = 100\%$

Noi conosciamo la t_{s1} e la t_{23} => dobbiamo trovare la t_{12} e la t_{s3}.

$$\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{1}{\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2}} (t_{s1} - t_{23}) = \frac{1}{\frac{0{,}02}{0{,}9} + \frac{0{,}08}{0{,}04}} (20 - 10) = 4{,}945 \ \frac{W}{m^2}$$

Per ricavare t_{12} possiamo usare ad esempio $\frac{1}{R_1}(t_{s1} - t_{1,2})$

$$t_{12} = t_{s1} - \frac{\dot{Q}}{A} \cdot R_1 = 20 - 4{,}945 \left(\frac{0{,}02}{0{,}9} \right) = 19{,}9 °C \qquad R_1 = \frac{S_1}{\lambda_1}$$

Per ricavare la t_{s3}, possiamo usare, ad esempio, $\frac{1}{R_3}(t_{2,3} - t_{s3})$

$$t_{s3} = t_{2,3} - \frac{\dot{Q}}{A} \cdot R_3 = 10 - 4{,}945 \left(\frac{0{,}2}{1{,}6} \right) = 9{,}4 °C$$

$$R_{TOT} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} = \frac{0{,}02}{0{,}9} + \frac{0{,}08}{0{,}04} + \frac{0{,}2}{1{,}6} = 2{,}15 \ \frac{m^2 K}{W}$$

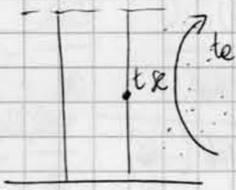
$$\Lambda = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{2{,}15} = 0{,}47 \ \frac{W}{m^2 K}$$

! $\frac{1}{\Sigma \frac{s}{\lambda}} = \Lambda$ => non è come dire $\Sigma \frac{\lambda}{s}$!!

! La somma delle resistenze, poi, non considera anche quelle liminari (influenzate dallo scambio con l'ambiente). Non si parlerà più di conduttanza ma di trasmittanza.

ES. 3 - CONVEZIONE

$\frac{\dot{Q}}{A} = 40 \ \frac{W}{m^2}$



$\frac{\dot{Q}}{A} = h_c (t_{se} - t_e)$

$t_e = 2 °C$ $\quad t_{se} = ?$

$t_{se} - t_e > 0$ => $t_{se} > t_e$ => flusso entrante (positivo)

$h_c = 15 \ \frac{W}{m^2 K}$

$$t_{se} = t_e + \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{h_c} \Rightarrow t_{se} = 2 + 40 \cdot \frac{1}{15} = 4{,}7 °C$$

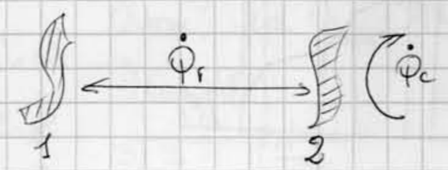
ES. 4 - CONVEZIONE e IRRAGGIAMENTO

$A_1 = A_2 = 1 \ m^2$ $\qquad$ 1) $F_{1,2} = ?$ $\quad F_{2,1} = ?$

$t_1 = 1500 °C = 1773{,}15 K$ $\qquad$ 2) $h_r = ?$

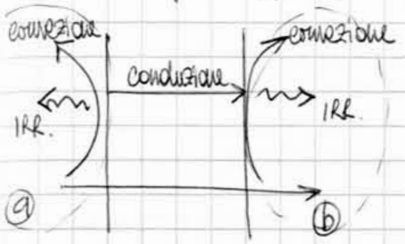
$t_2 = 500 °C = 773{,}15 K$ $\qquad$ 3) $\dot{Q}_c$ (tra sup. 2 e ambiente) = ?

$\dot{Q}_i = 250 \ kW$ $\qquad$ $t_a = 26 °C$, $h_c = 1{,}5 \cdot \Delta T^{0{,}5}$



$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \Sigma \frac{s}{\lambda} + \Sigma R + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0{,}02}{0{,}8} + \frac{0{,}12}{1} + 0{,}16 + \frac{0{,}12}{1} + \frac{0{,}02}{0{,}08} + \frac{1}{8}} = 1{,}43 \ \frac{W}{m^2 K}$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \left(t_a - t_b\right) = 1{,}43 \cdot 10 \left(20 - 10\right) = 143 \ W$$



$\dot{\Phi} = h_i \cdot A\left(t_a - t_{p,a}\right) \Rightarrow$ flusso termico a sx

$\dot{Q} = h_e \cdot A\left(t_{p,b} - t_b\right) \Rightarrow$ " " " dx

$$\dot{Q} = \frac{1}{\Sigma R} \cdot A \cdot \left(t_{p,a} - t_{p,b}\right) \qquad \Sigma R \to \Lambda$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \left(t_a - t_b\right)$$

$$t_{p,a} = t_a - \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{h_i} = 20 - \frac{143}{10} \cdot \frac{1}{8} = 18{,}2\,^\circ C$$

$$t_{p,b} = t_b + \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{h_e} = 10 + \frac{143}{10} \cdot \frac{1}{8} = 11{,}8\,^\circ C$$

$$U' = \frac{1}{\frac{1}{8} + 2 \cdot \frac{0{,}02}{0{,}8} + \frac{2 \cdot 0{,}12}{1} + \frac{0{,}06}{0{,}04} + \frac{1}{8}} = 0{,}49 \ \frac{W}{m^2 K}$$

Quanto più la parete è isolata tanto più la trasmittanza termica è ridotta.

$$\dot{Q} = \frac{1}{R_1} \cdot A \cdot \left(t_{p,a} - t_{1,2}\right) \Rightarrow t_{1,2} = t_{p,a} - \frac{\dot{\Phi}}{A} \cdot R_1 = 18{,}2 - \frac{143}{10} \cdot \frac{0{,}02}{0{,}8} = 17{,}84\,^\circ C$$

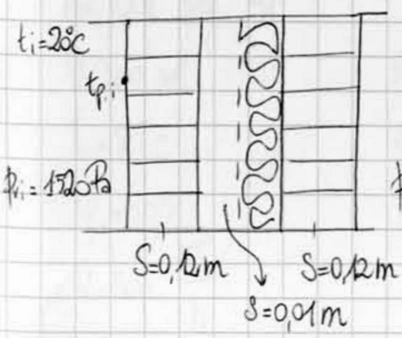
$$\dot{Q} = \frac{1}{R_2} \cdot A\left(t_{1,2} - t_{2,3}\right) \Rightarrow t_{2,3} = t_{1,2} - \frac{\dot{\Phi}}{A} \cdot R_2 = 17{,}84 - \frac{143}{10} \cdot \frac{0{,}12}{1} = 16{,}12\,^\circ C$$

$$t_{3,4} = t_{2,3} - \frac{\dot{\Phi}}{A} \cdot R_3 = 16{,}12 - \frac{143}{10} \cdot \frac{0{,}08}{0{,}04} = 13{,}83\,^\circ C$$

$$t_{4,5} = t_{3,4} - \frac{\dot{\Phi}}{A} \cdot R_4 = 13{,}83 - \frac{143}{10} \cdot \frac{0{,}12}{1} = 12{,}12\,^\circ C$$

$$t_{p,b} = t_{4,5} - \frac{\dot{\Phi}}{A} \cdot R_5 = 12{,}12 - \frac{143}{10} \cdot \frac{0{,}02}{0{,}8} = 11{,}8\,^\circ C$$

ES. 2



$t_e = 0\,^\circ C$

$p_e = 550\,Pa$

$R_{int} = 0{,}15 \ \frac{m^2 K}{W}$

$\lambda_{lat} = 0{,}8 \ \frac{W}{mK}$

$\lambda_{is} = 0{,}04 \ \frac{W}{mK}$

$h_i = 8 \ \frac{W}{m^2 K} \qquad h_e = 25 \ \frac{W}{m^2 K}$

1) U_{max}? con $t_{p_{i,min}} = 18\,^\circ C$

2) $s_{is,min}$?

3) $\frac{\dot{\Phi}}{A}$? $\left[\frac{W}{m^2}\right]$

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot (t_e - t_i) = h_i (A)(t_{pi} - t_i) = h_e \cdot A \cdot (t_e - t_{pe}) = \Lambda \cdot A \cdot (t_{pe} - t_{pi})$$

$$h_i = \frac{\dot{Q}}{A(t_{pi} - t_i)} = -\frac{450}{15(19-22)} = 10 \frac{W}{m^2 K}$$

$$t_{pe} = t_e - \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{h_e} = -3 - \frac{(-450)}{15 \cdot 20} = -1{,}5\,°C$$

$$\Lambda = \frac{\dot{Q}}{A(t_{pe} - t_{pi})} = -\frac{450}{15(-1{,}5-19)} = 1{,}46 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U = \frac{\dot{Q}}{A(t_e - t_i)} = -\frac{450}{15(3-22)} = 1{,}2 \frac{W}{m^2 K}$$

$$U' = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{\Lambda} + \frac{1}{h_e} + \frac{S_{iso}}{\lambda_{iso}}}$$

$$S_{iso} = \left(\frac{1}{U'} - \frac{1}{h_i} - \frac{1}{\Lambda} - \frac{1}{h_e}\right) \cdot \lambda_{iso} = \left(\frac{1}{0{,}66} - \frac{1}{10} - \frac{1}{1{,}46} - \frac{1}{20}\right) \cdot 0{,}04 = 0{,}027\,m = 2{,}7\,cm$$

<u>ALTERNATIVA</u> $\Rightarrow$ $U \rightarrow R = \frac{1}{U}$ $\quad U' \rightarrow R' = \frac{1}{U'}$ $\quad \Delta R = R' - R = \frac{S_{iso}}{\lambda_{iso}} \rightarrow R_{iso}$

$$S_{iso} = \lambda_{iso} \cdot \Delta R$$

$$R' = \frac{1}{0{,}66} = 1{,}515 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R = \frac{1}{1{,}2} = 0{,}833 \frac{m^2 K}{W}$$

$$\Delta R = 1{,}515 - 0{,}833 = 0{,}6817 \frac{m^2 K}{W}$$

$$S_{iso} = 0{,}04 \cdot 0{,}6817 = 0{,}027\,m = 2{,}7\,cm$$

13/01/11

Es. 5.1 pag. 97

$V = 300\,m^3$	$\dot{m}_{v,I} = 0$	1) $x_S = ?$ S=supply ("di immissione")
$t_i = 20\,°C$	$\Phi_{I,S} = 0$	2) $h_S = ?$
$\varphi_i = 50\%$	$\Phi_T = 3500\,W$	3) $t_S = ?$
$\dot{V} = 800 \frac{m^3}{h}$	$\Phi_{sa} = 1000\,W$	

1) $\dot{m}_{v,I} = \dfrac{70 \cdot 10 \ W}{2549{,}75 \cdot 10^3 \frac{J}{kg}} = 0{,}274 \cdot 10^{-3} \dfrac{kg}{s}$

$x_S = x_i - \dfrac{\dot{m}_{v,I}}{\dot{m}_a}$

$x_i = 0{,}622 \cdot \dfrac{p_{vs}(t_i) \cdot \varphi_i}{p - p_{vs}(t_i) \cdot \varphi_i} = 0{,}622 \cdot \dfrac{3363 \cdot 0{,}5}{101325 - 3363 \cdot 0{,}5} = 0{,}0105 \dfrac{kg_v}{kg_a}$

$\dot{m}_a = \dot{V}_a \cdot \rho_a = \dfrac{600}{3600} \cdot 1{,}2 = 0{,}2 \dfrac{kg}{s}$

2) $x_S = 0{,}0105 - \dfrac{0{,}274 \cdot 10^{-3}}{0{,}2} = 0{,}0091 \dfrac{kg_v}{kg_a}$

$h_S = h_i - \dfrac{(\Phi_{sol} + \Phi_T + \Phi_{I,TOT})}{\dot{m}_a}$

$h_S = h_i - \dfrac{[\Phi_{sol} + U_m \cdot A(t_e - t_i) + \Phi_{I,TOT}]}{\dot{m}_a}$

$h_i = (c_{p,a} + c_{p,v} \cdot x_i) t_i + r_0 x_i = 52{,}93 \dfrac{kJ}{kg}$

$A = 5 \cdot 4 \cdot 2 + 10 \cdot 4 \cdot 2 + 10 \cdot 5 \cdot 2 = 220 \ m^2$

$h_S = 52{,}93 \cdot 10^3 - \dfrac{[600 + 0{,}682 \cdot 220(32 - 26) + 140 \cdot 10]}{0{,}2} = 38{,}43 \dfrac{kJ}{kg}$

$t_S = \dfrac{h_S - r_0 x_S}{c_{p,a} + c_{p,v} \cdot x_S} = \dfrac{38{,}43 - 2501 \cdot 0{,}0091}{1{,}006 + 1{,}875 \cdot 0{,}0091} = 15{,}2°C$

Es. 5.6 pag. 108

$V = 100 \ m^3$

$n = 1 \dfrac{vol}{h}$

$H_T = 70 \dfrac{W}{K}$

$\Phi_I = 0$

$H_T = U \cdot A$

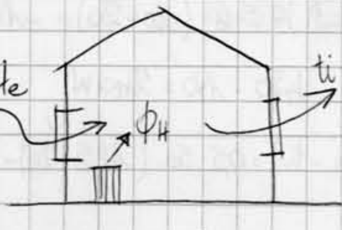
$\Phi_{sol} = 0$

$\Phi_T = H_T(t_e - t_i)$

1) $t_i = ?$

2) $x_i = ?$

$t_e = 2°C$



Non ci sono x_e e h_e perché all'interno nulla potrebbe controbilanciarli.

$\dot{m}_a = \rho_a \cdot \dot{V}_a$

$\dot{m}_a = \rho_a \cdot \dfrac{n \cdot V}{3600} = 1{,}29 \cdot \dfrac{1 \cdot 100}{3600} = 0{,}036 \dfrac{kg}{s}$

$\dot{m}_a \cdot c_a \cdot (t_e - t_i) + \Phi_T + \cancel{\Phi_{sol}} + \underset{\text{solo quota sensibile}}{\cancel{\Phi_{I,S}}} + \Phi_H = 0$

$\dot{m}_a \cdot c_a(t_e - t_i) + H_T(t_e - t_i) + \Phi_H = 0$

$t_i = t_e + \dfrac{\Phi_H}{\dot{m}_a c_a + H_T} = 2 + \dfrac{1000}{0{,}036 \cdot 1000 + 70} = 11{,}4°C$

$\dot{m}_{v,H} = 600 \dfrac{g}{h} = 0{,}6/3600 \dfrac{kg}{s} = 0{,}167 \cdot 10^{-3} \dfrac{kg}{s}$

$\varphi_e = 90\%$

$x_i = ?$

$\Phi_{sol,f} = I_{sol} \cdot A_f \cdot g = 300 \cdot 2 \cdot 0{,}824 = 494{,}4\ W$

$\Phi_{tr} = \Phi_{tr,f} + \Phi_{tr,op}$ → t_{sa} si usa x comp. opaco.

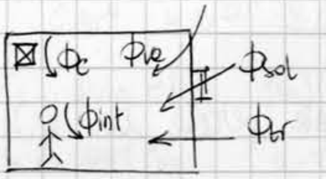
$\Phi_{tr,f} = U_f \cdot A_f \cdot (t_e - t_i) = 2{,}7 \cdot 2 (31{,}4 - 24) = 39{,}96\ W$

$g = \tau_s + \alpha_{sf} \cdot N_i = 0{,}8 + (1 - 0{,}8 - 0{,}08)\ 0{,}2 = 0{,}824$

$\Phi_{tr,op} = U_{op} \cdot A_{op} (t_{sa} - t_i) = 0{,}6 \cdot 22 \cdot (35 - 24) = 145{,}2\ W$

$$t_{sa} = t_e + \frac{I_{sol} \cdot \alpha_{s,op}}{h_e} = 31{,}4 + \frac{300 \cdot 0{,}3}{25} = 35°C$$

$\Phi_{tr} = \Phi_{tr,f} + \Phi_{tr,op} = 39{,}96 + 145{,}2 = 185{,}16\ W$



$$\underbrace{\dot{m}_a \cdot c \cdot (t_e - t_i)}_{\Phi_{ve}} + \Phi_{tr} + \Phi_{sol} + \Phi_{int,s} + \Phi_c = 0$$

$\Phi_c = -\dot{m}_a \cdot c\ (t_e - t_i) - \Phi_{tr} - \Phi_{sol} - \Phi_{int,s}$ → sottraggo

$\Phi_c = -6 \cdot 10^{-3}\ 1{,}2 \cdot 10^3 (31{,}4 - 24) - 185{,}16 - 494{,}4 - 300 = -1032{,}8\ W$

Es. 1 — 26/01/11

$s = 0{,}12\ m$ — $t_i = 20°C$ — $t_e = 3°C$ — $U = ?$

$\lambda = 0{,}9\ W/mK$ — $\varphi_i = 70\%$ — $h_i = 8\ \frac{W}{m^2K}$ — $\Pi = ?$

$\delta = 20 \cdot 10^{-12}\ \frac{kg}{msPa}$ — $h_e = 23\ \frac{W}{m^2K}$

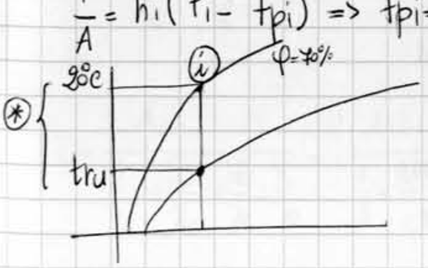
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0{,}12}{0{,}9} + \frac{1}{23}} = 3{,}313\ \frac{W}{m^2K}$$

$$\Pi = \frac{1}{\cancel{\frac{1}{\beta_i}} + \frac{s}{\delta} + \cancel{\frac{1}{\beta_e}}} = \frac{1}{\frac{0{,}12}{20 \cdot 10^{-12}}} = 1{,}667 \cdot 10^{-10}\ \frac{kg}{m^2 sPa} \qquad (\beta \to \infty)$$

Per condensazione superficiale interna, $t_{pi} < t_{ru}$ (perché si crei condensa).

$$\frac{\dot{\Phi}}{A} = U(t_i - t_e) = 3{,}313(20 - 3) = 56{,}32\ \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{\dot{\Phi}}{A} = h_i(t_i - t_{pi}) \Rightarrow t_{pi} = t_i - \frac{\dot{\Phi}}{A} \cdot \frac{1}{h_i} = 20 - \frac{56{,}32}{1} \cdot \frac{1}{8} = 13°C$$



Dove la isotitolo incontra la curva di saturazione ho la temperatura di rugiada.

(*) la t deve trovarsi tra tru e 20°C per non aver condensa.

$t_1 = t_i - U(t_i - t_e)\cdot\left(\frac{1}{h_i} + \frac{s_{c1}}{\lambda_{c1}}\right) = 20 - 0{,}66(20-0)\cdot\left(\frac{1}{8} + \frac{0{,}1}{1{,}5}\right) = 17{,}5°C \rightarrow p_{vs_1} = 1997\ Pa$

$t_2 = t_i - U(t_i - t_e)\cdot\left(\frac{1}{h_i} + \frac{s_{c1}}{\lambda_{c1}} + \frac{s_i}{\lambda_i}\right) = 20 - 0{,}66(20-0)\left(\frac{1}{8} + \frac{0{,}1}{1{,}5} + \frac{0{,}05}{0{,}04}\right) = 1°C \rightarrow p_{vs_2} = 657\ Pa$

$t_{se} = t_e + U(t_i - t_e)\left(\frac{1}{h_e}\right) = 0 + 0{,}66(20)\left(\frac{1}{25}\right) = 0{,}5°C \rightarrow p_{vs_e} = 634\ Pa$

$p_{vi} = p_{vs}(t_i)\cdot\varphi_i \Rightarrow p_{vi} = 2338\cdot 0{,}5 = 1169\ Pa$

$p_{ve} = p_{vs}(t_e)\cdot\varphi_e \Rightarrow p_{ve} = 611\cdot 0{,}8 = 489\ Pa$

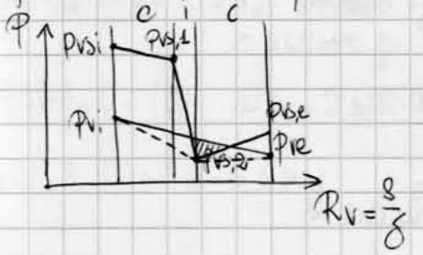
$p_{v1} = p_{vi} - \Pi(p_{vi} - p_{ve})\cdot\left(\frac{s_{c1}}{\delta_{c1}}\right) = 1169 - 0{,}114\cdot 10^{-10}(1169 - 489)\cdot\left(\frac{0{,}1}{2\cdot 10^{-12}}\right) = 780\ Pa$

$$\Pi = \frac{1}{\frac{0{,}1}{2\cdot 10^{-12}} + \frac{0{,}05}{4\cdot 10^{-12}} + \frac{0{,}05}{2\cdot 10^{-12}}} = 0{,}114\cdot 10^{-10}\ \frac{kg}{m^2 s Pa}$$

$p_{v2} = p_{vi} - \Pi(p_{vi} - p_{ve})\left(\frac{s_{c1}}{\delta_{c1}} + \frac{s_i}{\delta_i}\right) = 1169 - 0{,}114\cdot 10^{-10}(1169 - 489)\left(\frac{0{,}1}{2\cdot 10^{-12}} + \frac{0{,}05}{4\cdot 10^{-12}}\right) = 683\ Pa$

$p_{vs,1} = 1997\ Pa \qquad p_{v1} = 780\ Pa$

$p_{vs,2} = 657\ Pa \qquad p_{v2} = 683\ Pa \Rightarrow p_{v2} > p_{vs,2} \Rightarrow$ c'è CONDENSA nell' interfaccia 2 (tra 1 e 2)



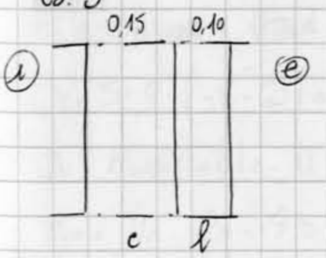
$$\frac{G}{A} = \frac{p_{vi} - p_v^*}{R_v^*} - \frac{p_v^* - p_{ve}}{R_{v,tot} - R_v^*} = \frac{1169 - 657}{\left(\frac{0{,}1}{2\cdot 10^{-12}} + \frac{0{,}05}{4\cdot 10^{-12}}\right)} - \frac{659 - 489}{\left(\underbrace{\frac{0{,}15}{2\cdot 10^{-12}} + \frac{0{,}05}{4\cdot 10^{-13}}}_{R_{v,tot}} - \underbrace{\frac{0{,}1}{2\cdot 10^{-12}} - \frac{0{,}05}{4\cdot 10^{-12}}}_{R_v^*}\right)} = 14{,}8\cdot 10^{-10}\ \frac{kg}{m^2 s}$$

p_v^* è la press. nell' interfaccia di condensazione $\Rightarrow$ quindi $p_{vs,2}$.

R_v^* è la somma delle resistenze degli strati interessati alla condensazione $\Rightarrow R_v^* = R_{ve,1} + R_{vi,b}$

$$m_{cond} = \frac{G}{A}\cdot 3600\cdot 24\cdot 90 = 14{,}8\cdot 10^{-10}\cdot 3600\cdot 24\cdot \overset{3\ mesi\ = 90\ gg}{90} = 0{,}01155\ \frac{kg}{m^2}$$

Es. 3



$\lambda_c = 0{,}27\ \frac{W}{mK} \qquad \lambda_l = 0{,}43\ \frac{W}{mK}$

$\delta_c = 3{,}1\cdot 10^{-11}\ \frac{kg}{msPa} \qquad \delta_l = 2{,}1\cdot 10^{-11}\ \frac{kg}{msPa}$

$h_i = 8\ \frac{W}{m^2K} \qquad t_i = 20°C,\ t_e = 5°C$

$h_e = 25\ \frac{W}{m^2K} \qquad \varphi_i = 45\%,\ \varphi_e = 80\%$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s_c}{\lambda_c} + \frac{s_l}{\lambda_l} + \frac{1}{h_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0{,}15}{0{,}27} + \frac{0{,}1}{0{,}43} + \frac{1}{25}} = 1{,}049\ \frac{W}{m^2K}$$

$\Phi_H = -\Phi_V - \Phi_T$

$\Phi_{T,ie} = H_{T,ie}(t_e - t_i)$! $\Phi_{T,ie}$ perché tutte le pareti confinano con l'esterno (quindi Φ_T è calcolato dall'interno all'esterno).

$H_{T,ie} = \Sigma U \cdot A \cdot p + \Sigma l \cdot \psi \cdot p$

NORD

$H_{T,nord} = U_{op} \, A_{op,nord} \cdot p_{nord} = 0{,}4 \cdot (5 \cdot 3) \cdot 1{,}2 = 7{,}2 \ \frac{W}{K}$ ← da dispensa pag. 280

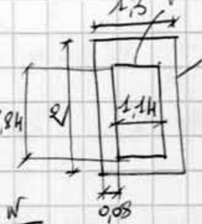
$U_{op} = \dfrac{1}{\frac{1}{7{,}7} + \frac{0{,}02}{0{,}9} + \frac{0{,}08}{1{,}4} + \frac{0{,}08}{0{,}04} + \frac{0{,}12}{0{,}5} + \frac{1}{25}} = 0{,}4 \ \frac{W}{m^2K}$

SUD

effetto del ponte termico!

$H_{T,sud} = \left[(U_{op} \cdot A_{op,sud}) + (U_f \cdot A_f)\right] \cdot p_{sud} + \overbrace{l_f \cdot \psi_{pt} \cdot p_{sud}} = (*)$

$U_f = \dfrac{A_v \cdot U_v + A_t \cdot U_t + \psi \cdot l_v}{A_t + A_v} = \dfrac{2{,}1 \cdot 2{,}4 + 0{,}5 \cdot 1{,}8 + 0{,}06 \cdot 5{,}96}{2{,}6} = 2{,}422 \ \frac{W}{m^2K}$



perimetro a cui si rif. ψ

perimetro a cui si riferisce ψ_{pt}

$A_v = 1{,}84 \cdot 1{,}14 = 2{,}1 \ m^2$

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

$\Rightarrow A_t = A_f - A_v = 0{,}5 \ m^2$

$(l_v \Rightarrow 2 \cdot 1{,}14 + 2 \cdot 1{,}84 = 5{,}96 \, m)$

15-2,6 (sottraggo l'area della finestra)

$(*)\ H_{T,sud} = (0{,}4 \cdot 12{,}4 + 2{,}422 \cdot 2{,}6) \cdot 1 + 6{,}6 \cdot 0{,}4 \cdot 1 = 13{,}9 \ \frac{W}{K}$

$(l_f = 2 \cdot 1{,}2 + 2 \cdot 2 = 6{,}6 \, m)$

EST

$H_{T,est} = U_{op} \cdot A_{op,est} \cdot p_{est} = 0{,}4 \cdot 12 \cdot 1{,}15 = 5{,}52 \ \frac{W}{K}$

! Non c'è ponte termico.

OVEST

$H_{T,ovest} = U_{op} \cdot A_{op,ovest} \cdot p_{ovest} = 0{,}4 \cdot 12 \cdot 1{,}1 = 5{,}28 \ \frac{W}{K}$

$H_{T,ie} = H_{T,nord} + H_{T,sud} + H_{T,est} + H_{T,ovest} = 7{,}2 + 13{,}9 + 5{,}52 + 5{,}28 = 31{,}9 \ \frac{W}{K}$

$\Phi_T = 31{,}9 \cdot (-8-20) = -893{,}2 \ W$

$\Phi_V = \dot{m}_a \cdot c_a (t_e - t_i) = 0{,}01 \cdot 1000 \, (-8-20) = -280 \ W$

$\dot{m}_a = \dot{V}_a \cdot \rho_a = 8{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}2 = 0{,}01 \ kg/s$

$\dot{V}_a = \dfrac{n \cdot V}{3600} = \dfrac{0{,}5 \, (5 \cdot 4 \cdot 3)}{3600} = 8{,}3 \cdot 10^{-3} \ \frac{m^3}{s}$

$\Phi_{T,e}$ Φ_V entrambi uscenti (−) ⇒ ho dispersioni termiche!

$\Phi_H = 893{,}2 + 280 = 1173{,}2 \, W$ (positivo perché fornito dall'impianto).

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 45 di 48

$\Phi_{I,S} = 90 \cdot 4 = 360\ W$

$\Phi_{I,l} = \dot{m}_{v,I} \cdot h_{v,I}$

$h_{v,I} = r_0 + c_{pv} \cdot t_i = 2501 + 1{,}875 \cdot 26 = 2549{,}8\ \frac{kJ}{kg}$

$\Phi_{I,l} = 4{,}219 \cdot 10^{-3} : 3600\ \frac{kg}{s} \cdot 2549{,}8 \cdot 10^3 = 622\ W$

da kJ a J => ottengo W (e non kW!)

$\Phi_{I,TOT} = \Phi_{I,l} + \Phi_{I,S} = 360 + 622 = 982\ W$

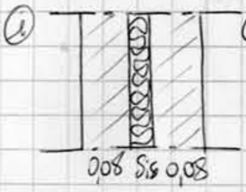
$x_i = 0{,}622 \cdot \frac{p_{vs}(t_i) \cdot \varphi_i}{p - p_{vs}(t_i) \cdot \varphi_i} = 0{,}622 \cdot \frac{3363 \cdot 0{,}6}{101325 - 3363 \cdot 0{,}6} = 0{,}0126\ \frac{kg_v}{kg_a}$

$h_i = c_{pa} \cdot t_i + x_i(c_{pv} \cdot t_i + r_0) = 1{,}006 \cdot 26 + 0{,}0126(1{,}875 \cdot 26 + 2501) = 58{,}28\ \frac{kJ}{kg}$

BILANCIO di ENERGIA: $\Phi_I + \Phi_S + \Phi_T + \cancel{\Phi_H} + \dot{m}_a(h_S - h_i) = 0$

$\dot{m}_a = \frac{-\Phi_T - \Phi_S - \Phi_I}{h_S - h_i} = -\frac{240 + 400 + 982}{(35 - 58{,}28) \cdot 10^3} = 0{,}07\ \frac{kg}{s}$ (deve essere positiva!)

ES. 2



$\lambda_{iso} = 0{,}04\ \frac{W}{mK}$ $\quad t_i = 22°C$ $\quad h_i = 8\ \frac{W}{m^2K}$ $\quad t_{pi} = 20°C$

$\lambda_{cls} = 0{,}7\ \frac{W}{mK}$ $\quad t_e = 1°C$ $\quad h_e = 25\ \frac{W}{m^2K}$ $\quad s_{iso} = ?$

$\frac{\dot{Q}}{A} = h_i(t_{pi} - t_i) = 8(20 - 22) = -16\ \frac{W}{m^2}$

$\frac{\dot{Q}}{A} = \Lambda(t_{pe} - t_{pi}) \rightarrow \Lambda = \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{(t_{pe} - t_{pi})} = -16 \cdot \frac{1}{1 - 20} = 0{,}842\ \frac{W}{m^2K}$

[alternativa: $\frac{\dot{Q}}{A_1} = h_e(t_e - t_{pe}) \rightarrow t_e = (\ldots)$]

$\Lambda = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{\frac{s_{cls}}{\lambda_{cls}} + \frac{s_{iso}}{\lambda_{iso}} + \frac{s_{cls}}{\lambda_{cls}}} \Rightarrow \frac{1}{\Lambda} = \frac{s_{cls} \cdot 2}{\lambda_{cls}} + \frac{s_{iso}}{\lambda_{iso}} \Rightarrow s_{iso} = \left(\frac{1}{\Lambda} - \frac{2 s_{cls}}{\lambda_{cls}}\right) \cdot \lambda_{iso} =$

$= \left(\frac{1}{0{,}842} - \frac{2 \cdot 0{,}08}{0{,}7}\right) \cdot 0{,}04 = 0{,}038\ m =$

$= 3{,}8\ cm$

$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s_{cls}}{\lambda_{cls}} \cdot 2 + \frac{s_{iso}}{\lambda_{iso}} + \frac{1}{h_e}} = 0{,}744\ \frac{W}{m^2K}$

$t_{sa} = t_e + \frac{\alpha \cdot I}{h_e} = 0{,}36 + \frac{0{,}6 \cdot 200}{25} = 5{,}16°C$

$t_e = \frac{\dot{Q}}{A} \cdot \frac{1}{h_e} + t_{pe} = 0{,}36°C$

$\frac{\dot{Q}'}{A} = U(t_{sa} - t_i) = 0{,}744(5{,}16 - 22) = -12{,}53\ \frac{W}{m^2}$