NANO- TECNICA DELLA SICUREZZA

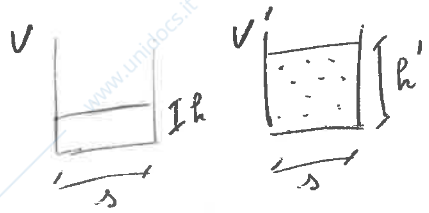
ASSORBIMENTO

TEMPO DI DIFFUSIONE $t_d = \frac{r^2}{2D}$ r = raggio della bolla, D = coeff. di diffusione

TEMPO DI CONTATTO $t_c = t_d \cdot 5 \cdot 3$

PORTATA DEL CAMPIONAMENTO $q = \frac{V}{t_c} \left[\frac{cm^3}{sec}\right]$

ALTRO TEMPO DI CONTATTO

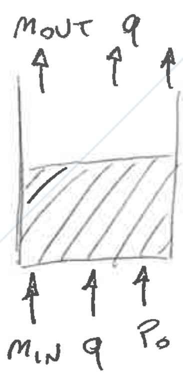


$V' = V + q_c \cdot t_{cont} \rightarrow t_{cont} = \frac{V' - V}{q_c}$

$V = h \cdot s$ e $V' = h' \cdot s$ s = sezione costante

$\Rightarrow t_{cont} = \frac{V}{q_c} \cdot \left[\frac{h'}{h} - 1\right]$

DURATA DEL CAMPIONAMENTO t_{camp}



Bilancio sul campionatore

$PV = mRT$ $m = \frac{PV}{RT}$

$m_{IN} = \frac{P_0}{RT} q$ $m_{OUT} = \frac{P}{RT} \cdot q$

$ACC = IN - OUT = \frac{P_0}{RT} \cdot q - \frac{P}{RT} \cdot q$

$ACC = \frac{dm}{dt}$ $\frac{dm}{dt} = \frac{P_0}{RT} \cdot q - \frac{P}{RT} \cdot q$

$x = \frac{m}{m+N}$ $m + N \simeq N \rightarrow x = \frac{m}{N}$ $P = H \cdot x$ $x = \frac{m}{N} \rightarrow P = H \cdot \frac{m}{N}$

$\frac{dm}{dt} = \frac{P_0}{RT} q - \frac{H \cdot q}{RTN} \cdot m$

$A = \frac{P_0}{RT} \cdot q$

$B = -\frac{Hq}{RTN}$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{P_0}{RT} \cdot q - \frac{Hq}{RTN} \cdot m \qquad A = \frac{P_0 \cdot q}{RT} \qquad B = -\frac{Hq}{RTN}$$

$$\frac{dm}{dt} = A + B \cdot m \;; \qquad \int_0^m \frac{dm}{A+Bm} = \int_0^t dt \;; \qquad \frac{1}{B}\left[\ln(A+Bm)\right]_0^m = t$$

$$\frac{1}{B}\left[\ln(A+Bm) - \ln(A)\right] = t \;; \qquad \frac{1}{B}\ln\left(\frac{A+Bm}{A}\right) = t \qquad \ln\left(\frac{A+Bm}{A}\right) = B \cdot t$$

$$\frac{A+Bm}{A} = \exp(B \cdot t) \;; \qquad 1 + \frac{Bm}{A} = \exp(B \cdot t)$$

$$1 + \frac{Bm}{A} = \exp(B \cdot t) \qquad A = \frac{qP_0}{RT} \qquad B = -\frac{Hq}{RTN}$$

$$1 - \frac{Hq}{RTN} \cdot \frac{RT}{q \cdot P_0} \cdot m = \exp\left[-\frac{qH}{RTN} \cdot t\right]$$

$$1 - \frac{H}{NP_0} \cdot m = \exp\left[-\frac{q \cdot H}{RTN} \cdot t\right]$$

$$\Rightarrow m = \left[1 - \exp\left(-\frac{qHt}{RTN}\right)\right] \cdot \frac{NP_0}{H} \qquad m = \text{mole trattenute}$$

Definisco la permeanza $\varepsilon = \dfrac{m_{OUT}}{m_{IN}} = \dfrac{m_{IN} - m}{m_{IN}} = 1 - \dfrac{m}{m_{IN}}$

$$m_{IN} = \frac{P_0}{RT} \cdot q \cdot t$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{NP_0}{H}\left[1 - \exp\left(-\frac{qHt}{RTN}\right)\right] \cdot \frac{RT}{q \cdot P_0 \cdot t}$$

Taylor: $\exp(x) = 1 + x + \dfrac{x^2}{2!} + \ldots + \dfrac{x^n}{n!}$

$$\exp\left(-\frac{qHt}{RTN}\right) \rightarrow 1 - \frac{qHt}{RTN} + \frac{1}{2}\left(\frac{qHt}{RTN}\right)^2$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{RTN}{qHt} \cdot \left[1 - 1 + \frac{qHt}{RTN} - \frac{1}{2}\left(\frac{qHt}{RTN}\right)^2\right]$$

$\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{q \cdot H \cdot t}{RTN}$ t è t_{camp} $\rightarrow$ $t_{camp} = \varepsilon \cdot \frac{2RTN}{q \cdot H}$

ε è noto; impongo io un valore basso (es $2\% = 0{,}02$) perché voglio ε basso $\varepsilon = \frac{m_{OUT}}{m_{IN}} \rightarrow m_{OUT}$ deve essere poco rispetto a quello che entra

questo $t_{camp} = \varepsilon \cdot \frac{2RTN}{q \cdot H}$ va confrontato con:

nell'aria $n \cdot PM = V_{aria} \cdot \bar{c} = q_c \cdot t_{camp} \cdot \bar{c}$

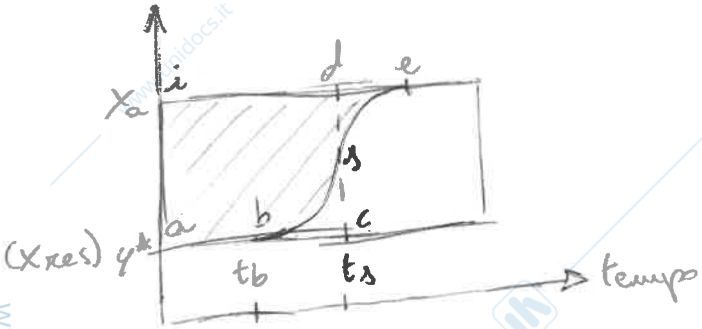
nel liquido: $n \cdot PM = c_{liq} \cdot V$

uguaglio $q_c \cdot t_{camp} \cdot \bar{c} = c_{liq} \cdot V$

c_{liq} me lo dà il laboratorio, ma io impongo che come minimo sia $c_{liq} = LOQ$

$\Rightarrow t_{camp} = \frac{LOQ \cdot V}{q_c \cdot \bar{c}}$ $\bar{c}$ va stimato

ADSORBIMENTO



① andamento della concentrazione di inquinante all'uscita del letto di adsorbimento

Inizialmente la concentrazione sarà uguale a X^*_{res} che è la concentrazione di equilibrio con la concentrazione X_{res} dell'inquinante nel letto del solido

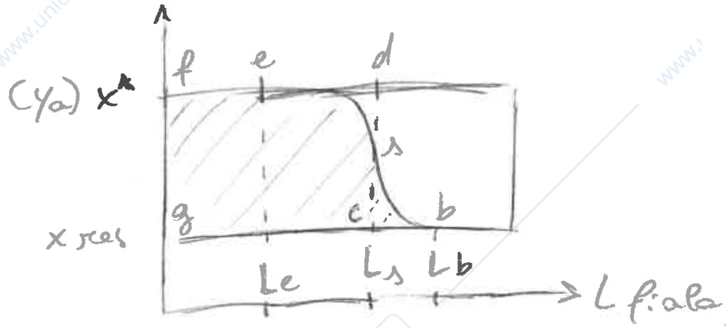
t_b = TEMPO DI SFONDAMENTO

capacità di carico: quantità di inquinante alimentata dal tempo t_0 al tempo t_b, divisa per il peso totale del letto

L'area i-e-b-a-i rappresenta l'inquin. trattenuto

Anche l'area i-d-c-a-i rappresenta l'inquin. trattenuto

t_s = TEMPO STECHIOMETRICO = tempo di semisfondamento)



② Andamento del carico di inquinante lungo il letto di adsorbimento

Da L_0 a L_e il carico corrisponde al carico di equilibrio.
Questa parte di letto è detta "zona di equilibrio"

Da L_b fino alla fine del letto, il carico è uguale a quello iniziale e corrisponde alla concentrazione residua X_{res} → Parte di letto non utilizzata

Tra L_e e L_b, il carico di inquinante traccia una curva ad S. Qui avviene l'adsorbimento, e questa zona è detta "zona di trasferimento di massa" ZTM o MTZ

d-s-c è detto "fronte stechiometrico"
e-s-b è il fronte reale

Capacità di carico utilizzata:

= area f-e-b-g-f $_{L_0}^{L_b}$
= area f-d-c-g-f $_{L_0}^{L_b}$

La concentrazione di inquinante sul letto al momento dello sfondamento, può essere calcolata come media ponderata tra la concentrazione del LES e quella del LUB

Con riferimento alla figura ②

$L_0 / L_s = LES$

$L_s / L_B = LUB$

Per comodità potremo approssimare il caso ideale in cui la concentrazione dell LES è uguale alla concentrazione stechiometrica c_s e la concentrazione dell LUB è uguale a zero

concentraz di imp. sul letto al momento dello sfondamento

Possiamo scrivere: $\bar{c} = \frac{LES \cdot c_s}{LES + LUB}$ con $LES + LUB = L$

La concentrazione di equilibrio può essere calcolata a partire dalla portata alimentata: (c_s = concentrazione di equilibrio = concentrazione stechiometrica)

$c_s = \frac{Q \cdot y_A \cdot t_s}{A \cdot L}$. sostituisco questo c_s in $\bar{c} = \frac{LES \cdot c_s}{LES + LUB}$

$\rightarrow \bar{c} = \frac{LES}{LES + LUB} \cdot \frac{Q \cdot y_A \cdot t_s}{A \cdot L}$ (y_A = concentraz ambientale ?)

Ma anche la concentrazione media può essere scritta a partire dalla portata alimentata:

concentrazione media

$$\bar{c} = \frac{Q \cdot y_a \cdot t_b}{A \cdot L}$$

eguaglio le due $\bar{c}$, e ottengo

eguaglio la c media e la c di imp sul letto al tempo di sfondamento

$$\frac{LES}{LES + LUB} \cdot \frac{Q \cdot y_a \cdot t_s}{A \cdot L} = \frac{Q \cdot y_A \cdot t_b}{A \cdot L} \rightarrow t_b = t_s \cdot \frac{LES}{LES + LUB}$$

$$t_b = t_s \cdot \frac{LES}{L} \Rightarrow LUB = L \cdot \left(1 - \frac{t_b}{t_s}\right)$$

A = sezione di passaggio dell'aria

t_b = tempo di sfondamento
t_s = tempo di semisfondamento.

$$t_b = t_s \cdot \frac{LES}{LES + LUB} \qquad t_b = t_s \cdot \frac{LES}{L}$$

$$\frac{LES}{L} = \frac{t_b}{t_s} \rightarrow LES = \frac{t_b}{t_s} \cdot L$$

$$LUB = L - LES = L - \frac{t_b}{t_s} \cdot L = L\left(1 - \frac{t_b}{t_s}\right)$$

$$LUB = L \cdot \left(1 - \frac{t_b}{t_s}\right)$$

QUANTITÀ DI INQUINANTE M RACCOLTA (dal desorbimento liquido)

M = massa originariamente adsorbita nel solido
m = massa di inquinante nel liquido

$$c_{liq} = \frac{m}{V_{liq}} \qquad c_{sol} = \frac{M-m}{V_{sol}}$$

$$K = \frac{c_{liq}}{c_{sol}} \rightarrow K_1 = \frac{V_{sol} \cdot m_1}{V_{liq} \cdot [M - m_1]}$$

$$K_2 = \frac{V_{sol} \cdot [m_2]}{V_{liq} \cdot [M - m_1 - m_2]}$$

K = costante $\rightarrow K_1 = K_2$

$$\frac{V_{sol} \cdot m_1}{V_{liq}[M - m_1]} = \frac{V_{sol} \cdot m_2}{V_{liq}[M - m_1 - m_2]} \Rightarrow \frac{m_1}{M - m_1} = \frac{m_2}{M - m_1 - m_2}$$

$$\frac{m}{M} = R \rightarrow M = \frac{m}{R}$$

$$\frac{m_1}{M - m_1} = \frac{m_1}{\frac{m_1}{R} - m_1} = \frac{m_1}{\frac{m_1 - m_1 R}{R}} = m_1 \cdot \frac{R}{m_1 - m_1 \cdot R} = m_1 \frac{R}{m_1(1-R)} = \frac{R}{1-R}$$

$$\frac{m_1}{M - m_1} = \frac{R}{1-R}$$

$$\frac{m_1}{M - m_1} = \frac{m_2}{M - m_1 - m_2} \rightarrow \frac{R}{1-R} = \frac{m_2}{M - m_1 - m_2}$$

$$R \cdot M - R m_1 - R m_2 = m_2 - R m_2$$

$$m_1 - R m_1 = m_2 \qquad [RM = m_1]$$

$R = \dfrac{m_1 - m_2}{m_1}$ posso così calcolare R. Noto $R \rightarrow M = \dfrac{m_1}{R}$, posso calcolare M.

da M risalgo alla c_A che cercavo $\quad c_A = \dfrac{M}{q_c \cdot t_{camp}}$

$$M = c_A \, q_c \cdot t_c \, ; \qquad c_A \cdot q_c \cdot t_c = \frac{m}{R} \, ; \qquad c_A \, q_c \, t_c = \frac{c_{liq} \cdot V_{liq}}{R} \, ;$$

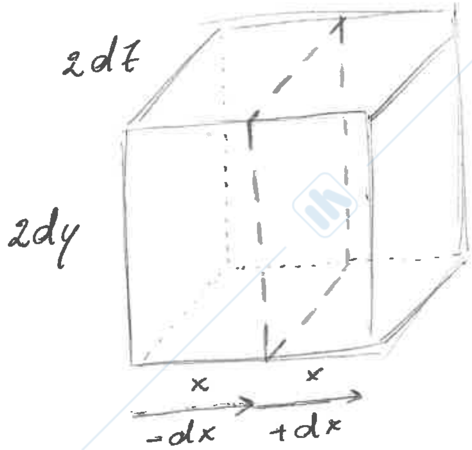
$$c_A \, q_c \, t_c = \frac{c_{liq} \cdot V_{liq}}{R} \qquad c_A = \frac{c_{liq} \cdot V_{liq}}{R} \cdot \frac{1}{q_c \cdot t_c}$$

CAMPIONATORI DIFFUSIONALI

1° legge di Fick $J = -D\dfrac{dc}{dx}$

J = flusso di materia
D = coeff. di diffusione
c = concentrazione

Dalla legge di Fick:



ACC = IN − OUT

$$IN = 4\,dy\,dz\left(J_x - \frac{\partial J_x}{\partial x}\cdot dx\right)$$

$$OUT = 4\,dy\,dz\left(J_x + \frac{\partial J_x}{\partial x}dx\right)$$

$$ACC = IN - OUT = -8\,dx\,dy\,dz\left(\frac{\partial J_x}{\partial x}\right)$$

Dalla definizione invece:

$$ACC = 8\,dx\,dy\,dz\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)$$

eguagliando ora i due ACC, si ottiene:

$$-8\,dx\,dy\,dz\left(\frac{\partial J_x}{\partial x}\right) = 8\,dx\,dy\,dz\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right) \Rightarrow \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial J_x}{\partial x}$$

$$J = -D\frac{dc}{dx} \qquad \frac{\partial J}{\partial x} = -D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial J_x}{\partial x} \rightarrow \frac{\partial c}{\partial t} = D\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

2° legge di Fick: $\dfrac{\partial c}{\partial t} = D\dfrac{\partial^2 c}{\partial x^2}$

In condizioni stazionarie $\dfrac{\partial^2 c}{\partial x^2} = 0 \rightarrow \dfrac{\partial c}{\partial x} = \text{costante}$

Integrando, con le seguenti condizioni al contorno:

$c = c_1$ per $x = 0$
$c = c_2$ per $x = \ell$

$$\int dc = \text{cost}\cdot\int dx \Rightarrow c = \frac{c_2 - c_1}{\ell}\cdot x + c_1$$

$$J = -D\frac{dc}{dx} \qquad c = \frac{c_2 - c_1}{\ell}\cdot x + c_1 \rightarrow \frac{dc}{dx} = \frac{c_2 - c_1}{\ell}$$

$$J = -D\left(\frac{c_2 - c_1}{\ell}\right)$$

$$J = -D\left(\frac{c_2 - c_1}{\ell}\right)$$

$$J = -D\alpha\left(\frac{c_2 - c_1}{\ell}\right)$$

ho introdotto α. D era calcolato in aria, ma noi siamo nel setto poroso, e α ne tiene conto.

semplifico: $c_1 = cost$ e $c_2 = 0$ $\rightarrow$ $J = D\alpha \frac{c_1}{\ell}$

FLUSSO $= J = D\alpha \frac{c_1}{\ell}$

PORTATA $= q =$ Flusso per Area di passaggio

$$q = D\alpha \cdot A \cdot \frac{c_1}{\ell}$$

QUANTITÀ CAMPIONATA M $=$ portata $\cdot\, t_{camp}$

$$M = D\alpha \cdot A \cdot \frac{c_1}{\ell} \cdot t_{camp}$$

CONCENTRAZIONE AMBIENTE C_A che cercavo

$$M = D\alpha A \frac{c_1}{\ell} \cdot t_{camp} \qquad c_1 = C_A \rightarrow \qquad C_A = \frac{M \cdot \ell}{D \cdot \alpha \cdot A \cdot t_c}$$

$$C_A = \frac{M \cdot K}{D \cdot t_c} \quad \text{con } K = \frac{\ell}{A \cdot \alpha}$$

K rappresenta i vari parametri del campionatore. Me li fornisce il produttore.

POLVERI

BILANCIO DI FORZE SU UNA PARTICELLA

$$\underbrace{\frac{\pi D_p^3}{6}\cdot\rho_p\cdot\frac{dv}{dt}}_{\text{F. gravitazionale}} = \underbrace{-c_D\frac{\rho}{2}\frac{\pi D_p^2}{4}(v-u)|v-u|}_{\text{F. di altrito}} + \underbrace{\frac{\pi D_p^3}{6}\rho_p\, g}_{\text{F di Galleggiamento}}$$

$$Re = \frac{\rho\cdot D_p\,|v-u|}{\mu}$$

· ARIA CALMA $\quad u=0 \qquad c_D = \frac{24}{Re} = \frac{24\,\mu}{\rho D_p v_y}$

$$\Rightarrow \frac{dv}{dt} = g - \frac{v}{\tau} \qquad \tau = \frac{\rho_p D_p^2}{18\,\mu}$$

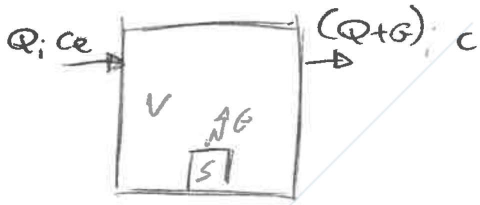
· FLUSSO DI GAS $\quad u \neq 0$

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{v_x-u_x}{\tau}$$

$$\frac{dv_y}{dt} = -\frac{v_y-u_y}{\tau} + g$$

VENTILAZIONE GENERALE

PORTATA Q per garantire una determinata c



ACC = IN − OUT

$$\frac{d(Vc)}{dt} = [Q \cdot c_e + G] - [(Q+G) \cdot c]$$

$$V \frac{dc}{dt} = A + B \cdot c \qquad \begin{cases} A = Q \cdot c_e + G \\ B = -(Q+G) \end{cases}$$

$$\int_{c_0}^{c} \frac{dc}{A+BC} = \frac{1}{V}\int_0^t dt \rightarrow \frac{1}{B} \ln[A+BC]_{c_0}^{c} = \frac{1}{V} \cdot t \rightarrow \frac{A+BC}{A+BC_0} = \exp\left[\frac{B}{V} \cdot t\right]$$

- CASO STAZIONARIO: accumulo = 0 $\rightarrow \frac{A+BC}{A+BC_0} = 0$

$$\frac{A+BC}{A+BC_0} = 0 \qquad BC = -A \qquad c = -\frac{A}{B} = c_{ss} \quad c_{\text{stato stazionario}}$$

semplifico: $c_e = 0$ (immetto aria pulita)

$(Q+G) \simeq Q$ (G trascurabile rispetto a Q)

da queste semplificazioni:

$$A = G \quad e \quad B = -Q \Rightarrow c_{ss} = -\frac{A}{B} \rightarrow c_{ss} = \frac{G}{Q}$$

$\frac{B}{V} = -\frac{Q}{V}$ $\left[\frac{1}{\text{tempo}}\right]$ sono i ricambi d'aria

- CASO NON STAZIONARIO

$$\frac{A+BC}{A+BC_0} = \exp\left[\frac{B}{V} \cdot t\right] \qquad BC = -A + [A + BC_0] \exp\left[\frac{B}{V} \cdot t\right]$$

$$c = -\frac{A}{B} + \left[\frac{A+BC_0}{B}\right] \cdot \exp\left[\frac{B}{V} \cdot t\right] \qquad c = -\frac{A}{B} + \left[\frac{A}{B} + c_0\right] \cdot \exp\left[\frac{B}{V} \cdot t\right]$$

per $c_e = 0 \rightarrow -\frac{A}{B} = \frac{G}{Q}$; $Q+G \simeq Q$

$$c = \frac{G}{Q} + \left[c_0 - \frac{G}{Q}\right] \cdot \exp\left[-\frac{Q}{V} \cdot t\right] \quad \text{con } \frac{G}{Q} = c_{ss}$$

$$c = c_{ss} + [c_0 - c_{ss}] \exp\left[-\frac{Q}{V} \cdot t\right] \quad \text{con } \frac{Q}{V} = \frac{1}{R} \qquad \exp\left(-\frac{1}{R} \cdot t\right) = \frac{c - c_{ss}}{c_0 - c_{ss}}$$

$$-\frac{1}{R} \cdot t = \ln\left[\frac{c - c_{ss}}{c_0 - c_{ss}}\right]$$

c_0 = concentraz. nel locale al tempo t_0

R = tempo caratteristico

$c(t)$ = concentraz. al tempo t

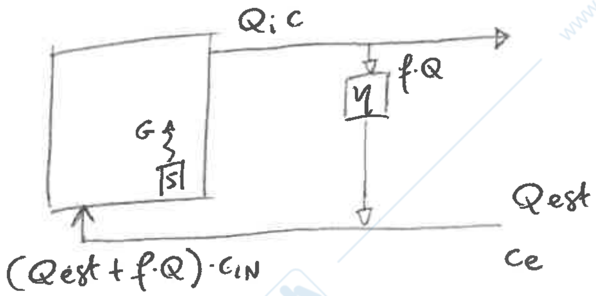
- CON UN DEPURATORE e IL RICIRCOLO

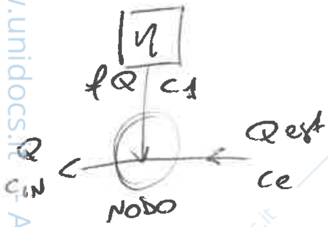
IN = OUT

$(Q_{est} + f \cdot Q) \cdot c_{IN} + G = Q \cdot c$

$Q_{est} + f \cdot Q = Q$

$Q \cdot c_{IN} + G = Q \cdot c$





NODO: IN = OUT

$\cancel{Q_{est} c_e} + f \cdot Q \cdot c_1 = Q \cdot c_{IN}$

$=0 \quad (c_e = 0)$

$c_{IN} = \frac{fQ \cdot c_1}{Q} \Rightarrow c_{IN} = f \cdot c_1$

al posto di η uso $\varepsilon = \frac{c_{OUT}}{c_{IN}}$ con $c_{OUT} = c_1$ e $c_{IN} = c$

$c_1 = \varepsilon c$

$c_{IN} = f \varepsilon c$

Torno al bilancio di materia $Q \cdot c_{IN} + G = Q \cdot c$

$Q \cdot f \varepsilon c + G = Q \cdot c$

$Q \cdot c (f\varepsilon - 1) = -G$ [ho raccolto $Q \cdot c$]

$Q \cdot c (1 - f\varepsilon) = G$

$c = \frac{G}{Q(1 - f\varepsilon)}$ c in uscita dalla stanza, prima di arrivare al depuratore

Caso peggiore: depuratore rotto $\rightarrow \varepsilon = 1$

$\varepsilon = 1 \rightarrow \quad c = \frac{G}{Q(1-f)} \qquad (1-f) = \frac{G}{Q \cdot c}$

Per calcolare f impongo un certo valore di c : $c < \%TLV$

$\%TLV = \%$ di TLV che non vorrei superare

$(1-f) = \frac{G}{Q(\%TLV)}$

- SE CASO NON PERFETTAMENTE MISCELATO : $\overline{E_r} = \frac{c_{ss}}{\overline{c}}$ con $c_{ss} = \frac{G}{Q}$

$c_{ss} = \overline{E_r} \cdot \overline{c} \rightarrow \overline{E_r} \cdot \overline{c} = \frac{G}{Q} \rightarrow \overline{c} = \frac{G}{Q \cdot \overline{E_r}}$

E_r = efficienza di miscelazione

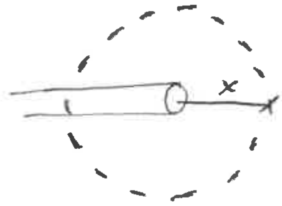
si usa però $K = \frac{1}{E_r}$

VENTILAZIONE LOCALE

· SORGENTE PUNTIFORME

$Q = v \cdot A$ · A = area della sfera

$Q = v \cdot 4\pi x^2 \rightarrow v = \dfrac{Q}{4\pi x^2}$ velocità di cattura alla distanza x



se x raddoppia, v quadruplica $v \simeq \dfrac{1}{x^2}$

· CAPPA CIRCOLARE

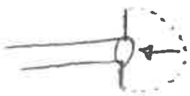
$v_x = \dfrac{Q}{4\pi x^2}$ $v_F = \dfrac{Q}{A_f}$

$Q = v_x 4\pi x^2$ $Q = v_F \cdot A_f$ $Q = Q \rightarrow v_x 4\pi x^2 = v_F \cdot A_f$

$v_x = \dfrac{v_f \cdot A_f}{4\pi x^2}$

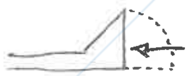
· CAPPA CIRCOLARE CON FLANGIA

A è adesso metà sfera $\rightarrow v_x = \dfrac{Q}{2\pi x^2}$



· CAPPA CON ALTRA FLANGIA

A è metà di prima; cioè è $\frac{1}{4}$ di sfera $\rightarrow v_x = \dfrac{Q}{\pi x^2}$



· SISTEMA PUSH and PULL "FLAUTO"

$$\frac{Q_1 - Q_n}{Q_n} = 1 - \frac{Q_n}{Q_1} = 1 - \sqrt{\frac{\Delta P_0 - |\Delta P|}{\Delta P_0}}$$

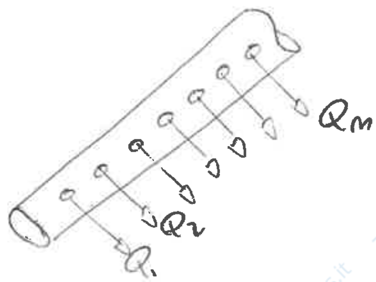
lo impongo uguale al 5% (100% − 95%) perché non voglio una eccessiva perdita di carico

ottengo che l'area del condotto deve essere almeno il doppio dell'area degli orifizi

ΔP = perdite di carico per attrito dentro al tubo

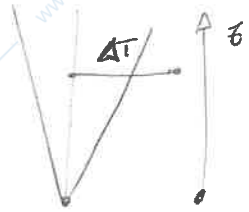
ΔP_0 = perdite di carico sul singolo foro

$\Delta P - (v^2)$



· PENNACCHI (SORGENTE CALDA)

$$\Delta T(z) = 0{,}329 \cdot \phi^{\frac{2}{3}} \cdot z^{-\frac{5}{3}}$$



Sono in grado, con opportuni strumenti, di misurare la temperatura
Misurata la T, con la formula inversa ricavo ϕ

con $\phi \rightarrow$ $V_z = 0{,}128\, \phi^{1/3} \cdot z^{1/3}$ sorgente puntiforme

$V_z = 0{,}067 \cdot \phi^{1/3}$ sorgente lineare

V_z è la velocità alla quota z

Di solito, invece della velocità si usa la portata q_z

$$q_z = 0{,}005\, \phi^{1/3} \cdot z^{5/3}$$

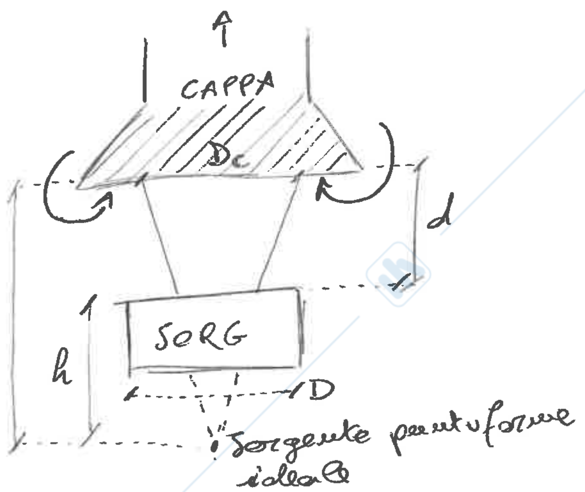
· SORGENTE CIRCOLARE

$1{,}7 \cdot D < h < 2{,}1 \cdot D$ — D = diametro della sorgente reale

$D_c = 0{,}43 \cdot z^{0{,}88}$ — D_c = diametro del pennacchio all'imbocco della cappa

$z = d + h$

$D_f = D_c + 0{,}25 \cdot d$ — D_f = diametro della cappa al fronte della cappa (imbocco)



Più la cappa è vicina alla sorgente, più D_c sarà piccolo
Più piccolo è D_c, più D_f sarà piccolo
Minore è il diametro della cappa, minore sarà la portata necessaria

$$Q_w = v_f \cdot A_c + v_r (A_f - A_c)$$

Q_w = portata della cappa
v_f = v all'ingresso della cappa
A_c = area del pennacchio
$A_f - A_c$ = corona circolare intorno al pennacchio
v_r = v dell'aria che richiamo (r)
$v_r \geq 1{,}5\ m/s$

MICROCLIMA

- BILANCIO

$$S = M - W \pm C \pm K \pm R \pm C_{res} \pm E_{res} - E$$

S = parametro critico. Accumulo = squilibrio energetico

$S >> 0$ accumulo calore, sento caldo

$S << 0$ disperdo calore, sento freddo

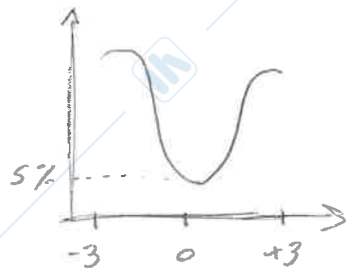
M = potenza prodotta dai processi metabolici
W = potenza impiegata per compiere lavoro meccanico
C_{res} = potenza scambiata nella respirazione, per via convettiva
E_{res} = potenza scambiata nella respirazione, per via evaporativa
K = potenza scambiata per conduzione
C = potenza scambiata per convezione
R = potenza scambiata per irraggiamento
E = potenza ceduta per evaporazione (traspirazione + sudorazione)

- COMFORT indicatori di comfort → metodo statistico

PMV −3/+3 VOTO MEDIO PREVISTO

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0{,}0333 \cdot PMV^4 + 0{,}2129\, PMV^2)$$

percentuale prevista di insoddisfatti



AMBIENTI SEVERI CALDI

$$E_{req} = M - W - C_{res} - C - R - dS$$

E_{req} = potenza termica che bisogna dissipare per sudorazione, per mantenere le condizioni di neutralità termica (sudorazione richiesta)

dS = potenza termica associata all'aumento della t interna; variazione di squilibrio termico consentito.

Al posto di E_{req}, si usa $SW_{req} = E_{req} / e_{req}$

SW_{req} = indice di sudorazione richiesta = quanto dovremmo sudare per produrre l'abbassamento di T definito dall'evaporazione richiesta

e_{req} = efficienza di sudorazione

Da SW_{req} si calcola la % di pelle bagnata w_p, e la perdita di liquido D

Indice SW_{req}: è metodo quantifica lo stress termico da caldo legandolo alla quantità di calore che il corpo umano può disperdere per sudorazione

Voglio accumulo nullo $S = 0$, K trascurabile → $E = M - W - E_{res} - C - R - C_{res}$

noto $E \to SW = \frac{E}{r}$ con SW potenza termica dispersa dalla vaporizzazione completa del sudore prodotto ed r = efficienza evaporativa

$r = 1 - \frac{w^2}{2}$ con w = fraz. di pelle bagnata $w = E/E_{max}$ RIASSUMENDO

calcolo E → ... → SW_{req} → SW → confronto con tabelle.

cambiano i coefficienti per i conti, a seconda che si tratti di individui acclimatati o non e con accesso all'acqua o meno.

Per conti più semplici (ma anche più approssimato) si usa l'indice di rischio detto WBGT. WBGT rappresenta lo stress termico che un ambiente esercita su una persona

$$WBGT = 0{,}7 \cdot t_b + 0{,}2\, t_r + 0{,}1\, t_A$$

t_b = t di bulbo umido
t_A = t dell'aria
t_r = t del globotermometro

Calcolato WBGT, lo vado a confrontare con una tabella

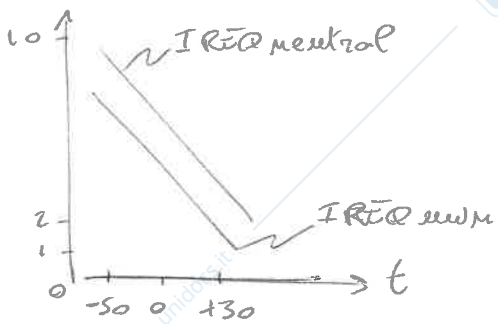
lavoro leggero/pesante; metabolismo... ⇒ pause minime

- AMBIENTI SEVERI FREDDI

La valutazione dello stress termico si fa tramite procedura detta "isolamento richiesto" I REQ

Si risolve l'equazione del bilancio energetico con due diverse ipotesi, ottengo quindi due diversi I REQ

I REQ min = condizioni minime accettabili
I REQ neutral = condizioni di neutralità termica



Dalle t ambiente ricavo i due valori di I REQ e devo confrontarli con I CL

ICL = isolamento termico effettivamente garantito dall'abbigliamento

ICL < IREQ = protezione insufficiente → ho freddo
ICL > IREQ = protezione eccessiva → ho caldo
IREQ neutral > ICL > IREQ min → OK, accettabile

esposizione massima ad ambienti severi freddi = DLE = $\frac{QJ\ MIN}{S}$

$QJ\ MIN = 40 \frac{Wh}{m^2}$ massima perdita di energia tollerabile

S = squilibrio energetico (= raffreddamento subito dall'organismo) risultante dalla soluzione dell'eq. del bilancio energetico.

RUMORE

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$$

In un gas ideale la velocità del suono dipende solo dalla Temperatura e non dalla pressione o dalla densità

Frequenza = f [Hz] = n° di cicli completi nell'unità di tempo
Decibel = scala logaritmica

· MISURA DEL RUMORE

intensità = $\frac{\text{Pressione}}{\text{superficie}}$

$$L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_{ref}}$$

I = intensità sonora
Iref = intensità di riferimento = valore della soglia dell'udibilità

se $I = I_{ref} \rightarrow L = 10 \log_{10} 1$ $\quad \log_{10} 1 = 0 \quad L = 0$ decibel ⇒ non sento

se $I = 2 I_{ref} \rightarrow L = 10 \log_{10} 2 = 3$ i livelli acustici aumentano di 3 decibel al raddoppiare dell'intensità

· LIVELLO EQUIVALENTE PONDERATO GIORNALIERO

$$L_{EP,d} = \underbrace{L_{A\,eq,te}}_{\text{misura fatta direttamente dal fonometro}} + 10 \log_{10} \frac{t_e}{t_{rif}}$$

t_e = t di esposizione
t_{rif} = 8 ore lavorative

L_{eq} = livello di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale, sottoporrebbe il nostro orecchio ad una esposizione alla stessa quantità di energia sonora

· PROPAGAZIONE DEL RUMORE

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r^2}$$

L_p = livello di pressione sonora
L_w = livello di potenza acustica

$4\pi r^2$ = superf della sfera per onde sferiche

se $r_2 = 2 r_1 \rightarrow L_{p r_1} = L_w + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r_1^2}$

$$L_{p r_2} = L_w + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r_2^2} = L_w + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi (2r_1)^2}$$

$$L_{p r_1} - L_{p r_2} = 10 \log_{10} \frac{(2r_1)^2}{r_1^2} = 10 \cdot 2 \log \frac{2r_1}{r_1} = 10 \cdot 2 \log_{10} 2 \simeq 6$$

In campo libero, al raddoppiare della distanza, diminuisco di 6 decibel!

· IN GENERALE

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi r^2} = L_w + 10 \cdot \Big[\underbrace{\log_{10} 1}_{=0} - \underbrace{\log_{10} 4\pi}_{=1,1} - 2 \log_{10} r \Big] \rightarrow L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 1,1$$

livello di pressione sonora ad una distanza r dalla sorgente, in campo libero.

· SE NON SONO PIÙ IN CAMPO LIBERO:

$$L_p = L_w + \underbrace{10 \log Q}_{\text{tiene conto della simmetria radiale}} - 20 \log r - 1,1$$

$Q = 1; \; Q = 2; \; Q = 4; \; Q = 8 \ldots$

· IN CAMPO RIVERBERATO: è rumore rimbalza (ad esempio sulle pareti)

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

A = assorbimento acustico totale del mio ambiente