NUMERO : 376 DATA : 17/10/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Gemello

MATERIA : Fenomeni di Trasporto
Prof. Mazzarino

BILANCI INTEGRALI DI PROPRIETÀ

PRINCIPIO DI CONSERVAZIONE

m, E, H (ENTALPIA), $\vec{M}$ (QUANTITÀ DI MOTO), moe

SISTEMA/VOLUME DI CONTROLLO

PORZIONE DI SPAZIO IN CUI FARE BILANCIO

↓

SINGOLA APPARECCHIATURA, UNA PARTE DI ESSA, DA UNA FASE, INSIEME APPARECCHIATURE, ...

SCAMBI VS/DA AMBIENTE ESTERNO

↓

TRASF. DELLA PROPRIETÀ

PUNTUALI — DISTRIBUITI

DISCRETI

↳ IN UN POSTO PARTICOLARE

* PORTATE → I/O (DI G)

* ACCUMULO → VARIAZ. DI G PRESENTE NEL SIST. NEL TEMPO $\frac{dG}{dt}$

* GENERAZIONE → TRASFORMAZIONE DI G IN/DA ALTRE PROP.

↳ ES: CALORE GENERATO DA COMBUSTIONE

$E = mc^2$

SE NON A LIVELLO NUCLEARE, MA CHIMICO

↳ m TOTALE COSTANTE → MA VARIANO SINGOLE COMP.

↳ ES: $3H_2 + N_2 \rightleftharpoons NH_3$) → VAR. $m_{TOT} = 0$

↳ VAR. NEGAT — ↳ VAR. POSITIVA

PORTATA NETTA = PORT. ENTRANTE - PORT. USCENTE

PORT. ENTRANTE G + GENERAZ. G = PORT. USCENTE G + ACCUMULO G

BILANCIO DI MATERIA

$$\begin{matrix} m_{e_1} & \searrow & & \nearrow & m_{u_1} \\ & & \text{SIST} & & \\ m_{e_2} & \nearrow & & \searrow & m_{u_2} \end{matrix}$$

PORTATE MASSICHE DISCRETE

m TOTALE COSTANTE ← GENERAZ. $= 0$ ← $E = mc^2$

$$\sum_{K=1}^{Ne} \dot{m}_e = \sum_{K=1}^{Nu} m_u + \frac{dm_v}{dt}$$

SIST. MULTICOMPONENTE → UN SIST. ∀ COMPONENTE

$$\Sigma \dot{m}_{i,e} + \dot{m}_{i,g} + \Sigma \dot{m}_{i,u} + \frac{dm_i}{dt}$$

BIL. m TOTALE E' COMBINAZ. LINEARE DEI PRECEDENTI

$\dot{m}_i = \dot{m} W_i$ → FRAZIONE IN MASSA DI i → $W_i = \frac{m_i}{m_{TOT}}$

$$\sum_{i=1}^{n} W_i = 1$$

N COMPONENTI → N EQ. BILANCIAMENTO → N EQ. LIN. INDIP.

$\Sigma m_{i,g} = 0$ ← m_{TOT} GENERATA $= 0$

BILANCIO MOLARE

$$\Sigma \dot{n}_{i,e} + \dot{n}_{i,g} = \Sigma \dot{n}_{i,u} + \frac{dn_i}{dt}$$

x_i FRAZ. MOLARE → $\dot{n}_i = \dot{n} \cdot x_i$ → $x_i = \frac{mol_{TOT}}{mol_i}$

$$\dot{n}_g \neq 0 = \Sigma \dot{n}_{i,g}$$

RELAZIONI TRA PORTATE DI GENERAZIONE

$$\nu_A A + \nu_B B \rightleftharpoons \nu_C C + \nu_D D$$

$$\frac{\dot{n}_{A,g}}{\nu_A} = \frac{\dot{n}_{B,g}}{\nu_B} = -\frac{\dot{n}_{C,g}}{\nu_C} = -\frac{\dot{n}_{D,g}}{\nu_D} \qquad \dot{n}_{i,g} = \pm \frac{\nu_i}{\nu_j} \dot{n}_{j,g}$$

FORZE DI MASSA → DOVUTE AI CAMPI AGENTI SU m

$\vec{F}_v = \int_V \vec{g}\, dm$ → F GRAVITAZ. / MAGNETICHE / ELETTRICHE

$\vec{g}$ → FORZA DEL CAMPO PER UNITÀ DI m → N/Kg

FORZE DI PRESSIONE → ⊥ A SUP., VS V.C.

$$\vec{F}_p = \int_S -p\vec{n}\, dS$$

FORZE DOVUTE A GRADIENTI DI VELOCITÀ (SFORZI DI TAGLIO)

$\vec{F}$/SUPERF.

$\vec{F}_S = \int_S \vec{\sigma}\, dS$ → FORZA AREICA

$$\int_V \frac{d}{dt}(\rho\vec{v})\,dV + \int_S (\rho\vec{v}\cdot\vec{n})\vec{v}\,dS = \int_V \vec{g}\rho\,dV + \int_S (-p\vec{n})\,dS + \int_S \vec{\sigma}\,dS$$

BILANCIO DI ENERGIA

$\Downarrow \dot{Q}$ — PORTATA DI CALORE → POSITIVA SE ENTRA → Q/s

$\dot{m}_{e,N_e}\hat{E}_e$ → SIST. APERTO → $\dot{m}_{u,N_u}\hat{E}_u$ → DIPENDONO DA $T, z_i, p, \ldots$ (STATO CHIMICO-FISICO)

CORRENTI ENTRANTI — CORRENTI USCENTI

$\Downarrow \dot{L}$ — PORTATA DI LAVORO → POSITIVA SE ESCE

→ POTENZA NON TERMICA → KJ/s = KW ; Kcal/s

$$\sum \dot{m}_e\hat{E}_e + \dot{Q} + \sum \dot{m}_u\hat{E}_u + \dot{L} + \frac{d}{dt}(m\hat{E})$$

$\hat{E}$ COMPRENDE:

- EN. CINETICA $\hat{K} = v^2/2$
- EN. INTERNA (U) → $d\hat{U} = \hat{c}_v\, dT$
- EN. POTENZIALE → $\hat{\Phi} = gz$

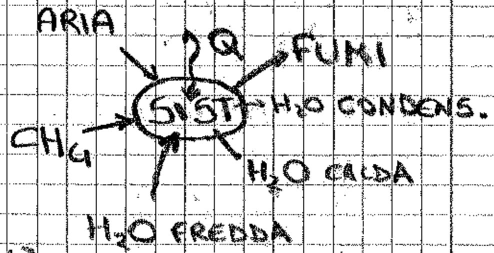
BILANCIO ENTALPICO → BILANCIO EN. TERMICA (H)

$\sum \dot{m}_e \hat{H}_e + \dot{Q} = \sum \dot{m}_u \hat{H}_u$

↳ DISSIPAZ. CALORE (SE NON ADIABATICO)

ES: <u>CALDAIA A CH_4</u>

NON CI INTERESSA SAPERE COSA SUCCEDE DENTRO, MA COSA ENTRA E COSA ESCE



$CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

$\Delta H_{CO_2} + 2\Delta H_{H_2O} - \Delta H_{CH_4}$ PRINC. HESS

$H \propto T$, CALORE SPECIFICO, COMPOSIZ

↑ EN. ASSOCIATA A TRASF. CHIMICO-FISICHE

$\tilde{H}$ ENTALPIA SPECIFICA MOLARE

BILANCI H → SEPARAZIONE / SCAMBIO TERMICO / TRASF. CHIM

SIST. ADIABATICO → NO SCAMBIO Q

$\sum_e \dot{m}_e \tilde{H}_e = \sum_u \dot{m}_u \tilde{H}_u$

BILANCIO ENERGIA MECCANICA (Em)

FENOMENI CHIM / TERMICI TRASCURABILI

SIST. APERTO IN REGIME STAZ. → $\dot{m}_{TOT}$ COST → $\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_u$

$\dot{m}_u \hat{U}_u - \dot{m}_e \hat{U}_e = \dot{m}(\Delta\hat{U})$

$\dot{m}\Delta\hat{U} + \dot{m}\,p\Delta\hat{V} + \dot{m}\Delta\hat{K} + \dot{m}\Delta\hat{\phi} = \dot{Q} - \dot{L}_m$

$\Delta(\hat{U} + p\hat{V} + \hat{K} + \hat{\phi}) = \hat{Q} - \hat{L}_m$

↳ LAVORO MECC. DI UN SIST TD

LIQUIDO INCOMPRIMIBILE, CONDIZ ADIABATICHE, NO ATTRITO, T COSTANTE (NO DISSIPAZIONE)

↓

<u>EQ. DI BERNOULLI</u>

4 TRASFORM. FONDAMENTALI:

· ISOCORA $\rightarrow \int p\,d\hat{V} = 0$; $\int \hat{V}\,dp = \hat{V}\Delta p$ $\quad d\hat{Q} = d\hat{U} = \hat{C}_v\,dT$

· ISOBARA $\rightarrow \int p\,d\hat{V} = p\Delta\hat{V}$; $\int \hat{V}\,dp = 0$ $\quad d\hat{Q} = d\hat{H} = \hat{C}_p\,dT$

· ISOTERMA $\rightarrow p\hat{V} = \text{COST.} \rightarrow \int p\,d\hat{V} = p_e\hat{V}_e \int \frac{1}{\hat{V}}\,d\hat{V} = p_e\hat{V}_e \ln \frac{\hat{V}_u}{\hat{V}_e}$

· ADIABATICA $\rightarrow d\hat{Q} = d\hat{U} + p\,d\hat{V} \rightarrow \hat{Q} = 0 \rightarrow d\hat{U} = -p\,d\hat{V}$

SE TEMPO BREVE ΔQ TRASCURABILE

$R^* = \hat{C}_p - \hat{C}_v \qquad R = R^* M$

$R = \tilde{C}_p - \tilde{C}_v$

$$R = 0{,}082\left[\frac{m^3\,atm}{Kmol\,K}\right] = 8{,}31\left[\frac{KJ}{Kmol\,K}\right] = 1{,}89\left[\frac{Kcal}{Kmol\,K}\right]$$

$$R^* = \frac{R}{M} = \left[\frac{KJ}{Kmol\,K}\cdot\frac{Kmol}{Kg}\right] = \left[\frac{KJ}{Kg\,K}\right]$$

$$\gamma = \frac{\hat{C}_p}{\hat{C}_v} = \frac{R^* + \hat{C}_v}{\hat{C}_v}$$

STATICA DEI FLUIDI

FLUIDO IN QUIETE $\rightarrow \vec{v} = 0$

$$\underbrace{\int_V \frac{d}{d\tau}(\rho\vec{v})\,dV + \int_S (\rho\,\vec{v}\cdot\vec{n})\,\vec{n}\,dS}_{} = 0 = \int_V g\,\rho\,dV + \int_S (-p\vec{n})\,dS + \int \vec{\sigma}\,dS$$

ACCUMULO $\vec{M} \rightarrow$ MA $\vec{v} = 0$

CONTRIBUTO DOVUTO A p DALL'ESTERNO SUL SIST.

$$\int_V g\,\rho\,dV - \int_S p\vec{n}\,dS = 0$$

EQUAZ. FONDAM. FLUIDO STATICA

$$p\vec{n} = \text{DIV}\,p = \frac{\partial p}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial p}{\partial z}\vec{k}$$

PRESSIONE $\rightarrow$ SCALARE, ISOTROPO

$p = \frac{F}{S}$ $\qquad$ NON DIPENDE DA ORIENTAM. NELLO SPAZIO

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial z} = \rho g_z = -\rho g \qquad g = |g_z| \end{cases}$$

$p = -\rho g z + C$ ~ CONDIZ. AL CONTORNO $\rightarrow p = p_0 - \rho g z$

p AUMENTA $\propto$ ALLA PROFONDITÀ

FLUIDI COMPRIMIBILI

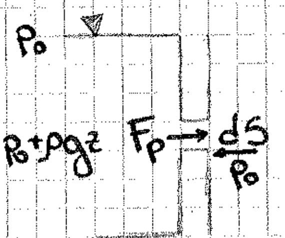
$$\int_{p_0}^{p} \frac{dp}{\rho(p)} = \int_0^z g\,dz$$

X GAS IDEALI $\rho = \frac{pM}{RT}$ $\qquad gz = -\frac{RT}{M}\int_{p_0}^{p}\frac{dp}{p} = \frac{RT}{M}\ln\left(\frac{p_0}{p}\right)$

$p = p_0 e^{-\frac{Mg}{RT}z}$ $\rightarrow$ POICHÈ AUMENTA ρ EFFETTO AMPLIF $\rightarrow$ CR. EXP.

MA IN REALTÀ SPESSO NO CONDIZ. ISOTERME

<u>SOLLECITAZIONI SU RECIPIENTI</u>



$n \perp$ SUP

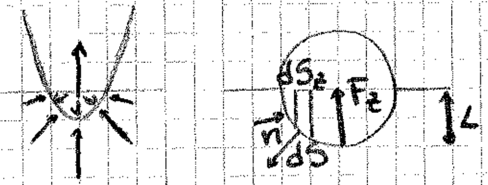
$F_p - F_{p_0} = \cancel{p_0} - \rho g z - \cancel{p_0} = -\rho g z$

X PRESS. ALTE VARIAZ $p(z)$ ESTERNA È TRASCURABILE

$$F = \int_{-h}^{0} -\rho g z\,dz = \frac{1}{2}\rho g h^2$$

$$\underset{\text{MOMENTO}}{M} = F \cdot b = \int_{-h}^{0} (-\rho g z) z\,dz = \rho g \frac{h^3}{3} \qquad b = \frac{h}{3}$$

SPINTA DI ARCHIMEDE

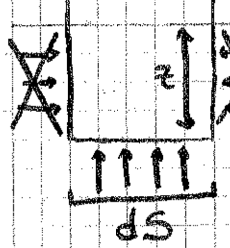


$$dF_z = -(p-p_0)\vec{n}\vec{k}\,dS = (p-p_0)\,dS_z$$

FORZA TOTALM. VERT: $F_z = \int -\rho g z\, dS_z = \rho_0 g \underbrace{\int_{S_z} -z(x,y)\, dS_z}$

PESO LIQUIDO SPOSTATO

$\int_{S_z} -z(x,y)\, dS_z$ VOLUME CORPO IMMERSO



$z = COST$

$-z\int_{S_z} dS_z = -zS$

PESO CHE FAREBBE LIQUIDO SPOSTATO DAL CORPO

SISTEMI ETEROGENEI
+ DI UNA FASE

SE MISCHIO GAS + LIQUIDO $\rightarrow \rho$ APPARENTE MINORE ρ LIQUIDO

AUMENTA V (x GAS) MA $m_{TOT} \simeq m_{LIQUIDO}$

$$\rho_{TOT} = \frac{V_{TOT}}{m_{TOT}} \simeq \frac{V_e + V_{GAS}}{m_e} < \rho_e$$

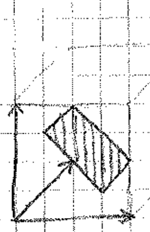
DIPENDE DA % (IN VOLUME) DI GAS NELLE ALTRE FASI

FASE CONTINUA + FASI DISPERSE

CONTINUITÀ TRA ELEM. DI QUELLA FASE

FANGO = LIQUIDO + SOSPENSIONE PARTIC. SOLIDE

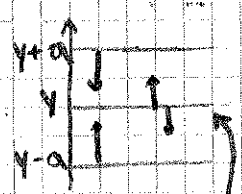
FUMO = GAS + POLVERI SOLIDE



CONTIAMO N. MOLECOLE CHE PASSANO SULLA SUP. X UNITÀ DI TEMPO

$\frac{n_M}{t[\Delta]}$ $\quad w = \frac{1}{4} n_M \bar{u}$ $\quad a = \frac{2}{3}\lambda$ DIST URTO/PIANO

DIFFUSIONE DIPENDE DA: $w, \lambda, \bar{u}$ → SE + URTI + LENTO



- NO CORRENTE DI GAS → FERMA MACROSCOP.
- SOLO 2 SPECIE GASSOSE A, B
- DIAM, MASSA DELLE 2 SPECIE =

∃ Δ CONC → PROFILO DI CONC.

MOLECOLE DI ENTRAMBE LE SPECIE PASSANO IN ENTRAMBE LE DIREZIONI IL PIANO y

MA w DIPENDA DA CONC. E DALLA VELOC.

$w x_A$ = NUM. DI MOLEC. DI A CHE PASSANO y IN UN CERTO TEMPO

y SEPARA IN 2 VOLUMI CON CONC. ≠, DOVE x_A > LE MOLEC. DI A PASSANO DI + NELL'ALTRO VOLUME

$w x_A|_{y-a}$ $\quad w x_A|_y$

2 CORRENTI DI MATERIA DI A

FLUSSO NETTO TOT: F. NETTO $[y-a, y]$ − F.N. $[y, y-a]$

SE x_A SUP = x_A INF → FLUSSO NETTO = 0

$$J_{A,y} = \frac{1}{4 \underset{\tilde{N}}{\overset{\|}{N_A}}} n_M \bar{u} (x_A|_{y-a} - \cancel{x_A|_y} + \cancel{x_A|_y} - x_A|_{y+a})$$

SERIE MC-LAURIN 1° ORDINE → $x_A|_{y+a} = x_A|_y + a \frac{dx_A}{dy}$

NEI GAS IDEALI $D_{AB} = \alpha = \nu = \bar{u} \cdot \lambda / 3$

NEI GAS REALI → $D_{AB} \neq \alpha \neq \nu$

↓

IN CONDIZ. NON CRITICHE: $D_{AB} \simeq \alpha \simeq \nu$

↓

NUMERO DI PRANDTL $= \frac{\nu}{\alpha} \simeq \frac{\nu}{D_{AB}} =$ NUM. DI SCHMIDT $\simeq 0{,}7 \div 0{,}8$
(PR) (SC)

(GAS IDEALI PR = SC = 1)

NEI LIQUIDI → PR, SC FINO A 10^3

CAUSA AFFOLLAMENTO D_{AB} BASSA, ν ALTA

TURBOLENZA

MASSE MACROSCOPICHE DI ARIA SE SI MUOVONO VELOC. SPOSTANO AEREO → TURBOLENZE

CORRENTE DI ARIA MODIFICANO VELOC. DIFFUSIONE

↓

TURBOLENZA SI SOMMA A DIFFUSIONE

<u>REYNOLDS</u> → SI OCCUPAVA DI IDRAULICA (DINAMICA DEI FLUIDI)

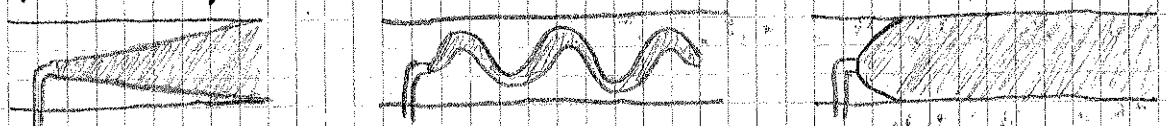
↓

ESP: FA SCORRERE IN UN TUBO A SEZ. QUADRATA ACQUA, INSERISCE COLORANTE, DAL CENTRO DEL CONDOTTO, CHE SI DIFFONDE

↓

DIFFUSIONE DIPENDE DA VELOCITÀ

LAMINARE ($\vec{v}$ BASSA)	INSTABILE/SINUOSO ($\vec{v}$ MEDIA)	RAPIDO MESCOLAM. ($\vec{v}$ ALTA)



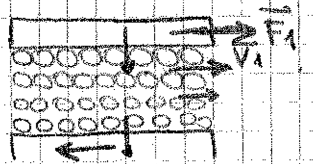
ESP. LINEARE

DIFF. VELOCE

BILANCIO Q.D.M. (SU X) È TRASP. DA SUPERF. SUP A SUPERF. INF. CON UN FLUSSO

$\tau_{xy} = -\mu \dfrac{dv_x}{dy}$ $\vec{F_1}$ HA DIREZ/VERSO = $\vec{v_1}$

STRATO SUPERIORE APPLICA UNA FORZA SU QUELLO SOTTOSTANTE



OGNI STRATO APPLICA UNA $\vec{F}$ SULL'INFER.

OGNI STRATO È FRENATO DALL'INFERIORE

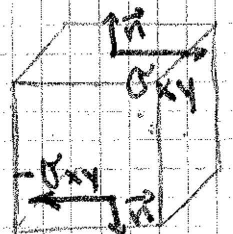
SI CREA REGIME STAZIONARIO → ∀ STRATO ACCUMULO = 0

GENERAZIONE NON NULLA POICHÉ F ESTERNE
↓
QUANDO SI STABILIZZA F ENTRANTE DALL'ALTO = F USCENTE DAL BASSO → RISULTANTE NULLA

∀ UNITÀ SUPERF → $\sigma_{xy} = \dfrac{F_1}{A}$ SFORZO DI TAGLIO

↳ ⊥ AL FLUSSO QDM

FORZE ESTERNE SU V.C.



$\sigma_{xy} = \mu \dfrac{dv_x}{dt}$

<u>PROPRIETÀ DEI FLUIDI</u>

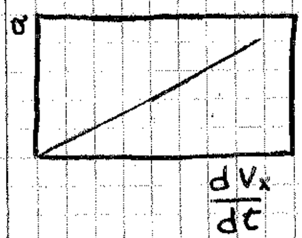
* DENSITÀ $(\rho) = \dfrac{m}{V}$

NEI LIQUIDI ρ DIMINUISCE ALL'AUMENTARE DELLA TEMP.

$$pV = nRT \longrightarrow pV = \frac{N}{N_A}RT \longrightarrow \rho = \frac{m}{V} = \frac{p \cdot m}{RT \cdot n} = \frac{p\bar{M}}{RT}$$

MASSA MOLARE

* VISCOSITÀ → ATTRITO DEI FILETTI FLUIDI IN MOTO RELAT.
↓
NEI GAS LEGATA AL MOVIMENTO TERMICO DELLE MOLEC.



FLUIDO NEWTONIANO

RETTA PASSANTE X L'ORIGINE
↓
PENDENZA PARI A VISCOSITÀ (μ)

μ INDIPENDENTE DAL GRADIENTE DI VELOCITÀ
↓
FLUIDI NEWTONIANI
↓
GAS MULTICOMPONENTE, GAS MONOCOMPONENTE, LIQUIDI OMOGENEI NON POLIMERICI

* FLUIDI NON NEWTONIANI
↓
PASTE, DISPERSIONI, SOLUZIONI DI POLIMERI, POLIMERI FUSI
↓
NON SEGUONO RELAZIONE PRECEDENTE

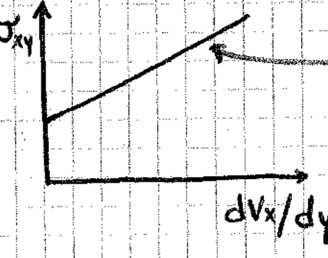
↙ BINGHAM

↘ PSEUDO-PLASTICO / DILATANTE

FLUIDI DI BINGHAM

$$\begin{cases} \sigma_{xy} = \mu_0 \dfrac{dV_x}{dy} \pm \sigma_0 & \text{PER } |\sigma_{xy}| \geq \sigma_0 \\ \dfrac{dV_x}{dy} = 0 & \text{PER } |\sigma_{xy}| < \sigma_0 \end{cases}$$

→ SI COMPORTA COME UN CORPO RIGIDO



RETTA NON PASSANTE X L'ORIGINE

$\sigma_0 > 0$ SE $\dfrac{dV_x}{dy} > 0$

μ DIMINUISCE AL CRESCERE $\dfrac{dV_x}{dy}$

MOTO LAMINARE IN CONDOTTI DI SEZ. CIRCOLARE

BILANCIO q.d.m.

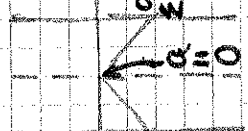
$$-\frac{dp}{dz}r + \frac{d(\sigma_{zr} r)}{dr} = 0 \qquad \sigma_{zr} \neq \infty \text{ PER } r=0$$

$$\sigma_{zr} r = \frac{dp}{dz}\frac{r^2}{2}$$

$$\sigma_{zr} = -\left(\frac{dp}{dz}\right)\frac{r}{2}$$

→ SFORZI DI TAGLIO VARIANO LINEARM. CON r

→ VALE ∀ TIPO DI FLUIDO/MOTO



$$\sigma = f\left(\frac{dv_z}{dr}\right)$$

ABBIAMO UN MAX: V

X FLUIDO NEWTONIANO → $\sigma_{zr} = \mu\left(\frac{dv_z}{dr}\right) = 0 \quad (r=0)$

IN REGIME LAMINARE

DIFFUSIVO

$$\sigma_{zr} = -\left(\frac{dp}{dz}\right)\frac{r}{2}$$

PRESSIONE DIMINUISCE DA INGRESSO A USCITA

↳ FLUIDO PERDE ENERGIA

X MUOVERE FLUIDO SERVE Δp

SE ATTRITO, VELOCITÀ SONO COST → $\frac{\Delta p}{z}$ (NEGATIVO) È COST

PERDITA DI CARICO

IN REGIME LAMINARE:

$$\mu\left(\frac{dv}{dr}\right) = \frac{dp}{dz}\frac{r}{2}$$

IPOTESI NO SLIP

$$v(r) = \left(-\frac{dp}{dz}\right)\frac{R^2}{4\mu}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

PROFILO RADIALE VELOCITÀ È PARABOLICO (POISEUILLE)

$$F_d = f \rho \frac{\langle v\rangle^2}{2} \pi D L = \frac{\pi D^2}{4} \Delta(p+\rho g h)$$

$$f = \frac{1}{4}\frac{D}{L}\frac{\Delta(p+\rho g h)}{\frac{1}{2} \rho \langle v\rangle^2}$$

FATTORE DI ATTRITO DI DARCY, MOODY: $f' = 4f$

RELAZIONI EMPIRICHE

IN CONDOTTI CIRC: $f = f(\langle v\rangle, \rho, \mu, D, L, \varepsilon_r)$

RUGOSITÀ DEL CONDOTTO

DIMENSIONE MEDIA GRANI/SBALZI SULLA SUP.

IMPORTA RUGOSITÀ RELATIVA $\rightsquigarrow \frac{\varepsilon_r}{D}$

TEOREMA DI BUCKINGHAM

POSSONO SCRIVERE RELAZ CON VARIABILI ADIMENSIONATE (VALE COSÌ SEMPRE)

m PARAMETRI FISICI, n GRANDEZZE FONDAM. LEGATI DA UNA RELAZ., SI PUÒ SOST. CON UN'ALTRA RELAZ. CHE COLLEGA $m-n$ PARAM. CON PARAM. ADIMENSIONATI

7 PARAMETRI: $\langle v\rangle, \rho, \mu, D, L, \varepsilon_r, f$

3 GRANDEZZE: m, lungh, tempo

7 - 3 = 4 GRUPPI ADIM.

1) f

2) $\rho \cdot \langle v\rangle \cdot D/\mu$ → NUMERO REYNOLDS → $\dfrac{\rho\frac{\langle v\rangle^2}{2} = E_K}{\frac{1}{2}\mu\langle v\rangle/D = \sigma_{zr}}$

3) L/D

4) ε_r/D

$f = f(Re, \varepsilon_r/D, L/D)$

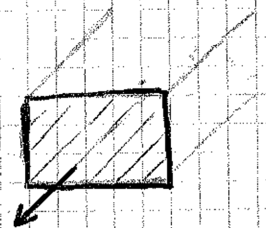
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 27 di 88

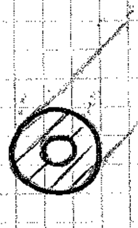
$$Re = \frac{\rho \langle v \rangle D}{\mu} \qquad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{\Delta(p+\rho g R)}{2 f \rho}\frac{D}{L}}$$

$Re\sqrt{f}$ NON CONTIENE VELOCITA'

CONDOTTI DI SEZIONE NON CIRCOLARE

RAGGIO IDRAULICO $- R_h = \dfrac{A_{sez.}}{\text{PERIMETRO BAGNATO}}$





X SEZ. CIRC : $A = \pi \dfrac{D^2}{4} \qquad p = \pi D$

$$R_h = \frac{\pi D^2/4}{\pi D} = \frac{D}{4} \rightarrow D = 4R_h$$

$$Re = \frac{4R_h \langle v \rangle \rho}{\mu}$$

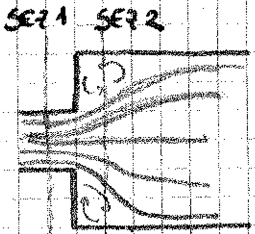
POI USO RELAZ E GRAFICI PER f, $\Delta p / L$ X SEZ. CIRC.

PERDITE LOCALIZZATE

RIDUZIONI / GOMITI / CURVE / ... → IRREGOLARITA'

↓

DISSIPAZ. ENERGIA



COMP. // ALL'ASSE

BILANCIO Q.D.M. → $\dot{m}\langle v_1 \rangle + \sum F_z = \dot{m}\langle v_2 \rangle$

$\langle v_2 \rangle = \dfrac{S_1}{S_2}\langle v_2 \rangle = \dfrac{\langle v_1 \rangle}{\beta} \qquad \beta = S_2/S_1$ FATTORE RIDUZ.

$$\hat{E}_v = \sum e_v \cdot \hat{K}, \qquad \hat{K} = \frac{1}{2}\langle v\rangle^2$$

CALCOLO DI PROGETTO

↓

DATI INIZIALI: $\dot{m}$, e CONDOTTO

SI CALCOLA ϕ CONDOTTO E Δp, OPPURE POTENZA RICHIESTA O DIFFERENZA QUOTA ($\Delta\phi$)

$\dot{V} = \dot{m}/\rho$ ← FLUIDO INCOMPR.

VELOCITÀ COMUNI
- 1-3 [m/s] PER LIQUIDI TIPO H_2O
- 0,4-0,7 [m/s] x e CON ALTA μ
- 10-30 [m/s] x GAS/VAPORI

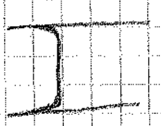
$$D=\sqrt{\frac{4\dot{V}}{\pi\langle v\rangle}}$$

SCELGO POI TUBO COMMERCIALE CHE SI AVVICINA

↓

RICALCOLO <v> SULLA BASE DEL DIAMETRO EFFETTIVO

CERCHIAMO SEMPRE REGIME TURBOLENTO



↓

NEL REGIME LAMINARE

CALCOLO Re → CALCOLO f

SCELGO MATERIALE IN BASE A COSA TRASPORTO

CALCOLO Δp O $\Delta\phi$ O POTENZA

SE FLUIDO COMPRIMIBILE → ρ NON E' COST. MA DIMINUISCE

↓

V AUMENTA

D_p = DIAMETRO PARTICELLA
↓
DIAMETRO EQUIVALENTE
↓
DIAMETRO CHE AVREBBE SFERA

$A_s = \pi D_p^2$ $\quad A_{cubo} = 6L^2$

$V_s = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{1}{6} D_p^2$ $\quad V_{cubo} = L^3$ $\Big\} \frac{V}{S} = \frac{D_p}{6} \rightarrow D_p = L$

REGIME LAMINARE = REGIME STOKS $\rightarrow C_D = \frac{24}{Re_p}$

TRANSIZ. DA 1 A 10^3 Re_p

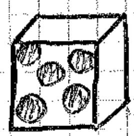
IN REGIME TURBOLENTO CONTA MOLTO FORMA

SE V MOLTO ALTA CAMBIA SCIA OGGETTO
↳ SI STACCA DA OGGETTO STESSO
↓
DIMINUZIONE SENSIBILE C_D

FORMULE VALIDE SOLO SE CONC. PARTIC. BASSA
↓
SENNÒ SCIE / URTI

<u>LETTI GRANULARI</u>

COME DIFFONDONO FLUIDI IN LETTI GRANULARI
↓
ES: SABBIA ←——— PARTICELLE SOLIDE
↓
X FILTRI / COLONNE ASSORB.



ε POROSITÀ / GRADO VUOTO → FRAZ. NON OCCUPATA DAL SOLIDO

$1-\varepsilon$ FRAZ. OCCUP. DA SOLIDO

ε + BASSA SE PICCOLA DIM. GRANI

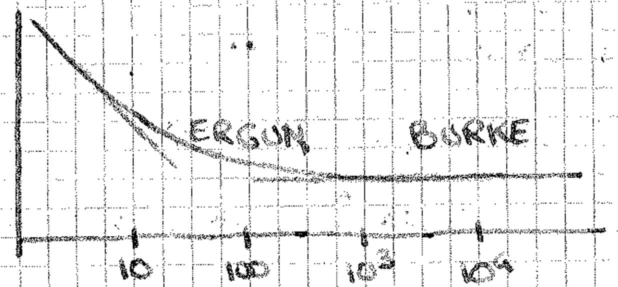
* IN REGIME TURBOLENTO ($Re_b > 10^3$):

$$-\frac{\Delta p}{L} = 1{,}75\,\rho\, v_0^2\,\frac{1-\varepsilon}{D_p \varepsilon^3}$$ EQUAZIONE DI BURKE-PLUMMER

$$f_b = 0{,}875\,\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3}$$ INDIPENDENTE DA Re_b

* IN REGIME MISTO ($10 < Re_b < 10^3$)

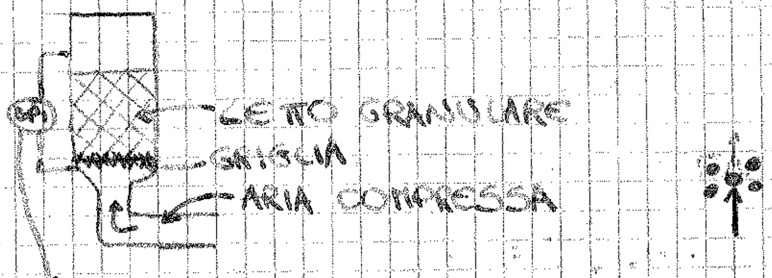
$$f_b \frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon} = -\frac{\Delta p}{\rho v_0^2}\frac{D_p}{L}\frac{\varepsilon^3}{1-\varepsilon} = 150\frac{(1-\varepsilon)\mu}{D_p \rho v_0} + 1{,}75$$ EQ. ERGUN



FLUIDIZZAZIONE DI LETTI GRANULARI

↓

PARTICELLE SI MUOVONO NELLA CORRENTE FLUIDA



MISURA VARIAZ. PRESSIONE

↓

SE AUMENTO $\dot{m}$ ARIA AUMENTA Δp

SE Δp MOTO FLUIDO = FORZA GRAVITAZ. SULLE PARTICELLE

↓

IL LETTO GRANULARE ASSUME L'ASPETTO DI UN FLUIDO

RIGONFIAMENTO LETTO | AUMENTO POROSITÀ

↳ Δp DIMINUISCE → INSTABILE

NEI SOLIDI → $K = K_c + K_e$

STRUTT. CRIST/AMORFA → IMPORTANTE NEI NM

ELETTRONI LIBERI → IMPORTANTE NEI Me

CONDUZIONE MONO-DIMENSIONALE

1) LASTRA PIANA CON FACCE //

$$\dot{J}_{q,x} = -K \frac{dT}{dx}$$

→ COSTANTE
- IN REGIME STAZIONARIO
- NO GENERAZIONE

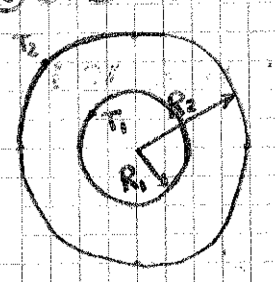
K(T) → PRENDO K MEDIA TRA LE 2 T

PROFILO DI TEMPERATURA LINEARE

$$T = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{S} x$$

$$\dot{J}_{q,x} = -\frac{K}{S}(T_2 - T_1)$$

2) GUSCIO CILINDRICO



TRASPORTO AVVIENE IN DIREZ. RADIALE

IN REGIME STAZ. IL FLUSSO NON È COST (A VARIA CON r)

PORTATA DI CALORE COSTANTE

$$\dot{Q} = \dot{J}\, 2\pi r L$$

$$\dot{J} r = -K \frac{dT}{dr} r = \text{COSTANTE}$$

$$dT = C_3 \frac{dr}{r} \rightarrow T = T_1 + C_3 \ln\left(\frac{r}{R_1}\right)$$

SIST. CON GENERAZIONE INTERNA DI CALORE

GENERAZIONE UNIFORME → REAZ. CHIM. ESOTERMICA
→ EFFETTO JOULE
→ REAZ. NUCLEARI

$\dot{q}_g\,[W \cdot m^{-3}]$

$S\,R \gg 2s \rightarrow \dot{Q}$ USCENTE DA FACCE LATERALI

$$\dot{j}_q|_x + \dot{q}_g\,dx = \dot{j}_q|_{x+dx} \qquad \frac{d j_q}{dx} = \dot{q}_g = -k\frac{d^2T}{dx^2} = \text{COST.}$$

CONDIZ. AL CONTORNO → $T_s = T_a$
→ $x = 0 \Rightarrow dT/dx = 0$ → SIMMETRICO

$$T = T_A + \frac{\dot{q}_g}{2K}(s^2 - x^2)$$

PROFILO DI TEMPERATURA PARABOLICO, MAX NEL CENTRO
→ $x = 0$

TRASPORTO CONVETTIVO

CORRENTI FLUIDE IN MOTO

2 MECCANISMI ≠:
→ CONVETTIVO
1) OGNI ELEM. FLUIDO PORTA CON SÉ EN. TERMICA
2) IL GRADIENTE DI TEMPERATURA CAUSA IL TRASF. CALORE
→ CONDUTTIVO

CONVEZIONE FORZATA IN CONDOTTI CILINDRICI

CORRENTE FLUIDA IN CILINDRO

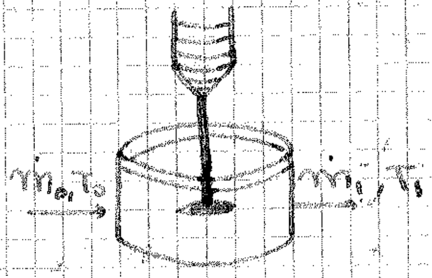
L'ENTALPIA SI TRASFERISCE X CONVENZIONE → CON VELOC. ELEVATE
(CONDUZIONE TRASCURABILE)

SE T_i (TEMP. SU PARETE INTERNA) < T DEL FLUIDO
IL FLUIDO CEDE Q E SI RAFFREDDA $dT/dz < 0$
IN CASO CONTRARIO SI SCALDA

$$\dot{Q} = -h A \Delta T_{me} = -h A \frac{(T_i - T_e) - (T_i - \langle T \rangle_L)}{\ln\left(\frac{T_i - T_e}{T_i - \langle T \rangle_L}\right)} = -h A \frac{\Delta T_e - \Delta T_L}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_L}\right)}$$

CONVEZIONE IN RECIPIENTE MISCELATO:

$$\dot{m}_0 \hat{H}_0 + \dot{Q} = \dot{m}_1 \hat{H}_1$$



SE RECIPIENTE CHIUSO: → NO CORRENTI ENTRANTI/USCENTI

↓

REGIME NON STAZIONARIO

$$\dot{Q} = -h A (T - T_i) = m \hat{C}_p \frac{dT}{d\tau}$$

ES: PENTOLONE CON T ESTERNA > T INTERNA

IN UN TEMPO ∞ T INTERNA TENDE ALLA T ESTERNA

$$Q = -\int_0^{\tau_f} h A (T - T_i)\, d\tau = -h A \tau_f \Delta T_{me}$$

RELAZ. FORMALMENTE ANALOGA A CORRENTE MONODIMENS.

X FLUSSO A PISTONE — X RECIP. MISCELATO CHIUSO τ

COORD. ASSIALE — VARIABILE INDIPENDENTE

CONVEZIONE FORZATA

MOTO LAMINARE → SOLO TRASPORTO DIFFUSIVO

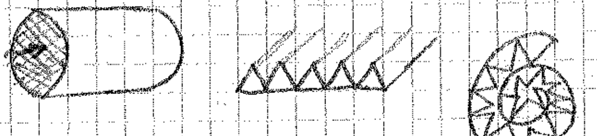
$$j_{q,n}\Big|_w = -k \frac{dT}{dn}\Big|_w$$

SCAMBIO Q IN REGIME LAMINARE

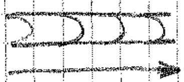
- MARMITTE CATALITICHE → OSSIDAZ CO/RESIDUI → RIDUZ NO A NH_3
- ESTRUSIONE MATERIE PLASTICHE
- INDUSTRIA ALIMENTARE

CONDOTTI CON ϕ PICCOLO, ρ PICCOLA

* MARMITTE CATALITICHE → CATALIZZATORI
  - OSSIDAZ CO IN CO_2
  - OSSIDAZ RESIDUI IN $CO_2 + H_2O$
  - RIDUZ. NO/NO_2 IN NH_3



Me NOBILI SU ALLUMINA



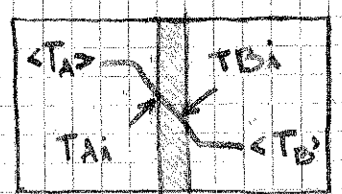
$$X^+ = \frac{X}{D\,Re\,Pr}$$ COORD. ASSIALE ADIMENSIONATA

DISTANZA DALLA SEZ. INGRESSO

PER $X^+ < 0,02$ $\quad Nu = 1,86\,(Re\,Pr\,D/X)^{1/3}\,(\mu/\mu_w)$

$X^+ > 0,2$ $\quad$ Nu INDIPENDENTE DA Re

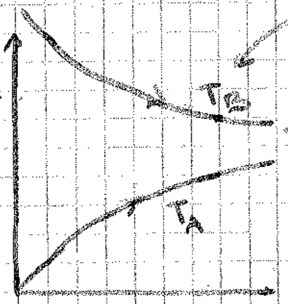
COEFF. GLOBALE DI SCAMBIO



2 FLUIDI (A E B) SEPARATI DA PARETE SOLIDA

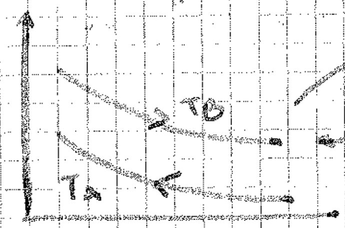
∃ PORZIONE FLUIDO DOVE TEMP. COST (CUORE/BULK)

IN A: $j_{q,x} = -h_a\underbrace{(T_{Ai} - \langle T_A\rangle)}_{F.E.M.}$



EQUICORRENTE

MOLTO EFFICIENTE ALL'INIZIO, MA POI PEGGIORA



ΔT QUASI COSTANTE $\rightarrow K_S \neq$ TRA I 2

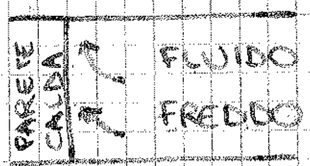
CONTROCORRENTE

CONVENIENTE

F.E.M. QUASI COST.

ANCHE IN TRASFERIM. MATERIA

CONVEZIONE NATURALE



TERMOSIFONE
↓
CORRENTE ASCENSIONALE
ARIA CALDA

INDOTTA DA VARIAZIONE TEMPERATURA

$$\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)_p = -\beta \rho \qquad \beta \text{ COEFF. VOLUMETRICO ESPANS. TERM.}$$

$$Gr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3 \rho_\infty^2}{\mu_\infty^2} \quad \text{NUMERO GRASHOF}$$

L = DIM. CARATTERISTICA

$Ra = Gr \, Pr$ NUM. RAYLEGH

CORRENTI MARINE $\rightarrow \Delta$ CONC. SALE / TEMPERATURA

$\alpha_\lambda = \frac{\dot{q}_{a,\lambda}}{\dot{q}_{i,\lambda}}$ → ASSORBANZA MONOCROMATICA (AD UN CERTA λ)

COLORI → RIFLESSIONE ≠ TRA ≠ λ DEL VISIBILE

$\rho_\lambda = 1 - \alpha_\lambda$

λ CORPI TRASPARENTI: → ES: VETRI → IN LAB. PIREX
- → RESIST. SHOCK TERMICO
- → NON ASSORBE RADIAZ. IR

$\tau = \frac{\dot{q}_t}{\dot{q}_i}$ = TRASMITTANZA

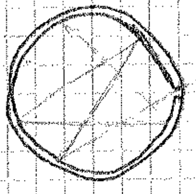
$\tau_\lambda = f(\lambda)$

$\alpha + \rho + \tau = 1$; $\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$

α, τ DIPENDONO DA TEMPERATURA, NATURA CORPO, STATO DELLA SUPERFICIE

CORPO NERO (IDEALE) → $\alpha_\lambda = 1$ $\forall \lambda$

SI AVVICINA MOLTO UNA CAVITA' VUOTO CON FORO TRASCURABILE RISPETTO A SUP. CAVITA' (CON ALL'INTERNO SUP. CON ALTA α) (CON VUOTO SPINTO)



SENNO ASSORBITO DA GAS ALL'INTERNO

$\alpha = 1$; $\rho = 0$ → NON RIFLETTE $\dot{q}_i <^{\dot{q}_r = 0}_{\dot{q}_a = \dot{q}_i}$

MA POTREBBE EMETTERE CMQ. RADIAZ. → LAMPADINE W

$\dot{q}_e$

$d\dot{q}_{e,b} = \dot{q}_{e,\lambda,b}\, d\lambda$ EMISSIONE CORPO NERO

MAX EMISSIONE (TOT.)

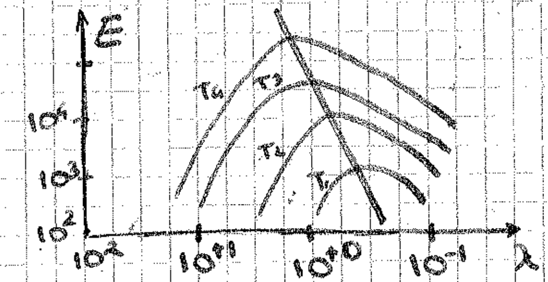
$\varepsilon = \frac{\dot{q}_e}{\dot{q}_{e,b}}$ = EMISSIVITA' SPETTRALE (<1)

$\varepsilon_\lambda = \frac{\dot{q}_{e,\lambda}}{\dot{q}_{e,b,\lambda}}$ = EMISSIVITA' → ε_λ DIPENDE DA λ

TEMP. ↑e VIA VIA > ⇒ NORMALE → ROSSO → GIALLINO → BIANCO

$E_{\lambda,b}$ STUDIATO DA PLANCK → DIPENDE DA T

$$E_{\lambda,b} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5\left[e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1\right]}$$



$$\int_0^\lambda E_{\lambda,b}\, d\lambda = j_{e,b}$$

$$j_{e,b} = \sigma T^4 \qquad \Delta j_{e,b} = \sigma\left(T_1^4 - T_0^4\right)$$

$\sigma = 5{,}6 \cdot 10^{-8}$ COST. STEFAN-BOLTZMANN

x CORPO NERO

↓

E_n x CORPO REALE + BASSA

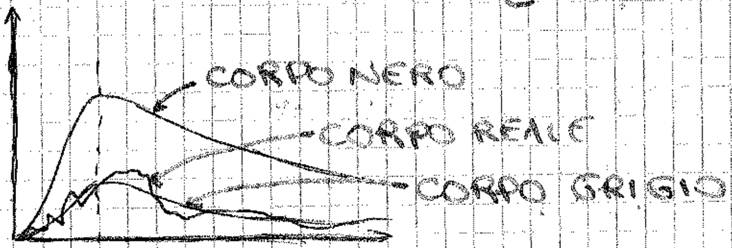
↓

INOLTRE SUP. REALE HA UNA FUNZ. NON REGOLARE

↓

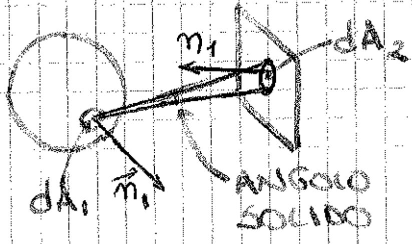
PRENDO ALLORA CURVA DI PLANCK CHE MEGLIO APPROSSIMA (CORPO GRIGIO) IL COMPORTAMENTO DELLA SUP. REALE

→ ε COSTANTE



IRRAGGIAMENTO TRA 2 CORPI NERI

SUPERF. dA EMETTE ∀ DIREZIONE (EMISFERA)



$$dq_{1-2} = \frac{\sigma T_1^4}{\pi r_{1,2}^2}\cos\vartheta_1 \cos\vartheta_2\, dA_1\, dA_2$$

TRASPORTO DI MATERIA

DIFFUSIONE CONVEZIONE

NON SONO QUASI MAI SEPARABILI → DIFFICOLTÀ

FENOMENI DIFFUSIVI → VELOCITÀ ≠ X I COMPONENTI

$\left(j_{m,A} = -\alpha_A \frac{dx_A}{dy} \right)$

DIPENDEREBBE DA COMPOSIZ, VELOCITÀ, ... F.E.M.

$\boxed{\text{FLUSSI DI MASSA}}$ → DEFINISCO COMPOSIZ, $\vec{V}$, FLUSSI DI MATERIA

* COMPOSIZIONE:
  - CONC. VOLUMICA IN MASSA $\rho_i = m_i \cdot V^{-1} = [Kg \cdot m^{-3}]$
  - FRAZ. MASSA $w_i = \rho_i / \rho = [ADIM]$
  - CONC. MOLARE $C_i = mol_i \cdot V^{-1} = [mol \cdot m^{-3}]$
  - FRAZ. MOLARE $x_i = C_i / C = [ADIM]$

DENSITÀ FASE $(\rho) = \sum_{i=1}^{N} \rho_i$ $\qquad \sum_{i=1}^{N} w_i = \sum_{i=1}^{N} x_i = 1$

DENSITÀ MOLARE $C = \sum_{i=1}^{N} C_i$

* VELOCITÀ → $\vec{V_i}$ = VELOC. COMPONENTE i

VELOC. MEDIA IN MASSA: $\vec{V} = \frac{\sum \rho_i \vec{V_i}}{\sum \rho_i} = \frac{\sum \rho_i \vec{V_i}}{\rho} = \sum_{i=1}^{N} w_i \vec{V_i} = [m \cdot s^{-1}]$

VELOC. MEDIA MOLARE: $\vec{V}^* = \frac{\sum C_i \vec{V_i}}{\sum C_i} = \frac{\sum C_i \vec{V_i}}{C} = \sum_{i=1}^{N} x_i \vec{V_i} = [m \cdot s^{-1}]$

DIMENSIONE ABBA PICCOLA RISPETTO A FASE, ABBA GRANDE X RIMANERE NEL FLUIDO IN CONTINUO

GENERALMENTE NON COINCIDONO

STRUMENTI MISURANO $\vec{v}$

IN ING.CHIMICA SI USANO $\vec{v}^*$ E $\vec{J}^*$

SE SOLUZIONE DILUITA (IN SOLV. S) $\vec{v} \approx \vec{v}^* \approx \vec{v}_S$

$\vec{J}^*_{m,i} = \vec{v} C_i + \vec{J}^*_{m,i}$

FLUSSI DIFFUSIVI IN SIST. BINARI

SE FLUIDO STAGNANTE $\rightarrow \vec{v} = 0 \rightarrow$ NO FLUSSO CONVETTIVO

$\vec{J}^*_{m,i}$ COMPLESSA $\rightarrow$ SI SEMPLIFICA X SIST. BINARIO

$\vec{v}$ DIPENDE DAL SIST. DI RIFERIMENTO

SE FLUIDO FERMO $\rightarrow$ NO TRASPORTO CONVETTIVO $\rightarrow \Delta\vec{v}$

O IN MOTO LAMINARE

$\downarrow$

SOLO TRASPORTO DIFFUSIVO

IN SIST. BINARIO:

LEGGE DI FICK $\vec{J}^*_{m,A} = -C D_A \nabla x_A$

GRAD CONC. A

CONC. MOL TOT

DIFFUSIVITÀ DI MATERIA DI A

$C \cdot x_A = C_A$

$\vec{J}^*_{m,A} = -\nabla C_A \cdot D_A$

$\vec{J}^*_{m,B} = -C D_B \nabla x_A$

$\vec{J}^*_{m,A} + \vec{J}^*_{m,B} = 0 \rightarrow \vec{J}^*_{m,A} = -\vec{J}^*_{m,B}$

$x_B = 1 - x_A \Rightarrow -C D_A \nabla x_A = +C D_B \nabla x_A$

$\nabla x_B = -\nabla x_A$

$\Downarrow$

$D_{AB} = D_A = D_B$

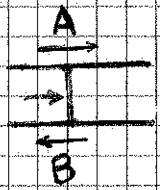
VERO SE E SOLO SE SIST. BINARIO, OPPURE SOLUZIONE MONOCOMPONENTE MOLTO DILUITA RISPETTO A UN SOLO COMP. (SOLVENTE)

DIFFUSIVITÀ BINARIA

IN SIST. BINARI IN GAS D_{AB} NON DIPENDE DALLA COMPOSIZ.

$D_{AB} \propto T^{3/2}, \frac{1}{P}, \frac{1}{\sigma^2}$ $\rightarrow$ DIMENSIONE CARATT. MOLECOLA

TEMPO SUFFICENTEM. BREVE AFFINCHE' COMPOSIZ. DEI 2 RECIPIENTI SIA COST. NEL TEMPO (TRASCURABILI LE VARIAZ.) (X RECIPIENTI GRANDI)



FLUSSO TOT: $J^*_{m,t} = J^*_{m,A} - J^*_{m,B}$

$$\dot n_A = S J^*_{m,A} = \underbrace{\cancel{x_A S J^*_{m,t}}}_{\text{CONVEZIONE}} \underbrace{- S C D_{AB} \frac{dx_A}{dz}}_{\text{DIFFUSIONE (LEGGE FICK)}}$$

$\dot V_{1\to2} = \dot V_{2\to1} \Rightarrow \dot n_{1\to2} = \dot n_{2\to1}$

FLUSSO MOLARE TOT = 0 $\bar J^*_{m,t} = \bar J^*_{m,A} + \bar J^*_{m,B} = 0$

FLUSSI UGUALI E OPPOSTI → $\bar J^*_{m,A} = -\bar J^*_{m,B}$

CONTRODIFFUSIONE EQUIMOLARE → COMPONENTE CONVETTIVA NULLA

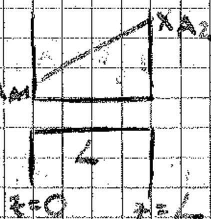
$$\dot n_A = S J^*_{m,A} = -S \cdot C \cdot D_{AB} \frac{dx_A}{dz}$$

COST A T,p COST - INDIPEND. DA z E x_A

$$\bar J^*_{m,A} = -C D_{AB} \frac{dx_A}{dz} \bar k$$

INTEGRANDO

$$x_A = -\frac{J^*_{m,A}}{C D_{AB}} z + K$$



$z=0$ $z=L$

x_{A1} x_{A2}

$$J^*_{m,A} = -C D_{AB} \frac{x_A - x_{A1}}{z}$$

$$\frac{x_{A2}-x_{A1}}{L} = \nabla x_A = \frac{dx_A}{dz}$$

$$J^*_{m,A} = -C D_{AB} \frac{x_{A2} - x_{A1}}{L}$$

MAGGIORE E' LA VARIAZ. DI CONC., MAGGIORE E' IL FLUSSO

SE L LUNGO → $J^*_{m,A}$ MINORE

USIAMO CONTRODIFF. EQUIMOLARE X STIMARE COMPORTAM. REALI DEI FLUSSI DI MATERIA (IN CONDIZ. SIMILI)

$$J^*_{m,A} = cD_{AB}\frac{(x_{A0}-x_{AL})}{L}\,\frac{\ln\left(\frac{x_{BL}}{x_{B0}}\right)}{x_{BL}-x_{B0}} = cD_{AB}\frac{(x_{A0}-x_{AL})}{L}\,\frac{1}{(x_B)}$$

$$J^*_{m,A} = cD_{AB}\frac{(x_{A0}-x_{AL})}{L}\,\frac{1}{(x_B)_{ml}}$$ — MEDIO LOGARITMICO

DIFFUSIONE IN MEZZO STAGNANTE IL $J^*_{m,A}$ È MAGGIORE DEL $J^*_{m,A}$ IN CONTRODIFF. EQUIMOLARE

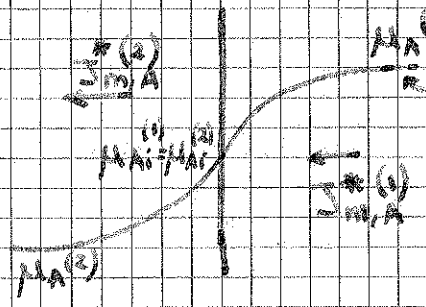
↓

MOTO D'INSIEME VS L'ALTO → FAVORISCE $J^*_{m,A}$

FLUSSO CONVETTIVO E DIFFUSIVO SONO CONCORDI

TRASPORTO DI MATERIA INTERFASE

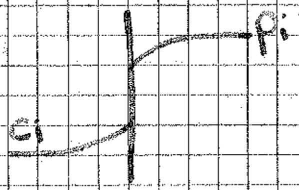
ASSUMIAMO EQUILIBRIO TD ALL'INTERFACCIA TRA 2 FLUIDI



— ZONA BULK IN CUI CONC. COSTANTE (SUFFICENTEMENTE LONTANO)

$\mu_A^{(1)} - \mu_A^{(2)}$ DIFFERENZA DI POT. CHIMICO

LEGGE HENRY $x_i = \frac{p_i}{H_i}$ — COST. HENRY [ADIMENS]



$C_i = p_i H^*$ → COEFF. HENRY [NO ADIM.]

$p_{Ai} = \frac{H}{C} C_{Ai}$

FENOMENO COMPLESSO

ALL'INTERFACCIA NO ACCUMULO $J^{*(1)}_{m,A} = J^{*(2)}_{m,A}$

$$\frac{D}{4}\langle v\rangle \frac{d\langle C_A\rangle}{dz} + \underbrace{J^*_{m,A}}_{-K_c(C_{Ai}-\langle C_A\rangle)} = 0$$ FLUSSO A PISTONE

$$\frac{d\langle C_A\rangle}{(C_{Ai}-\langle C_A\rangle)} = \frac{4K_c}{D\langle v\rangle}dz$$

$$\ln\frac{C_{Ai}-\langle C_A\rangle_L}{C_{Ai}-\langle C_A\rangle_0} = -\frac{4K_c L}{\langle v\rangle D}$$ POSSIAMO STIMARE K_c MISURANDO VARIAZ. ASSIALE DI C_A

$$\frac{K_c D}{D_A} = Sh = 0{,}026\, Re^{0{,}8}\, Sc^{1/3}$$

D_A (DIFFUSIVITA')

Sh: NUM. SHERWOOD

Sc: NUM. SCHMIDT → $Sc = \nu / D_A$

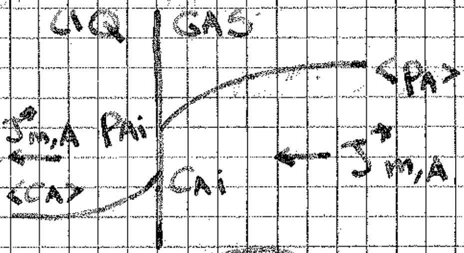
SIMILE A CORRELAZ. DI SIEDER-TATE

$$\frac{Sh}{Sc^{1/3}} = \frac{Nu}{Pr^{1/3}}$$ VALIDE X QUALUNQUE GEOMETRIA

$$K_c\langle C\rangle = K_y \qquad K_c = RTK_p$$

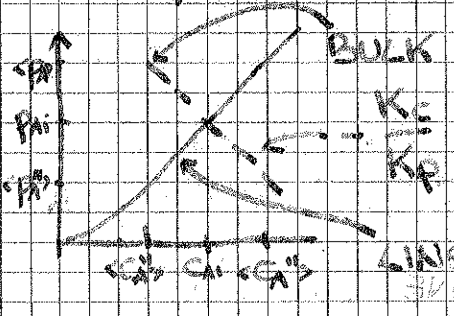
$$J^*_{m,A} = -K_c(C_{Ai}-\langle C_A\rangle) = -K_p(p_{Ai}-\langle p_A\rangle) = -K_y(y_{Ai}-\langle y_A\rangle)$$

RESISTENZA CONTROLLANTE



$$J^*_{m,A} = -K_c(\langle C_A\rangle - C_{Ai}) = -K_p(p_{Ai}-\langle p_A\rangle)$$

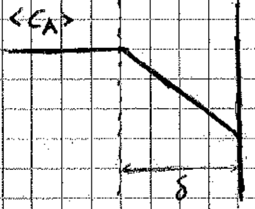
$$\frac{p_{Ai}-\langle p_A\rangle}{C_{Ai}-\langle C_A\rangle} = -\frac{K_c}{K_p}$$



RESISTENZE IN SERIE

RESISTENZA GAS E' CONTROLLANTE

SE $K_c \gg K_p \Rightarrow \frac{K_c}{K_p}$ GRANDE → RETTA VERT → RESISTENZA LATO LIQ. PICCOLO



$$J^*_{m,A} = -K_c (C_{Ai} - \langle C_A \rangle) = -\frac{D_A}{\delta} (C_{Ai} - \langle C_A \rangle)$$

SPESSORE FILM

$$\Downarrow$$

$$K_c = \frac{D_A}{\delta}$$

GRAD. COSTANTE

DIPENDE DALLA FLUIDODINAMICA DEL SISTEMA

SECONDO LA TEORIA $K_c \propto D_A$

IN REALTÀ $K_c \propto \sqrt{D_A}$ (MISURE SPERIMENTALI)

TEORIA DELLA PENETRAZIONE

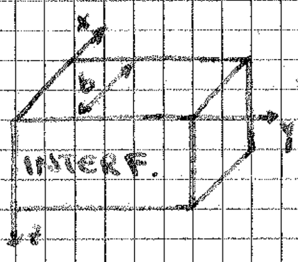
TEORIA DEL RINNOVAMENTO SUPERFICIALE

ELEM. DI FLUIDO (EDDIES) PRESENTI NEL BULK ARRIVANO ALL'INTERFACCIA E SCAMBIANO MATERIA CON L'ALTRA FASE

GRAZIE A MOTO TURBOLENTI — POI TORNANO NEL BULK

TRASP. DIFFUSIVO TRA EDDIES TRA 2 FASI

SIST. NON STAZIONARIO



$$\frac{\partial C_A}{\partial t} dx\,dy\,dz = J^*_{m,A_x}\, dy\,dz - J^*_{m,A_{x+dx}}\, dy\,dz$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2}$$

TEORIA PENETRAZIONE → ELEM. RIMANGO ALL'INTERFACCIA PER UN TEMPO BREVE

$t=0$; $C_A = \langle C_A \rangle$

$x=0$; $C_A = C_{Ai}$

$x=\infty$; $C_A = \langle C_A \rangle$ → NON HA TEMPO DI CAMBIARE C_A IN TUTTO L'EDDIES

$$\frac{C_A - C_{Ai}}{\langle C_A \rangle - C_{Ai}} = ERF\left(\frac{x}{\sqrt{4 D_A t}}\right)$$

ERF = FUNZ. DELL'ERRORE

BILANCIO GENERICO DI PROPRIETÀ IN UN CONTINUO

ACCUMULO + P. USC - P. ENTR = GENERAZ.

1) VELOCITÀ DI ACCUMULO

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho \hat{G}\, dV = \int_V \frac{\partial(\rho \hat{G})}{\partial t} dV$$

SI PUÒ FARE PERCHÉ V COSTANTE NEL TEMPO

2) PORTATE NETTE → I/O

$\vec{v} \cdot \vec{n}$ = VELOCITÀ $\perp$ ALLA SUP. ($\parallel$ A $\vec{n}$)

* CONVEZIONE $\int_S (\vec{v}\cdot\vec{n})\underbrace{\rho \hat{G}}\, dS$

* DIFFUSIONE $\int_S \underbrace{\vec{J}_G}\cdot\vec{n}\, dS$

FLUSSO DIFFUSIVO $\perp$ ALLA SUPERF. S

PROP. SPECIFICA VOLUMICA

$\parallel$ $\rho \cdot$ PROP. SPEC. MASSICA

$$\int_S (\vec{v}\cdot\vec{n})\rho \hat{G}\, dS = \int_V \vec{\nabla}\cdot(\vec{v}\rho\hat{G})\, dV$$

$$\int_S \vec{J}_G \cdot \vec{n}\, dS = \int_V \vec{\nabla}\cdot \vec{J}_G\, dV$$

3) GENERAZIONE → $\int_V \dot{g}_G\, dV$

EQ. BILANCIO:

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}(\rho\hat{G})\, dV + \int_V \vec{\nabla}(\vec{v}\rho\hat{G})\, dV + \int_V \vec{\nabla}\cdot\vec{J}_G\, dV - \int_V \dot{g}_G\, dV = 0$$

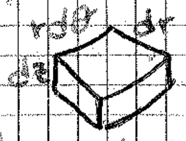
$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}(\rho\hat{G}) + \vec{\nabla}(\vec{v}\rho\hat{G}) + \vec{\nabla}\vec{J}_G - \dot{g}_G\, dV = 0$$

$\Downarrow$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\hat{G}) + \vec{\nabla}\cdot(\rho\vec{v}\hat{G}) + \vec{\nabla}\cdot\vec{J}_G - \dot{g}_G = 0$$

IN MOLTI CASI È COMODO USARE SIST. RIFERIM. ≠

* COORDINATE CILINDRICHE →



$$\frac{\partial \rho}{\partial t} r\, d\theta\, dr\, dz + v_r \rho (r\, d\theta)\Big|_{r+dr} dz - v_r \rho (r\, d\theta)\Big|_{r} dz +$$

$$+ v_\theta \rho \Big|_{\theta+d\theta} dr\, dz - v_\theta \rho \Big|_{\theta} dr\, dz + v_z \rho_{z+dz} \Big| dr\, d\theta\, r +$$

$$- v_z \rho_z\, dr \cdot r\, d\theta = 0$$

* COORDINATE SFERICHE

BILANCIO LOCALE DI QUANTITÀ DI MOTO

$\rho \vec{v}$ = QDM VOLUMICA $\qquad \vec{v}$ = QDM MASSICA

ACCUMULO + PORTATA NETTA = GENERAZIONE

ACCUMULO $\frac{\partial}{\partial t}\int_V \rho \vec{v}\, dV = \int \frac{\partial(\rho\vec{v})}{\partial t} dV$

PORTA NETTA CONVETTIVO $\int_S [(\rho \vec{v} \cdot \vec{n})\vec{v}]\, dS$

F EXT → FORZE MASSA → GRAVITAZ, ELETTRICHE, MAGN

F EXT → FORZE SUPERFICIE → F. DI PRESSIONE → $\int_S -p\vec{n}\, dS$

→ F. DI TAGLIO → $\int \vec{\sigma}\, dS$

$$\int_S \vec{\sigma}\, dS = \int_S \vec{n} \cdot \Sigma\, dS \qquad \Sigma = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{vmatrix}$$

$$\int_S \vec{n} \cdot (\rho \vec{v}\vec{v})\, dS = \int \nabla \cdot (\rho \vec{v}\vec{v})\, dV$$

BILANCIO LOCALE DI ENERGIA

$\hat{E} = \hat{U} + \hat{K}$ TRASCURIAMO $\hat{\Phi}$

X OSSERV. EULERIANO:

ACCUMULO $\int_V \frac{\partial(\rho\hat{E})}{\partial t} dV$

PORTATA NETTA CONVETTIVA $\int_S (\rho\vec{v}\hat{E})\cdot\vec{n}\, dS = \int_V \vec{\nabla}\cdot(\rho\vec{v}\hat{E})\, dV$

PORTATA DI Q NON CONVETTIVA $\int_S \vec{j}_q \cdot \vec{n}\, dS = \int_V \vec{\nabla}\cdot\vec{j}_q\, dV$

POTENZA F. PRESSIONE $\int_V -\vec{\nabla}\cdot(p\vec{v})\, dV$

POTENZA F. VOLUME $\int_V \rho\vec{g}\cdot\vec{v}\, dV$

POTENZA SFORZI TAGLIO $\int_S \vec{\tau}\cdot\vec{v}\, dS = \int_V \vec{\nabla}\cdot(\vec{v}\cdot\Sigma)\, dV$

ATTRITO SI TRASFORMA IN Q

$\int_V (\dots) = 0$

$$\frac{\partial(\rho\hat{E})}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot(\rho\vec{v}\hat{E}) + \vec{\nabla}\cdot\vec{j}_q = -\vec{\nabla}(p\vec{v}) + \rho\vec{g}\cdot\vec{v} + \vec{\nabla}\cdot(\vec{v}\cdot\Sigma)$$

SPESSO ALCUNI CONTRIBUTI TRASCURABILI / NULLI

$\Sigma : \vec{\nabla}\cdot\vec{v}$ DEGRADAZ. IRREVERSIBILE

X FLUIDI NEWTONIANI SEMPRE POSITIVA

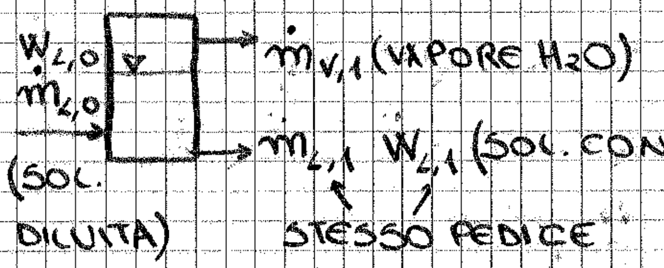
X FLUIDO PSEUDO-ELASTICO UNA PARTE DI EN. TORNA INDIETRO (CAMPO ELASTICO)

$\hookrightarrow$ TORNA EN. MECCANICA

$\rho\hat{C}_p \frac{\partial T}{\partial t} = K\nabla^2 T$ 2 LEGGE FOURIER

BILANCI INTEGRALI DI PROPRIETÀ

1.1) SOLUZ. AQUOSA NaOH DA 5% A 40% EVAPORANDO H_2O



IN STATO STAZIONARIO
↓
(APPARECCHIARE MAI IN ST. COMPLETAMENTE STAZ.)

REGIME CONTINUO

NO ACCUMULO
NO GENERAZIONE

W = FRAZ. MASSICA SOLUTO (NaOH)

$$\dot{m}_{L,0} = \dot{m}_{L,1} + \dot{m}_{v,1} \rightarrow \dot{m}_{v,1} = \dot{m}_{L,0} - \dot{m}_{L,1}$$

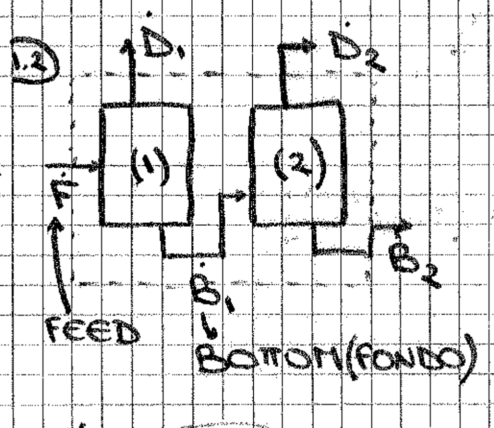
$$\dot{m}_{L,0} \cdot W_{L,0} = \dot{m}_{L,1} W_{L,1} + \cancel{\dot{m}_{v,1}} \cdot \underset{0}{W_{v,1}} \qquad \dot{m}_{L,0} = 3000 \frac{Kg}{h}$$

$W_{L,0} = 0{,}05 \quad W_{L,1} = 0{,}4$

$$\dot{m}_{L,1} = \dot{m}_{L,0} \cdot \frac{W_{L,0}}{W_{L,1}} = 3000 \cdot \frac{0{,}05}{0{,}4} = 375 \,[Kg \cdot h^{-1}]$$

$$\dot{m}_{v,1} = 3000 - 375 = 2625 \,[Kg \cdot h^{-1}]$$

1.2)



IN CONTINUO $\quad F = 1000 \; Kg \cdot h^{-1}$

2 VOLUMI CONTROLLO OPPURE 1 UNICO

2 COLONNE DISTILLAZ. A CASCATA (IN SERIE)

$W_{a,F} = 0{,}37 \quad W_{b,F} = 0{,}22 \quad W_{c,F} = 0{,}41$

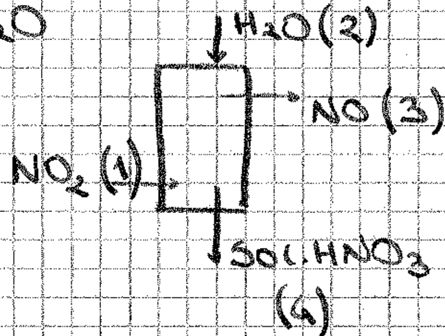
$W_{a,D1} = 0{,}99 \quad W_{b,D1} = 0{,}01 \quad W_{c,D1} = 0$

$W_{a,D_2} = \quad W_{b,D_2} = 0{,}98 \quad W_{c,D_2} =$

$W_{a,B_2} = 0 \quad W_{b,B_2} = 0{,}02 \quad W_{c,B_2} = 0{,}98$

a = BENZENE
b = TOLUENE
c = XILENE

1.3 $138\,[Kg\,h^{-1}]\ NO_2$ $\quad 114\,[Kg\,h^{-1}]\ H_2O$



$$\underset{a}{3NO_2} + \underset{b}{H_2O} \rightarrow \underset{c}{2HNO_3} + \underset{d}{NO}$$

CONVIENE BILANCIO MOLARE
(POICHE' REAZIONI)

$\dot{n}_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{138}{46} = 3\,[Kmol\,h^{-1}]$

$\dot{n}_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{114}{18} = 6\,[Kmol\,h^{-1}]$

$\dot{n}_4 = \underset{HNO_3}{\dot{n}_{4C}} + \underset{H_2O}{\dot{n}_{4B}}$

$(x_{4C} + x_{4B} = 1)$

$A(NO_2): \dot{n}_1 + \dot{n}_{gA} = 0$

$B(H_2O): \dot{n}_2 + \dot{n}_{gB} = \dot{n}_{4B} = \dot{n}_4 x_{4B}$

$C(HNO_3): 0 + \dot{n}_{gC} = \dot{n}_{4C} = \dot{n}_4 x_{4C}$

$D(NO): 0 + \dot{n}_{gD} = \dot{n}_3$

7 INCOGNITE

$\dot{n}_{g,B} = \frac{1}{2} \dot{n}_{g,C}$

$\dot{n}_{g,B} = \frac{1}{3} \dot{n}_{g,A}$ NUM. RELAZ = N. COMPONENTI − 1 = 4 − 1 = 3 (CHIMICHE)

$\dot{n}_{g,B} = \dot{n}_{g,D}$ 4 RELAZ. COMPONENTI → 4 + 3 = 7

$\dot{n}_1 = -\dot{n}_{g,A} \rightarrow \dot{n}_{g,A} = -3\,[Kmol\,h^{-1}]$ 7 − 7 = 0 → RISOLVIBILE

$\dot{n}_{g,B} = -1 \quad \dot{n}_{g,C} = 2 \quad \dot{n}_{g,D} = 1$ $\infty^0 = 1$ SOLUZ.

$\dot{n}_{4B} + \dot{n}_{4C} = (6-1) + 2 = 7\,[Kmol\,h^{-1}] = \dot{n}_4$

$x_{4C} = \frac{2}{7} = 0{,}29 \quad x_{4B} = 1 - 0{,}29 = 0{,}71$

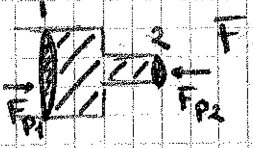
SE VOGLIO CONOSCERE CONC. MOLARE DEVONO CONOSCERE DENSITÀ (ρ)

$x_{C4} M_{C4} + x_{B4} M_{B4} = m_4 \longrightarrow V_4 = \frac{m_4}{\rho}$

$|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 2844\ [N]$

1.5) $\dot V = 0{,}1\ [m^3\ s^{-1}]$ $\quad \rho_{cost} = 850\ [Kg\ m^{-3}]$ $\quad d_1 = 3\cdot 10^{-1}[m]$

$d_2 = 6\cdot 10^{-2}[m]$



$\overline{F}_{RESIST} = ?$

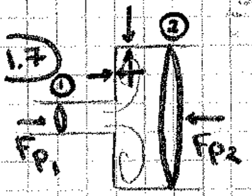
$\dot m = \dot V \cdot \rho = 85\ [Kg\ s^{-1}]$

POICHE' NON ABBIAMO $p_1, p_2 \rightarrow$ TRASCURIAMO $E_V - p_1 = p_2$

$m\,\vec{v}_1 + \sum \vec{F} = \dot m\,\vec{v}_{z2}$

$\sum F_z = m\,(v_1 - v_2) = 85\left(\frac{\dot V}{S_2} - \frac{\dot V}{S_1}\right) = p_1 S_1 - p_2 S_2 - F_z$

$= \dot m\, v_2 - \dot m\, v_1 = \rho\,(S_2 v_2^2 - S_1 v_1^2)$

1.7) 

$\rho = COST \quad \Delta p = ?$ C'E' UNA F DISSIPATA (E_V)

$\dot m\, v_1 + \sum F = \dot m\, v_2 \rightarrow \sum F = \dot m\, \Delta v = \rho \dot V\left(\frac{\dot V}{S_2} - \frac{\dot V}{S_1}\right)$

$\sum F = \rho \dot V^2 \left(\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1}\right)$ $\quad \langle v_1\rangle \cancel{\rho} S_1 = \langle v_2\rangle \cancel{\rho} S_2$

$\langle v_2\rangle = \langle v_1\rangle \cdot \frac{S_1}{S_2} = \langle v_1\rangle / \beta \quad \beta = \frac{S_2}{S_1}$

$\dot m \langle v_1\rangle + \sum F = \dot m \langle v_2\rangle$

$p \approx p_1$  $S_2 - S_1$

F_{PESO} NON AGISCE LUNGO ASSE CONDOTTO

SOLO $F_{SUP.}$ $\rightarrow F_p \rightarrow p_1 S_1 - p_2 S_2$

$\rightarrow F_{ESERCITAT\ DA\ RIDUZ} \rightarrow p_1 (S_2 - S_1)$

$\sum F_z = p_1 S_2 - \cancel{p_1 S_1} + \cancel{p_1 S_1} - p_2 S_2 = S_2 (p_1 - p_2) < 0$

$\rho \langle v_1\rangle^2 S_1 + S_2 (p_1 - p_2) = \rho \langle v_2\rangle^2 S_2$

$p_1 - p_2 = \frac{\rho (\langle v_2\rangle^2 S_2 - \langle v_1\rangle^2 S_1)}{S_2}$ $\quad p_2 > 0$

$\Delta p = \frac{\rho \langle v_1\rangle^2}{1}\left(\frac{\beta - 1}{\beta^2}\right) = \rho \langle v_2\rangle^2 (\beta - 1) > 0$

1.9 0,4 [Kg] GLICERINA
0,6 [Kg] H_2O $\Big\}$ $T_0 = 26°C \rightarrow T_f = 30,5°C$

X EFFETTO SOLO DEL Q DI MISCELA
↳ DOPO CHE SI MISCHIANO

$$Q = L_m + mp\frac{d\hat{V}}{dt} + m\frac{d\hat{U}}{dt}$$

$$\underset{\substack{\parallel \\ 0 \\ \text{ADIABATICO}}}{Q} = \underset{\substack{\parallel \\ 0}}{L_m} + mp\Delta\hat{V} + m\Delta\hat{U}$$

$$p\Delta\left(\frac{1}{\rho}\right) + \Delta\hat{U} = 0$$

NON CONOSCO ρ, SO SOLO CHE $\hat{V}$ DIMINUISCE, POICHÉ MISCELO → AUMENTA ρ GRAZIE A INTERAZ. DELLE MOLEC.

SI È PASSATO DA 2 FASI MONOCOMP A 1 MULTICOMP.

$\hat{C}_{pm} = 4,18\ [Kcal\ Kg^{-1} K^{-1}]$

$$\int_{30,5}^{26} \hat{C}_{pm}\, dT = \hat{C}_{pm} \cdot \Delta T \cdot m = 4,18 \cdot 4,5 = -18,8\ [Kcal]$$

1.10 CIRCUITO PNEUMATICO → $p = 7$ [bar]
QUANTO LAVORO X COMPRIMERE 1 [Kg] ARIA DA 100 [KPa] A 700 [KPa]

NON SI PUÒ STABILIRE SE NON CONOSCO TIPO TRASF.

VARIAZ °T TRASCURABILE → Q TRASCURABILE → ADIABATICO XKÈ TEMPI BREVI

$$\hat{L} = \int p\, dV = -\frac{p_1 \hat{V}_1}{\gamma - 1}\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right]$$

$$\hat{V}_1 = \frac{1}{\rho} \Rightarrow pV = nRT = \frac{m}{M}RT \rightarrow \frac{V}{m} = \hat{V} = \frac{RT}{pM} = 0,84\ [m^3\ Kg^{-1}]$$

$\overline{M} = 0,79 \cdot 28 + 0,21 \cdot 32 = 29,2$

1.14 T cost = 25°C

$p_0 = 1$ atm   C con compresso $p_f = 8$ atm

$$\sum \dot m_e + \cancel{\dot m_g} = \cancel{\sum \dot m_u} + \frac{dm}{dt}$$

$$\dot m_e = \frac{dm}{dt}$$

$$\Delta m = m_f - m_0 = \dot m_e (t_f - t_0) \qquad \Delta m = \frac{MV}{RT}\Delta p$$

$t_f = \Delta m / \dot m_e = 1,60\ h = 1h\ 40\ m$

$M = 28,86$

STATICA DEI FLUIDI

2.1

$h = 18$ [m]   SPINTA SUL FONDO = ? → F

TENS. MAX SUL FASCIAME = ?

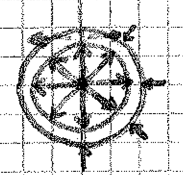
$\phi = 1,5$ [m]

ρH_2O

$p = p_0 - \rho g z \rightarrow p_{MAX} = p_0 + 1000 \cdot 9,8 \cdot 18 = 176400$ [Pa]

$F = p \cdot S = 17600 \cdot \phi^2 \pi \cdot \frac{1}{4} = 311560$ [N] → 32 TONNELLATE

POICHÈ È UNA FORZA PESO



TENS $\propto p - p_0$

$$\sigma = \frac{p - p_0}{2} R$$

2.2

$T_{AF} = 25$ [°C]

$h = 40$ m

Δp

$T_{AC} = 130$ [°C]

$$p_h^{AF} = p_h^{AC}$$

$$p_0^{AC} = \rho^{AC} \cdot g h = \frac{\bar p \cdot M_A}{R T^{AC}} g h$$

$$p_0^{AF} = \frac{\bar p\, M_A}{R T^{AF}} g h$$

$$p_0^{AF} - p_0^{AC} = \frac{\bar p \cdot M_A}{R}\left(\frac{1}{T_{AF}} - \frac{1}{T_{AC}}\right) g h$$

4.2 $D = 2,5\,[cm] = 2,5 \cdot 10^{-2}\,[m]$ $t = 25\,[°C]$ ACCIAIO

$v_{m_{H_2O}} = 2\,[m \cdot s^{-1}]$ $f = ?$ $\frac{\Delta p}{L} = ?$

$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}}{10^{-3}} = 5 \cdot 10^4 \rightarrow$ TURBOLENTO

CONTA RUGOSITÀ RELATIVA (ε_r / D)

$\varepsilon = 0,045\ mm$

$\varepsilon_r / D = 0,0018$ GUARDO TABELLA MOODY $\rightarrow f' = 0,025$

$$\frac{\Delta p}{L} = f' \cdot \rho \frac{1}{2} \langle v \rangle^2 \cdot \frac{1}{D} = 0,025 \cdot 1000 \frac{2^2}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}} = 2080\,[Pa \cdot m^{-1}]$$

4.3 $100\,[m^3 h^{-1}]$ $t_{H_2O} = 20°C$ $p = p_{ATM}$

POTENZA TEORICA (NOMINALE) POMPA = ? $\varepsilon = 0,045$

$$\langle v \rangle = \frac{\dot V}{S} = \frac{\dot V}{\frac{\pi}{4} D^2} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \dot V}{\pi \langle v \rangle}} = 0,133\,[m]$$

PRENDO TUBO COMMERCIALE + VICINO E RICALCOLO $\langle v \rangle$

$0,135\,[m]$

$$\langle v \rangle = \frac{\dot V}{S} = \frac{\dot V}{\frac{\pi}{4}(0,135)^2} = 1,94\,[m\,s^{-1}]$$

$Re = 2,72 \cdot 10^5 \rightarrow$ REGIME TURBOLENTO $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$

$f' = 0,017$

$$\Delta\left(\frac{p}{\rho} + \hat K + \hat \Phi\right) = -L_m - \hat E_v$$

$\frac{\Delta p}{\rho} = 0$ $\Delta \hat K \approx 0$ $\Delta \hat \Phi = gh = 294\,[m^2 s^{-2}]$

$$\hat E_{v,F} = 2 f \langle v \rangle^2 (L/D) = 2 \frac{f'}{4} \langle v \rangle^2 \left(\frac{300 + 20 + 25}{0,135}\right) = 80,8\,[m^2 s^{-2}]$$

ATTRITO ALLE PARETI

$\hat E_{v,L} \Rightarrow$ IMBOCCO: $\left(\frac{1}{4}\right) \langle v \rangle^2$ 2 GOMITI: $\left(\frac{L_e}{D}\right) 64$

ATTRITI LOCALI

2 VALVOLA SARAC: 14

SBOCCO $\frac{1}{2} \langle v \rangle^2$

QUANDO p_1 SCENDE INIZIA IL RUMORE → CAVITAZIONE

SE p_1 TROPPO BASSA → LIQUIDO BOLLE

SI FORMA VAPORE CHE RIEMPE BOLLE CHE SI INGROSSANO CHE PASSANO A ZONA ALTA PRESS., IMPLODONO, ONDA D'URTO, SE VICINO A SOLIDO SI CREA RISUCCHIO SU GETTO DI H_2O, ERODENDO LA SUPERFICIE

SE ALTEZZA TROPPO ALTA (10 m) NON RIESCO A RISUCCHIARE POICHÉ $p_1 < 1$ atm

ALTEZZA POSITIVA DI ASPIRAZ. NETTA (NPSH)
- 10 m TEORICI
- < 10 m REALI → CI SONO PERDITE

× RISOLVERE IL PROBL. SI USANO POMPE A IMMERSIONE

(15)

$r_H = \frac{A}{PERIM} = \frac{0,5 \cdot 0,3}{1,6} = 0,0938$ m

$\dot{m} = 0,5 [Kg \cdot s^{-1}]$

$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{28,9}{0,082 \cdot 293} = 1,2 [Kg \cdot m^{-3}]$

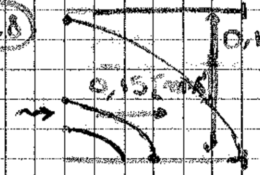
$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \rightarrow \langle v \rangle = \frac{\dot{V}}{S} = 2,76 [m/s]$

$R_e = \frac{\rho \langle v \rangle \cdot r_H}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 68000$ → REGIME TURBOLENTO

USO ACCIAIO COMMERCIALE:

$\frac{\varepsilon}{4 r_H} = 1,2 \cdot 10^{-4}$ $\quad f' = 0,02$ $\quad \Delta p = \frac{1}{2} f' \rho \langle v \rangle^2 \left(\frac{L}{D}\right) = 24,5 [Pa]$

$e_v = 1$ $\quad \hat{E}_1 = \frac{1}{2} \langle v^2 \rangle = 3,8 [m^2 s^{-2}] = 3,8 \rho [Pa] = 4,6 [Pa]$

(4.8) 

PARTIC. Φ MEDIO $= 0,5\,[mm]$

$V_{x} = 4\,[mm\cdot s^{-1}] \rightarrow \vec{v}$ VERSO IL BASSO

ASSUMIAMO CHE $\vec{V}_{ORIZZ.}$ PARTICELLE SIA $= \vec{V}$ ARIA

(IN REALTÀ SOVRASTIMIAMO L, A CAUSA DEGLI ATTRITI)

$$\Delta\tau = \frac{D}{V_{x0}} = \frac{0,1}{0,004} = 25\,[s]$$

$$L = V_a \cdot \Delta\tau = 3,75\,[m]$$

(4.9) FILTRO A SABBIA x H_2O CON RUGGINE, SCORIE ACCIAIO

$\langle\Phi\rangle = 700\,\mu m$ POROSITÀ $\varepsilon = 0,34$ $R = 70\,[cm]$

$\frac{\dot{V}}{S\varepsilon} = \langle V\rangle$; $\langle V\rangle_{REALE} = \langle V_0\rangle / \varepsilon$ $\langle V_0\rangle = 0,01\,[m\cdot s^{-1}]$

$\mu = 10^{-3}\,[Pa\cdot s]$ $\rho = 1000\,[Kg\cdot m^{-3}]$

$$Re_b = \frac{V_0 D_p \rho}{\mu}\cdot\frac{1}{1-\varepsilon} = 10.6$$

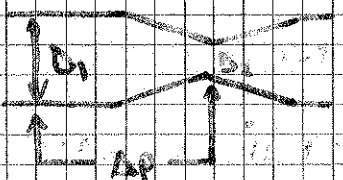
USIAMO EQ. BLAKE-KOZENY $\rightarrow \frac{\Delta p}{L} = V_0 \cdot \frac{150\,\mu\,(1-\varepsilon)^2}{D_p \cdot \varepsilon^3} = 3,39\cdot 10^4\,\frac{Pa}{m}$

(IN REALTÀ USABILE SOLO FINO A $Re \leq 10$)

USO ANCHE UN'ALTRA EQUAZ $\rightarrow$ $\frac{\Delta p}{L} = \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3}\frac{\rho V_0^2}{D_p}\left[150\,\frac{(1-\varepsilon)\mu}{D_p\,\rho V_0} + 1,75\right]$

$= 3,81\cdot 10^4\,[Pa\cdot m^{-1}]$

(4.10) VENTURIMETRO $\rightarrow$ A MISURARE PORTATA

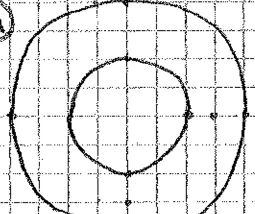


p + BASSA IN D_2

TRASCURANDO ATTRITI POICHÈ PERDITE LOCALI MINIME

$\hookrightarrow$ RACCORDI DOLCI

5.4

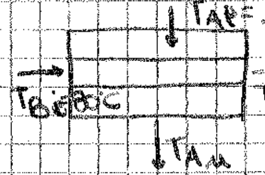


$D_e = 40,9 + 2 \cdot 3,7$ [mm]

$D_i = 52,5$ [mm]

$S_A = 3,32 \cdot 10^{-4}$ [m²]

$V_A = 1,5$ [$m \cdot s^{-1}$]



MANCANO INFO AGGIUNTIVE → NO SCAMBI CON AMBIENTE

$(T_{Be} - T_{Bu}) \cdot \dot m_B \cdot \hat C_{pB} = +(T_{Au} - T_{Ae}) \dot m_A \cdot \hat C_{pA}$

$T_{Au} = T_{Ae} + \dfrac{(T_{Be} - T_{Bu}) \dot m_B \cdot \hat C_{pB}}{\dot m_A \cdot \hat C_{pA}} = 40°C$

$\Delta T_{ml} = \dfrac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\dfrac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$ ← CONTROCORRENTE $\quad \Delta T_{ml} = \dfrac{0}{0}$

$\Delta T_1 = \Delta T_2 = 20°$ → PRENDO COME $\Delta T = 20°C = \Delta T_{ml}$ POICHE' COST.

$\dot Q = A K \Delta T_{ml}$

RESISTENZE IN SERIE → R_{H_2O} ; R_B ; R_{tubo} → TRASCURABILE → NON CONOSCO K_{Me}

$R = \dfrac{1}{h}$

TUBO INTERNO:

$S_B = 1,213 \cdot 10^{-3}$ [m²]

$V_B = 1,0$ [$m \cdot s^{-1}$]

$Re = 88000$ → REGIME TURBOLENTO → LEGGE SIEDER-TATE

$Nu = 402$ ← $Pr = \nu/\alpha = \mu C_p/K = 5,02$

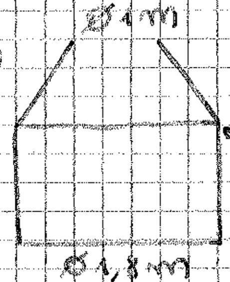
$h_B = 1435$ [$W\, m^{-2} K^{-1}$] → RESISTENZA CONTROLLANTE

TUBO ESTERNO: → SEZIONE ANULARE → USO RAGGIO IDRAULICO

$R_H = \dfrac{S}{\text{Perim. bagnato}} = 1,05 \cdot 10^{-3}$ → SOMMA PERIM. BAGNATI DALL'H_2O

$Re = \dfrac{4 R_h v \rho}{\mu} = 6300$ $\quad Pr = 7,09$, $Nu = 54,67$ → $h_A = 7667$ [$W\, m^{-2} K^{-1}$]

6.3



$$\dot{n}_A = \dot{n}_A x_A - D_{AB}\, S\, C \cdot \frac{d x_A}{dz}$$

$$x_{A0} = \frac{p_A^0}{P} \qquad \frac{\dot{n}_A}{D\, C\, S}\, dz = -\frac{d x_A}{1 - x_A}$$

$$S(z) = \frac{\pi}{4} D^2(z) = \frac{\pi}{4}(1,8 - z)^2$$

$$z = 0 \quad D = 1,8\ m$$
$$z = 0,8 \quad D = 1\ m$$

$$\frac{4\, \dot{n}_A}{\pi\, D_{AB}\, C} \int_0^{0,8} \frac{dz}{(1,8 - z)^2} = \int_{p_A^0/P}^{0} \frac{dx}{1 - x_A}$$

$$\dot{n}_A = 2,26 \cdot 10^{-7}\ [kmol\ s^{-1}]$$

6.4 $$\dot{n}_A = J^*_{m,A} \cdot 4\pi r^2 = 4\pi r^2 \left(J^*_{m,r} x_A - D_{AB}\, C \frac{d x_A}{dr} \right)$$

$$J^*_{m,r} = J^*_{m,A}$$