



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

NUMERO: 989

DATA: 18/06/2014

# **A P P U N T I**

STUDENTE: Gemello

MATERIA: Impianti Chimici + Eserc.

Prof. Fino

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

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

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

## PROCESSI → SEQUENZA OPERAZIONI UNITARIE

- SCAMBIO TERMICO → X STERILIZZAZ. / PASTORIZZAZ.
- TRASPORTO DEI FLUIDI → IND. LATTIERA
- DISTILLAZIONE → INDUSTRIA ENOLOGICA
- EVAPORAZIONE → RIMOZ. H<sub>2</sub>O
- MISCELAZIONE
- SEPARAZIONE/FILTRAZIONE

## SCAMBIO TERMICO

SCAMBIATORI DI CALORE → BISOGNA FARE DIMENSIONALI

VARIAZIONE T DI UN FLUIDO A DISCAPITO DI UN ALTRO

SE NON VOGLIO MISCHARE 2 FLUIDI, SE NON SONO IMMISCHIABILI, NON POSSO MISCELIARLI

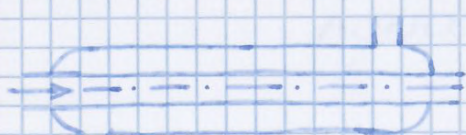
INTERPONIAMO UNA PARETE

POSSO USARE MOLTI MATERIALI, MA AD ESEMPIO I MAT. POLIMERICI HANNO BASSA T RAMMOLLIMENTO

PROBLEMI DI COSTO/PESO

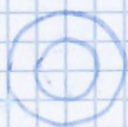
NO BASTA PARETE DA SOLA, SERVE PURE UN LIQUIDO X SCAMBIO OTTIMALE

## SCAMBIATORE DI CALORE



POSSO IN EQUICORRENTE  
O CONTROCORRENTE

SCAMBIATORE A TUBI CONCENTRICI



$$Q = W_f C_{pf} (T_{in,f} - T_{in,c})$$

↳ PORTATA FLUIDO FREDDO

$$Q = W_c C_{pc} (T_{in,c} - T_{in,f})$$



MAGARI FLUIDI POSSONO SFORCARE

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_{i0}} + \frac{1}{h_{i1}} + R_w + R_d^I + R_d^{II}$$

RESISTENZA ALLO SCAMBIO TERMICO

APPARECCHI RASCHIANTI

COEFF. DI SCAMBIO TERMICO DEI MATERIALI HANNO UN CERTO RANGE

POI CALCOLO INTERATIVO

I TERMOVALORIZZATORI SONO DEGLI SCAMBIATORI DI Q

CON INCENERITORI Q SPRECATO

SALI FUSI IN CAMICIA

### TIPOLOGIE DI SCAMBIATORI

- REFRIGERANTI
- RISCALDATORI
- CONDENSATORI
- RIBOLLITORI
- EVAPORATORI → SOLVENTE DELLA SOLUZ. EVAPORATO

A) SCAMBIATORE DENTRO REATTORE

B) SERPENTINI

C) CAMICIA → ES: MEZZO TUBO

\* SCAMBIATORI A TUBI CONCENTRICI

FLUIDO DI PROCESSO PUO' PASSARE ALL'INTERNO O ALL'ESTERNO A SECONDA AD ESEMPIO DELLA NECESSITA' DI ISPEZIONI X PULIZIA

Yeah!



## FA SCIO TUBIERO = SHELLING TUBE

ES

CALCOLARE COEFF. SCAMBIO TERMICO  $U$ , SAPENDO CHE IL COEFF. LAMINARE DI SCAMBIO INTERNO  $h_i$  È  $568 \frac{W}{m^2 \cdot C}$ ; MENTRE QUELLO ESTERNO  $h_e = 5678 W/(m^2 \cdot C)$

DIAM. INTERNO  $\phi_{IN} = 2,21 \text{ cm}$   $e = 1 \text{ m}$

SPESSORE TUBO  $S_{TUBO, IN} = 1,65 \text{ mm} = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

CONDUCIBILITÀ TERMICA  $\lambda = 55,6 W/(m \cdot C)$

$T_{IN} = 80^\circ C$   $T_{EST} = 120^\circ C$

$T_{PARETE} = ?$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{S}{\lambda} = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot C / W$$

$$U = 508,55 W/(m^2 \cdot C)$$

$$A = \pi \cdot D_i \cdot l = 6,94 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$D_e = 0,0221 + (2 \cdot 0,0165) = 0,0256 \text{ m}$$

$$S_e = 0,0798 \text{ m}^2$$

$$D^* = \frac{(D_e - D_i)}{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)} = 0,0237 \text{ m} \Rightarrow S^* = 0,0746 \text{ m}^2$$

$$Q = S^* \cdot U \cdot \Delta T = 1518 \text{ J/s}$$

NON USO  $\Delta T_{ML}$  XKE' USO  $S^* = S_{ML}$

$$Q = S_i \cdot h_i (T_p - 80) \Rightarrow T_p = 118,5^\circ C$$

SAREBBE STATO + CORRETTO, MA NON AVEVAMO ABBASTANZA  $T$

ES

UN LIQUIDO CON  $C_p = 4000 \text{ J/(kg} \cdot C)$

$$\dot{m} = 0,5 \text{ kg/s}$$

$$T_{IN} = 20^\circ C \quad T_{OUT} = 60^\circ C$$

NELLA SEZ. IN CONTROCORRENTE ACQUA CALDA

$$T_{MIO IN} = 90^\circ C$$



$$S = 1,259 \text{ m}^2$$

$L = 7,77 (+25\%) \Rightarrow$  INACCETTABILE  $\rightarrow$  + COSTI

NORME T.E.M.A.

GEOMETRIE  $\neq$  DI DISPOSIZ. DEI TUBI INTERNI

\*IN FASCIO TUBIERO NON SOLO EQUICORRENTE, CONTROCORRENTE PURO

↓  
FATTORE DI CORREZ.  $\times \Delta T_{ML}$

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T_{ML} \cdot F_T$$

$\rightarrow X \neq$  CONFIGURAZ.

ABBIAMO O FORMULA O GRAFICI

\*IN BASE AL PASSO E  $\neq$  DISPOSIZ.

AREA SCAMBIO  $\rightarrow D_e$  EQUIVALENTE  
 $\rightarrow$  SPAZIO LIBERO TRA 2 TUBI (C)

\*RAPPORTO TRA  $D_{MANTELLO}$  E LUNGH  $\rightarrow 5:10$

NUMERO Re

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

$\rightarrow$  QUANTO FLUIDO INCONTRA RESISTENZE VISCOSE

PRANDTL

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k}$$

$\rightarrow$  IDEA SU DIFFUSIVITA'

GRASHOF  $\rightarrow$  FORZE DANNEGGIAM.

NUSSELT

$$Nu = \frac{h \cdot d}{k}$$

$\rightarrow$  X DETERMINARE  $R_w$

DA  $Re, Pr, Gr$



PIASTRA TUBIERA TIENE FISSI TUBI

TESTA FISSA

↓  
TESTATA RETRO X MANUTENZIONE

TRA MANTELLO / TUBI TOLLERANZA MAX 1 CM X EVITARE  
FLUSSO ESTERNO  
↓  
IN BASE AL PASSO

BISOGNA CERCARE COMPATTEZZA

BOCCHELLI STANDARD

↓  
SPESSO FLANGIATI X NON ROVINARE CON  $\langle v \rangle$  FLUIDO  
IN INGRESSO I TUBI ALL'INGRESSO

$\langle v \rangle$  LATO MANTELLO  $< 2 \div 3 \text{ m/s}$

$\langle v \rangle$  LATO TUBI  $>$

SCAMBIATORE DI CALORE A SUPRASCHIATA  
X FLUIDO MOLTO VISCOSO

↓  
VISCOSITÀ PARTICOLARI  
↳ MARMELLATA / BUDINI / CREME

↳ ES: PSEUDOPLASTICI

ALBERO CON RASCHIATORI  $\Rightarrow 200$  GIRI AL MINUTO

↓  
VS SPORCAMENTI  
(100 ÷ 400)

X CALCOLO DEL FLUIDO NELLA CAMICIA RELAZIONI PRECEDENTI

X TUBO CON RASCHIATORE INTERNO  $Nu$  MODIFICATO



FLUIDO	1	2	
	500	1500	$e/R \rightarrow \dot{V}_1 =$
	10-90	95- $\gamma$	$^{\circ}\text{C}$
$M_{30^{\circ}\text{C}}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
$M_{100^{\circ}\text{C}}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$		
$C_p$	4000	4200	$\text{J}/(\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$
$\lambda$	0,5	0,7	$\text{W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m})$
$m$	900	1000	$\text{Kg}/\text{m}^3 \rightarrow m_1 = 0,125 \text{ Kg}$ $m_2 = 0,416 \text{ Kg}$

$D_e = \frac{4 \cdot \text{SEZ. DI PASSAGGIO}}{\text{PERIM. BAGNATO}} \rightarrow \text{DIAM. EQUIVALENTE}$

SUP. SCAMBIO =  $0,16 \text{ m}^2 = 200 \cdot 800$   
 SPESSORE =  $0,71 \text{ mm}$   
 DISTANZA TRA LE PIASTRE =  $2 \text{ mm}$

$\lambda_w = 16,3 \frac{\text{W}}{\text{C} \cdot \text{m}}$   
 ACCIAIO INOX

$m_1 C_p \Delta T_1 = m_2 C_p \Delta T_2 \Rightarrow T_2 = 83,55^{\circ}\text{C}$

T PARETE E' LA MEDIA TRA LE 2 T MEDIE

AL VARIARE DI T  $\Rightarrow$  VISCOSITA' VARIA POCO

CALCOLO QUNDI X FLUIDO 1:  $Re; Pr; (\mu/\mu_w) \Rightarrow Nu$

RIPETO X FLUIDO 2  $\Rightarrow$  RICAPO  $h_2$  RICAPO  $h_1$

$U = 3798 \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$  FARE A CASA

$4000 \cdot m_1 \cdot 80 = 4200 \cdot m_2 \cdot (95 - \gamma)$

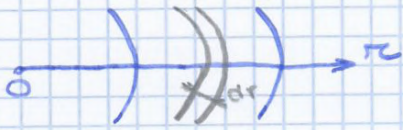
$T_2 = 83,55^{\circ}\text{C}$

$T_w = \frac{(90+10)/2 + (95+83,55)/2}{2} = 70^{\circ}\text{C}$

$Re_1 = \frac{\rho \langle v \rangle D}{\mu} = \frac{\rho V \cdot D}{M S}$



CON SUP. CILINDRICA:



$$\cancel{\frac{dQ}{dz}} + (\dot{Q}_{OUT} - \dot{Q}_{IN}) = \cancel{\dot{Q}_{GEN}} \Rightarrow \dot{Q}_{OUT} = \dot{Q}_{IN}$$

$$\dot{Q}_{IN} = \int_{IN} \frac{2\pi r L}{r}$$

$$\dot{Q}_{OUT} = \int_{OUT} \frac{2\pi (r+dr) L}{r+dr}$$

$$d(\int \cdot r) 2\pi L = 0$$

$$-k \frac{dT}{dr} = \frac{Q}{2\pi r L}$$

$$dT = \frac{Q}{k 2\pi L} \cdot \frac{dr}{r} \Rightarrow -k(T_2 - T_1) = \frac{Q}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

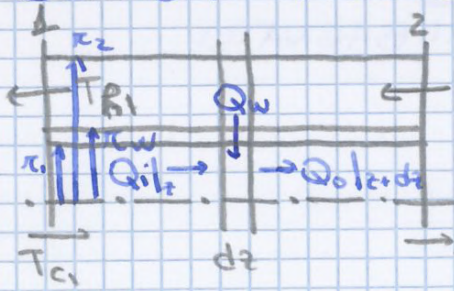
$$\dot{Q} = \frac{2\pi L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} k (T_2 - T_1)$$

$$\dot{Q} = \underbrace{2\pi L r_2}_{A_{0, OUT}} \frac{k}{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}} (T_2 - T_1)$$

$$Q = (2\pi L r_0) (T_2 - T_1) \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \cdot \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_2}{k} \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

NORMALIZZATO A SUP. ESTERNA  $r_0 = r_2$

SCAMBIATORI COASSIALI



$$\cancel{\frac{dQ_c}{dz}} + (\dot{Q}_{d1+dz} - \dot{Q}_{d1}) + \dot{Q}_w = 0$$

$$d\dot{Q}_c = \dot{Q}_w$$



ESERCIZIO

BENZENE 9820  $\frac{lb}{ft^3}$  80°F → 120°F  
 TOLUENE ? 160°F → 100°F

$$\left. \begin{array}{l} S(@68^\circ F) = 0,88 \text{ BENZENE} \\ \quad \quad \quad = 0,87 \text{ TOLUENE} \end{array} \right\} \rho_w = 62,5 \frac{lb}{ft^3}$$

$$R_i = R_o = 0,001$$

↑ COEFF. SPORCAMENTO

IPS 1 1/4 in, L = 20 ft

TUBI IN POSSESSO  
 ↳ QUANTINE SERVONO

IPS 2 in

$$Q = \dot{m} C_p \Delta T = \frac{lb}{ft^3} \frac{BTU}{lb^\circ F} \cdot ^\circ F$$

$$1 \text{ in} = \frac{1}{12} \text{ ft}$$

$$k: \frac{BTU}{ft \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \left( \frac{kcal}{ft \cdot K \cdot m} \right)$$

$$M: 1 \text{ CP} = 2,42 \frac{lb}{ft \cdot hr}$$

$$\hat{C}_p: \frac{BTU}{lb^\circ F} \left( \frac{kcal}{kg \cdot K} \right)$$

$$\hat{C}_{pB}(100^\circ F) = 0,425 \frac{BTU}{lb^\circ F}$$

$$\hat{C}_{pT}(130^\circ F) = 0,44 \frac{BTU}{lb^\circ F}$$

$$\dot{m}_B \hat{C}_{pB}(120^\circ - 80^\circ) = \dot{m}_T \hat{C}_{pT}(160 - 100)$$

$$\dot{m}_T = \frac{\dot{m}_B \hat{C}_{pB}(120 - 80^\circ)}{\hat{C}_{pT}(160 - 100)} = 6330 \text{ lb/hr}$$

PORTA MAGGIORE IN SEZ. > X MINIMIZZARE PERDITE P

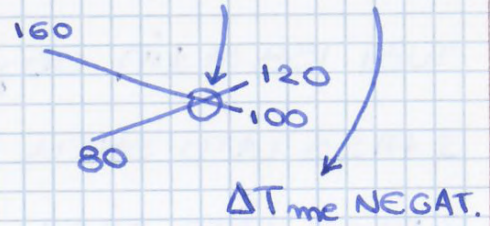
$$\rho_B = 0,88 \cdot 62,5 = 55 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_T = 0,87 \cdot 62,5 = 54,38 \text{ lb/ft}^3$$



$$k = 0,085 \frac{\text{BTU}}{\text{...}}$$

IMPOSSIBILE EQUICOR:



**FASCIO TUBIERO**

SE SUP. SCAMBIO SAREBBE TROPPO GRANDE

○ ○ PASSO QUADRATO

○ ○ PASSO TRIANGOLARE

○ ○ CLIENTS

$P_T$  → PASSO/PITCH

SE C'È CAMBIO DI FASE

↳ CONDENSAZIONE

↳ NON CADONO GOCCE SU TUBO SOTTOSTANTE

$T_B$  → DIST. ASSIALE TRA 2 SETTI

↳ BUFFER

ESERCIZIO

4300	$\frac{c_b}{r}$	KEROSENE	390°F → 200°F	API 42°
149000	$\frac{c_b}{r}$	CRUDE OIL	100°F → 170°F	API 36°



$$Q_R = 43800 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \cdot 0,605 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} (390-200) = 5100000 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

$$Q_C = 4900 \cdot 0,49 \cdot (170-100)^\circ\text{F} = \dots$$

$$\Delta T_{me} = \frac{T_{H1} - T_{C1} - (T_{H2} - T_{C2})}{e_n \frac{T_{H1} - T_{C1}}{T_{H2} - T_{C2}}} = \frac{(390-170) - (200-100)}{\dots} = 152,5^\circ\text{F}$$

$$F_T = \begin{cases} R = 271 \\ S = 0,241 \end{cases} \rightarrow F_T = 0,905$$

COEFF. CORRETTIVO  
X NON CONTROCORR.  
PURO

$$\Delta T_e = \Delta T_{me} \cdot F_T = 138^\circ\text{F}$$

$$a_i = 0,515 \text{ m}^2$$

$$a_{i\text{TOT}} = a_i \frac{N_{\text{TOT}}}{N_{\text{PASS}}} = \frac{0,515 \cdot 180}{144 \cdot 4} = 0,141 \text{ ft}^2$$

$$Re = \frac{m D_i}{a_{i\text{TOT}} \mu} = 8220$$

$$D_i = \frac{0,81 \text{ m}}{12 \text{ m/ft}} = 0,0675 \text{ ft} \quad \int \frac{L}{D} = \frac{16 \text{ ft}}{0,0675 \text{ ft}} = 237$$

SOLO DELLA L DEL TUBO, NO CURVA

$$J_H = 31$$

$$C_p = 0,49 \text{ (} T_w = 135^\circ\text{F)}$$

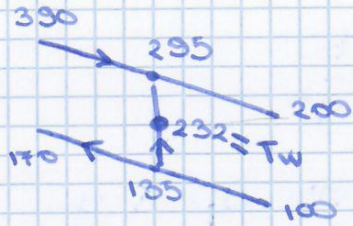
$$k = 0,077 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^\circ\text{F}}$$

$$P_{wi} = J_H \frac{k}{D_i} P_r^{1/3} \left( \frac{M}{M_w} \right)^{0,14} =$$

$$\frac{P_{wi}}{\left( \frac{M}{M_w} \right)^{0,14}} = 135$$

X CALCOLO CARICO CI SERVE ANCHE L'ALTRO  $P_{wi}$





$$T_w = 135 + \frac{169}{109 + 169} (295 - 135) = 232^\circ\text{F}$$

$$T_w = 232^\circ\text{F} \Rightarrow \mu_{\text{KER}} = 0.56 \text{ cP} \cdot 2.42 = 1.36 \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{hr}}$$

$$\mu_{\text{OIL}} = 1.5 \text{ cP} \cdot 2.42 = 3.63 = \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{hr}}$$

$$\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \Big|_{\text{KER}} = \left(\frac{0.97}{1.36}\right)^{0.14} = 0.96 \Rightarrow h_o = 169 \cdot 0.96 = 162 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}^\circ\text{F ft}^2}$$

+4% DI DIFF

$$\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \Big|_{\text{OIL}} = 1.11 \Rightarrow h_{io} = 109 \cdot 1.11 = 121 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}^\circ\text{F ft}^2}$$

+11% DI DIFF

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{io}} + \frac{1}{h_o} = \frac{1}{121} + \frac{1}{162} = 69.3 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}^\circ\text{F ft}^2} \quad \text{SE PULITO}$$

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U} + R_d = 57.4 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}^\circ\text{F ft}^2} \quad \text{SE SPORCO} \rightarrow \text{USO QUESTO}$$

ORA DEVO VERIFICARE SE AREA DI SCAMBIO E' SUFFIC.  
(CALCOLO DI VERIFICA)

$$A = N_{\text{TUBI}} \cdot OD_t \cdot \pi \cdot L_{\text{TUBO}} = 158 \cdot 0.2618 \text{ ft} \cdot 16 \text{ ft} = 662 \text{ ft}^2$$

$$U_{d \text{ MIN}} = \frac{Q}{A \cdot \Delta T_{\text{LM}}} = \frac{5100000 \text{ BTU/hr}}{662 \text{ ft}^2 \cdot 138^\circ\text{F}} = 55.8 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}^\circ\text{F ft}^2} < 57.4$$

MI BASTA ← OK

### CALCOLO PERDITE DI CARICO

$$\Delta p = 2 f_o v^2 \frac{L}{D}$$

DISTRIBUITE

TUBI

• Di

• De

NEL DIAGRAMMA DI MOODY



X SHELL & TUBE

$$\Delta p = f \cdot \frac{\rho v^2}{2g} \cdot D_{SHELL} (N+1) \cdot \frac{1}{D_e}$$

LATO MANTELLO

NUM. PASSAGGI

$D_{SHELL}$

$$N+1 = \frac{L}{B} \cdot \frac{P_e}{P_t} = [ADIM]$$

DA FIGURA JH  
RAPPORIO TRAVISCOSSITA'  
" 0,96

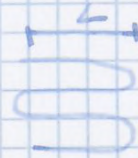
FARE A CASA: RISULTATO = 3,5 psi

X LATO TUBO

$$\Delta p = f \cdot \frac{\rho v^2}{g} \cdot \frac{L \cdot m}{D_e} \cdot \frac{1}{P_e}$$

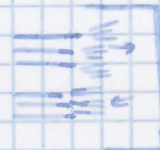
LUNGH. TOTALE

1,11



$$\Delta p_{loc} \leftarrow K = 4 \cdot m$$

NUMERO PASSAGGI



NUMERO GRANDE A CAUSA DEL COLLETTORE

$$\Delta p_{loc} = 2,9 \text{ CG/in}^2$$

$$\Delta p_{TOT}^{TUBO} = 2,2$$



MEZZO FILTRANTE } TESSUTO  
                          } TESSUTO NON TESSUTO (ES: FELTRO)

PRODUR. DI FILATI AVVOLTI X  
PRODURRE TRECOLI  
(SOLITAMENTE 7)

↓  
ARMATURA → FILO DI TRAMA

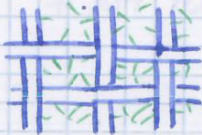


TELA

↓  
LA BAVETTA / PASSA SOPRA E SOTTO LA TRAMA

FENOMENO RITORCITURA

↑  
TRA BAVETTE PASSA IL FILTRATO  
POICHE' ABBIAMO DELLA LUCE



↓  
BAVETTE ROTTE  
OCCUPANO LA LUCE

↓  
FACILITANO LA FILTRATURA

↓  
MATERASSINI DI FIBRE  
(NO TELAI)

↓  
STOFFA OTTENUTA SENZA  
TELAJ

↓  
FILTRE IN MATERASSINO  
CON COLLA PASSATI  
IN FORMA

FIBRE NUOVE GIAPPONESI  
CON MATERIALE PLASTICI  
CO PASSATE IN FORNI

GIOCANDO SULLO SPESSORE CON MATERASSINO SI  
PUO' FARE FILTRAZIONE PROFONDA, IL TESSUTO  
SOLO SUPERFICIALE

2 TECNICHE OPERATIVE:

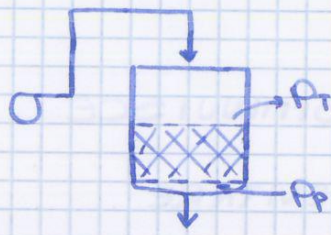
① PORTATA COSTANTE → CON POMPA

↓  
AUMENTA  $\rho$  X CONTRO ALL'AUMENTARE DELLO  
SPESSORE A CAUSA DEL RESIDUO

↓  
LIMITE: MAX  $\rho$  DI POMPAGGIO



PIASTRA NON LISCIA NON FAR SCHIACCIARE LA TELA VS LA PIASTRA

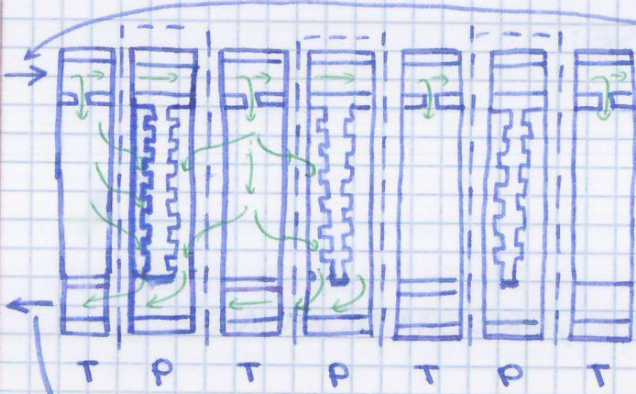


SOSTEGNO DELLA PIASTRA ALLA TELA SENZA SCHIACCIARLA CONTRO

$$P_p < P_t$$

FORO IN TELAIO X FAR ENTRARE TORBIDA

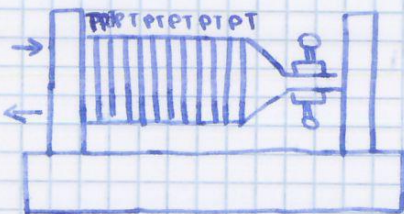
FORO IN PIASTRA X FAR USCIRE FILTRATO



COLLETTORE DI ALIMENTAZIONE (TORBIDA)

PACCO SERRATO DA UNA PRESSA

COLLETTORE DI SCARICO (FILTRATO)



SI INIZIA E SI FINISCE CON TELAIO

NUM. TELE DOPPIO DEL NUM. DELLE PIASTRE

TELAIO: CONTENGONO IL RESIDUO

PIASTRA: X FAR DEFLUIDIRE FILTRATO

TELE SPESSO PASSATE PRIMA E DOPO LA PIASTRA, PASSANDO SOPRA IN ALTO X FISSAGGIO + AGEVOLE (VEDI LINEE TRATTEGGIATE SOPRA)

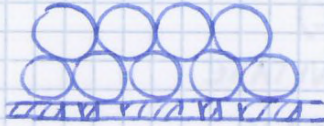
$$N. TELE = N. PIASTRE / 2$$

$$N. TELAI = N. PIASTRE + 1$$



PERÒ IN REALTÀ FORMA UN LETTO GRANULARE

OCUPA  $V >$  → CI INTERESSA POROSITÀ



$$\text{POROSITÀ } \epsilon = \frac{V_{\text{vuoto}}}{V_{\text{TOT. LETTO GRANULARE}}}$$

$$\epsilon = \frac{V_{\text{vuoto}}}{V_{\text{vuoto}} + V_{\text{pieni}}}$$

IN UN LETTO DI SFERE UGUALI:  $\epsilon = 0,38$

ABBASTANZA RARO

DA RICORDARE

↳ CON MACINAZIONE

POROSITÀ + GRANDE SE SFERE TUTTE UGUALI

PARTIRE SEMPRE DA  $\epsilon = 0,35 \div 0,4$  (ALTA)

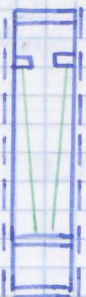
MEGLIO SOVRADIMENSIONARE

SE MANCANO  
INFORMAZIONI +  
PRECISE

$V_{\text{MIN,T}} + \text{GRANDE DI } V_S$

$$0,4 = \frac{V_v}{V_v + V_s} \Rightarrow 0,6 V_v = 0,4 V_s \Rightarrow V_v = \frac{0,4}{0,6} \cdot 0,083 = 0,055 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{TOT}} = V_v + V_s = 0,083 + 0,055 = 0,138 \text{ m}^3$$



TESSUTO DEVE ESSERE IL + POSSIBILE  
UNIFORME

È RAGIONEVOLE PENSARE CHE, CAUSA LA  $\rho_s >$ ,  
IL FILM DI SOLIDO SIA + SPESSE IN BASSO

↓  
C'IM QUANDO DUE STRATI IN BASSO SI TOCCANO

SENNO' POI DOPO SI RIDURREBBE SUP. UTILIZZABILE  
DELLA TELA



$$V_s = 0,5 \div 1,5 \text{ mm/s}$$

IPOTIZZIAMO IN QUESTO CASO  $V_s = 10^{-3} \text{ m/s}$

X CASI PARTICOLARI, ES. LIQUIDI DA MACERAZIONI, CHE FANNO PATINE SUI FILTRI, ANCHE  $0,2 \text{ m/s}$

$$S_{mf} = 42 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 10,5 \text{ m}^2$$

$$V_f = S_{mf} \cdot V_s = 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\Delta$$

PORTATA DI FILTRATO

$$t = \frac{10 \text{ m}^3}{10,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\Delta} = \frac{V_{\text{TORBIDA}}}{V_f} \approx 10^3 \Delta$$

ORA DOVREI VEDERE SE  $V_{\text{TOT OCCUPATO}}$  HA DIMENS. RAGIONEVOLE X STARE NELLO STABILIM.

IL  $t$  È ACCETTABILE O MENO IN BASE ALL'USO

DOBBIAMO CONSIDERARE  $t$  MORTI X PULITURA FILTRI

UNA SOLUZ. SARA' + FILTRI CHE FUNZIONANO ALTERNATIV.

DEVO FARE L'OPERAZIONE ENTRO TOT MINUTI

DA  $t$  (DATO) RICAVO  $S_{mf} \rightarrow$  ES. ALL'INVERSO

MAGARI CI VIENE UN PICCOLO STRATO DEPOSITATO,

QUINDI MAGARI PULITO SOLO OGNI TOT VOLTE

SE PROBL. TROPPI SOLIDI STRATIFICATI SI AUMENTA

IL NUMERO DI TELAI E SI ABBASSA VELOCITA'

POI DETERMINO MOTORE X POMPAGGIO DA COMPRARE

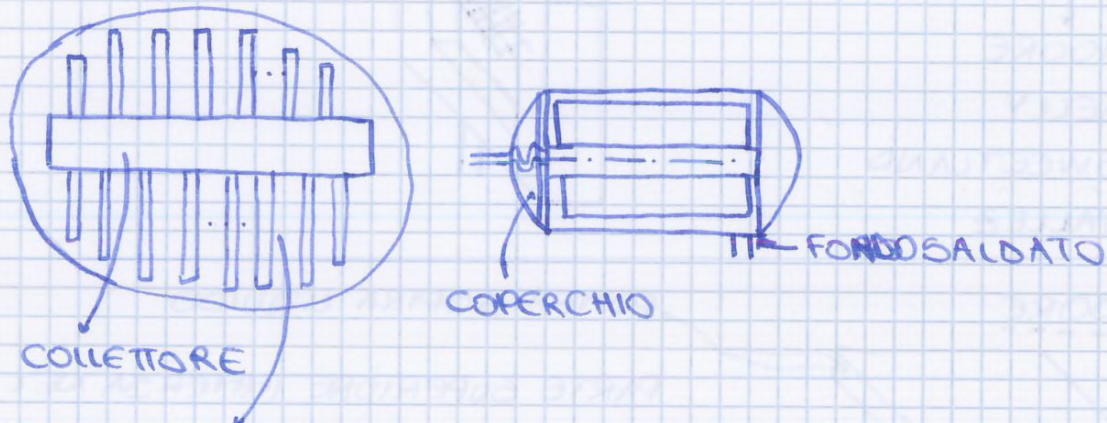
TEMPI DI AMMORTAMENTO DEI COSTI



## KELLY

FOGLIE IN INVOLUCRO CHE CONSENTE UNA LEGGERE SOVRAPRESS.

FORMA DI GUSCIO CILINDRICO



EQUIPAGGIO: INSIEME DI FOGLIE RACCOLTE NELL'INVOLUCRO

L'EQUIPAGGIO DEVE SMALTIRE IL RESIDUO, VIENE TOLTO DAL CILINDRO E PULITO

PEZZI DI RICAMBIO FONDAMENTALI

↓  
DEVONO ESSERE PRESENTI NEL MAGAZZINO  
(SENNO' FERMO IMPIANTO)

FONDO IMBOLLITO: LAMIERA IMBOTTITO DA IMBOTTITRICE

≠ COMPLICAZ. IMPIANTISTICHE

↓  
SALDATURE / GUARNIZIONI / ...

ACCIAIO IN SALDATURA SI LIQUEFA, NON + OMOGENEO  
(C+Fe)

↓  
PERDE PROP. OTTIMALI → SALDATURE SONO DELICATE

↓  
SOGGETTE A CORROSIONE / RUGGINE



ULTERIORE MODIFICA: COLTELLO X TAGLIARE QUANDO NECESSARIO IL SOLIDO ATTACCATO

(X ELIMINARE OPERAIO / RIDURRE TEMPI PULIZIA

OGNI FOGLIA HA IL SUO COLTELLO, CHE SI AVVICINA QUANDO NECESSARIO DISTACCO

TELE LAVORANO MEGLIO SE LEGGERMENTE SPORCE (PICCOLO DEPOSITO)

↓  
LASCIO DEPOSITO DI  $\approx 1$  mm  
(COSÌ FILTRA SUBITO BENE)

↓  
SENNO' ALL'INIZIO IL FILTRATO IMPURO DEVE ESSERE FILTRATO

↓  
IN ALTERNATIVA SI PUO' USARE UN COADIUVANTE, CHE FORMA SOTTILE STRATO

INERTE

FARINA FOSSILE → ESOSCHELETRO DI MICRORGANISMI

ULTIMA EVOLUZIONE: FAR GIRARE I DISCHI DURANTE LA FILTRAZIONE

↓  
LAVORA QUASI IN CONTINUO, COLTELLO TAGLIA SOLIDO IN BASSO

↓  
UNA VERSIONE LAVORA IN CONTINUO (POCO USATO)



## MODELLO DI CARMAN-KOZENY

COMPLETA LAVORO  
(AMERICANO)

↓  
L'IDEATORE (CECO)



IMMAGINO CANALINI DI PASSAGGIO IN  
MALTA OPACA)  $N_c; D_c$   
PERCORSI ALLA STESSA  $v_c$

$$\Delta P = \frac{f}{2} \rho_c v_c^2 \frac{L}{D_c}$$

IN REALTA' NON CONOSCO  $v_c; D_c; N_c$

$$V_F = V_S \cdot S = v_c \cdot S_c$$

↑  
SERZ. TOTALE (COMPRESSIVA) DEI CANALINI

IPOTESI:

1) IL VOLUME TOTALE DEI CANALINI E' UGUALE AL  
VOLUME TOTALE DEI VUOTI

$$V_S S = v_c S_c$$

$$V_S \underbrace{S L}_{V_p + V_v} = v_c \underbrace{S_c L}_{V_v}$$

VOLUME TOT

VOLUME VUOTI

$V_p + V_v$

$V_v$

$$v_c = V_S \frac{V_p + V_v}{V_v}$$

$$\boxed{v_c = \frac{V_S}{\epsilon}}$$

$$\frac{V_v}{V_p + V_v} = \epsilon \rightarrow V_v = \epsilon V_p + \epsilon V_v \rightarrow V_v (1 - \epsilon) = \epsilon V_p$$

$$V_v = \frac{\epsilon}{1 - \epsilon} V_p$$

$$N_c \frac{\pi}{4} D_c^2 L = \frac{\epsilon}{1 - \epsilon} V_p = \frac{\epsilon}{1 - \epsilon} N_p \frac{\pi}{6} D_p^3$$

2) IPOTESI DI CARMAN

LA SUP. TOTALE DEI CANALINI E' = ALLA SUP. TOTALE  
DELLE PARTICELLE

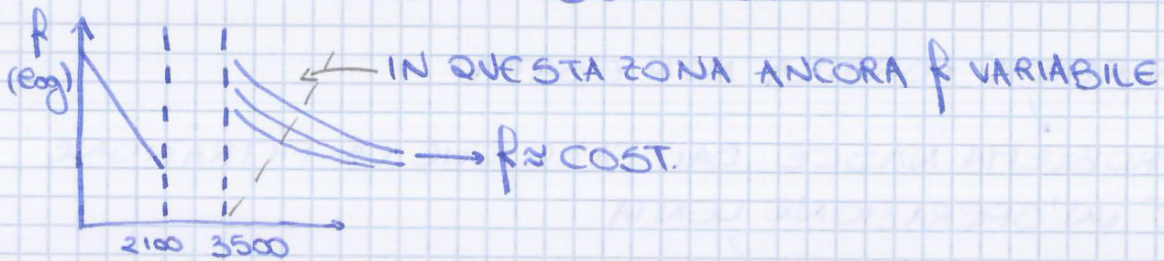


PROBL: POMPE SOTTO DIMENSIONATE X RISTAGNAZIONI, PERCORSI TORTUOSI

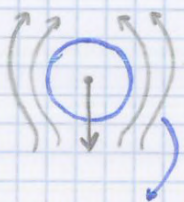
$$\Delta P = 180 \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \cdot \frac{\mu L V_s L}{D_p^2} \quad \text{DA USARE}$$

DA COMBINARE CON  $\Delta P = \frac{f}{2} \rho v^2 \frac{L}{D}$

NO REGIME DI TRANSIZIONE POICHE' DIFFICILE RICAIVARE  $f$  → RISCHIO SORPRESE



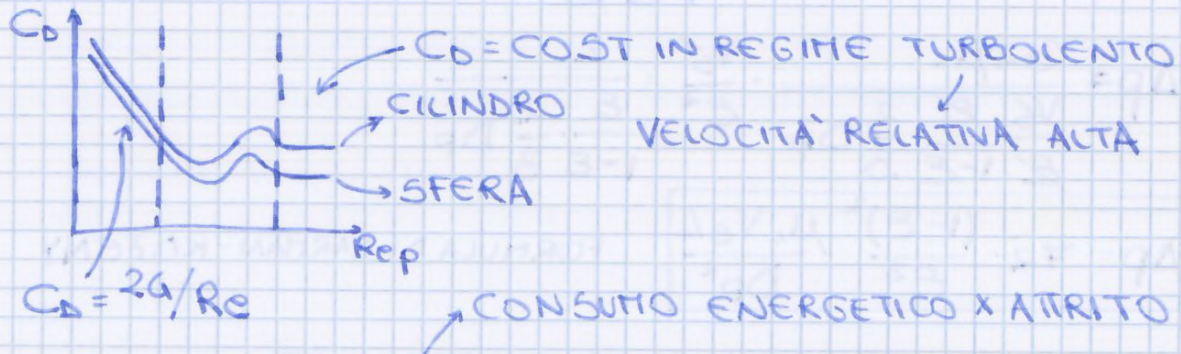
MOTO LAMINARE  $\Delta p \propto v$ ; MOTO TURBOLENTO  $\Delta p \propto v^2$



+ CURVE CHE DIPENDONO DALLA GEOMETRIA E DALLA RUGOSITA'

SOLIDO IMMERSO IN UN FLUIDO

RESISTENZA DIPENDE DA  $C_D$  (FORMA)



NEI LETTI GRANULARI VALE RAGIONAM. SIMILE

$$Re_p = \frac{\rho V_s D_p}{\mu} \rightarrow \text{VELOCITA' SUPERFICIALE}$$



$$A: 150 \frac{1-E}{Re_F} + 1,75 = 180 \frac{1-E}{Re_F}$$

$$30 \frac{1-E}{Re_F} = 1,75 \Rightarrow \frac{Re_F}{1-E} = 17$$

ORA ABBIAMO 2 PUNTI ANGOLI, MA MENO DRAMMATICI

SERVE POCO POICHE' REGIME:

LAMINARE X FILTRI

↓  
C.K.

TURBOLENTO X COLONNE

↓  
B.P.

USANDO PERO' METODO COMPLETO CONTROLLO  $Re_F$

X FILTRI  $\rightarrow \frac{Re_F}{1-E}$  DEVE ESSERE < DI 70

NORMALMENTE VALORI < DI 10

### ESERCIZIO DIMENSIONAM. FILTRO

CI SERVE UN FILTRO X CHIARIFACARE 50 m<sup>3</sup> AL GIORNO DI UNA SOLUZ.

L'OPERAZ. SI PUO' REALIZZARE FRAZIONATA IN + OPERAZ. DISTANZiate NEL TEMPO.

CONSIDERANDO ANCHE  $t_m$  UN OPERAZIONE OCCUPA AL MASSIMO 12 h

500 kg DI SOLIDO

VEICOLO ACQUA  $\left\{ \begin{array}{l} \rho_L = 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ \mu_L = 10^{-3} \text{ Kg/m}^3 \end{array} \right.$

$\phi = 1 \rightarrow E = 0,38$

$D_p = 20 \text{ mm}$

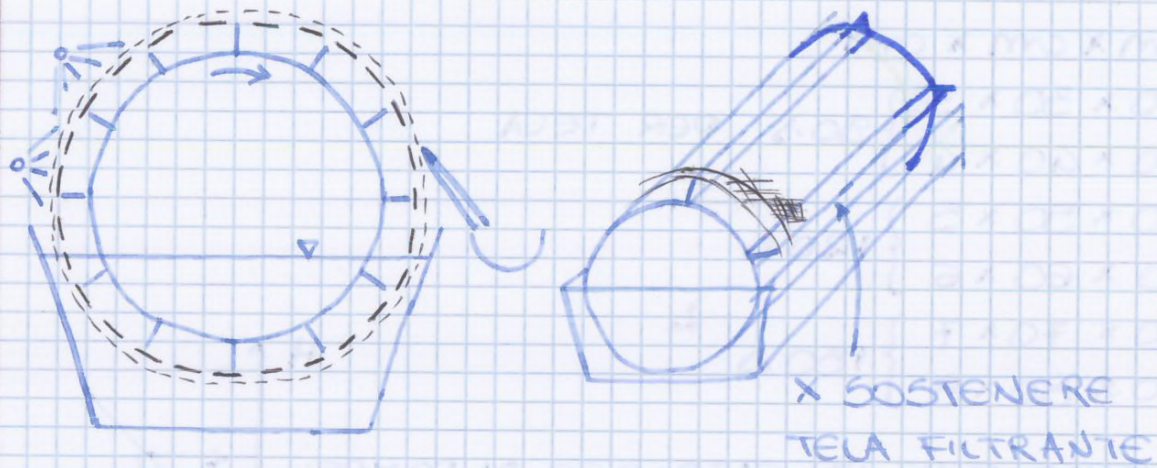
$\rho_s = 1250 \text{ Kg/m}^3$

POSSIAMO IPOTIZZARE UNA  $V_s = 0,3 \div 0,5 \text{ mm/s}$

TEMPO DI PULIZIA DIPENDONO DALLE DIMENSIONI DELLE TELE

LA SERA VOGLIAMO FILTRO PULITO





TELA GROSSOLANA CON SOPRA TELA FINE

NELLA VASCA DI PUO' METTERE ELICA (AGITATORE AD ALTO RPM)

QUELLI CHE FILTRANO SONO QUELLI IMMERSI

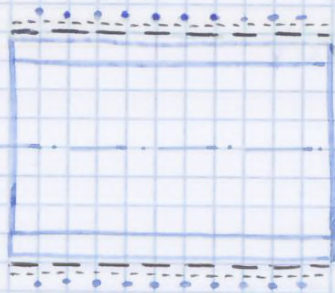
USATE DELLE DOCCE X LAVARE IL DEPOSITO (A SX NEL DISEGNO)

USATO COLTELLO X STACCARE SOLIDO

LO STRATO DI SOLIDO CRESCE DA IMMERSIONE FINO A EMERSIONE, COSTANTE DOPO, FINO A QUANDO NON VIENE TAGLIATO DAL COLTELLO

SOLIDO FATTO CADERE IN UN CASSONE

PROBL: COLTELLO ROVINA TELA



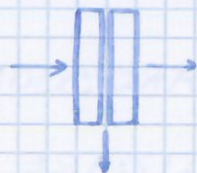
PUNTINI = CAVI D'ACCIAIO

SCHIACCIANO TELA

EVITANO CONTATTO TELA-COLTELLO

NO ABRASIONE LASCIAO STRATINO -> PREST. ↑





RISCHIO: COLATURE



CHIUSURA A LABIRINTO

SI CREANO PERDITE DI CARICHE COSÌ PORTATA CHE COLA DIMINUISCE

POSSIBILE VARIANTE:

AL POSTO DI AVERE UNA VASCA APPARECCHIO ALIM. DALL'ALTO (CON SPRUZZATORI)

CHIAMATI FILTRI CARICATI DALL'ALTO

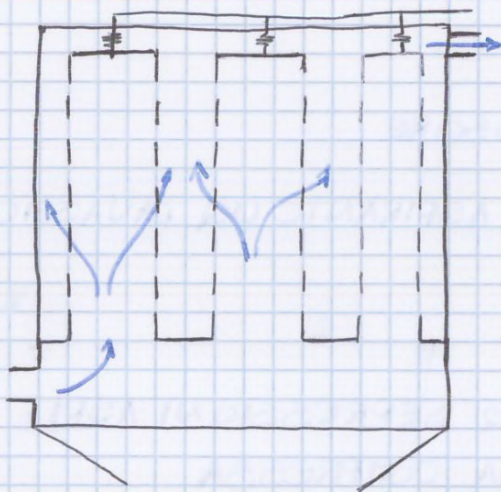
IN BASSO, VASCA SOLO A CONTENIMENTO

USATO X MATERIALI PARTICOLARI, PERCHÉ SENNO' PROBL. DI INTASAMENTO UGELLI DEGLI SPRUZZ.

### FILTRI A MANICHE

IN CONTINUO

ARIA POLVEROSA DAL BASSO



X PULIZIA DELLE MANICHE DI TELA USATI DEI MOLLE NORMALMENTE CHE TENGONO MAGLIE TESE E X PULIZIA TALVOLTA MOLLE VIBRANO  
↓  
RUMOROSO

ESISTONO ALTRE TECNICHE - RUDIMENTALI



## MACINAZIONE

OBIETTIVO: DIMINUIZIONE DIMENS. PARTICELLE SOLIDE

TRASFERIM. DI MATERIA FAVORITO DA SUP. ↑

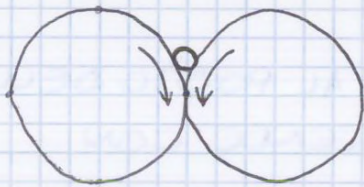
MACINAZIONE VELOCIZZA LE OPERAZIONI

AD ESEMPIO: SCIOLGIMI + VELOCCE

SI PUO' LAVORARE X COMPRESSIONE O X URTO

SISTEMI A RULLO

MULAZZE ANTICHE  
X OLIO



PROBL. SE IL MATERIALE NON E' FRAGILE, CHE  
QUINDI SI DEFORMA CHE SI PUO' RIAGGREGARE

X OLIO SPESSE NON BASTA COMPRESSIONE,  
SFRUTTATO SFORZO DI TAGLIO

↳ CILINDRI LEGGERMENTE ≠ CON VELOC.  $\omega =$

≠  $v$  PERIFERICHE → SFORZI TAGLIO

OPPURE CILINDRI =, VELOC.  $\omega \neq$

URTO → MARTELLI, ...

MULINI A MARTELLI

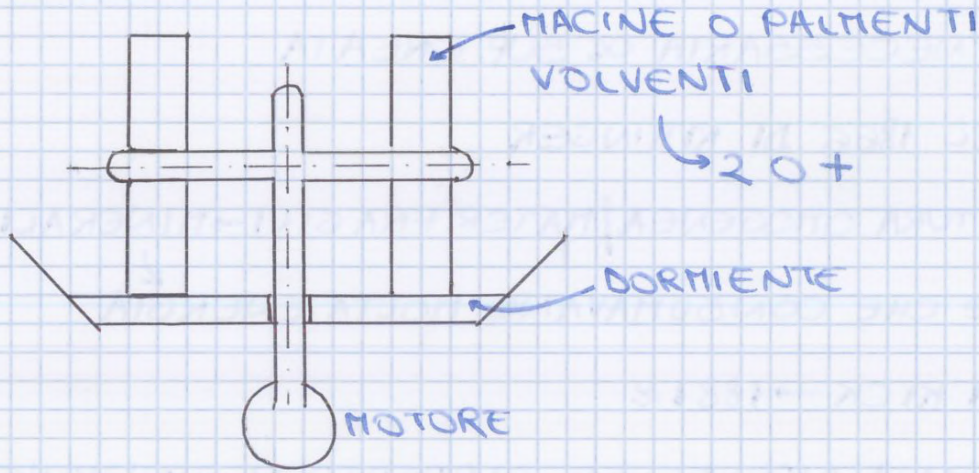
X MINERALI / DISINTREGATORI X OLIO

PRIMA DI FARE ALTRE OPERAZ. BISOGNA FARE  
COALESCERE LE GOCCIOLINE



# MACCHINE A COMPRESSIONE

## MOLAZZA



FIN DAL TEMPO DEI ROMANI

SIA COMPRESSIONE CHE SFORZO DI TAGLIO  
(A LACERAZ. MEMBRANE CELLULARI DELLE OLIVE X OLIO)

↑  
SPESORE LARGO → PATTINAMENTO

MACINE IN PIETRA → I ROMANI LE PRENDEVANO IN

NON MANTENERE SAPORI

OGGI USATO IL GRANITO

- VALIDO POICHE' + ETEROGENEO (RUOTA ASSORBE OLIO/ACQUA)

↳ PULITURA PERIODICA VS IRRANCIDIMENTO

PROBL. DEL METALLO E' CHE VIENE BAGNATO DA 50% DI H<sub>2</sub>O NELLE OLIVE (DEVE ESSERE INOX)

1,5 m DIAMETRO; 30-40 CM SPESORE

DIMENSIONI ABBASTANZA FESSE, NON SI POSSONO FARE TROPPO PICCOLE

IN GRANDI PRODUZIONI + IN SERIE



AD ESEMPIO USIAMO UNA RUOTA CON 20 DENTIE  
L'ALTRA DA 21 DENTIE

ALTRIMENTI  
SPESSE WF, MA  $\tau_c =$ , POICHE' COSTI MAGGIORI  
DI PRODUZIONE, MA VANTAGGIO PIU' ECONOMICAL  
CONVENIENTE NEL FUNZIONAMENTO

SUL TOTALE I VANTAGGI SI COMPENSANO

### MACCHINE AD URTO

A MARTELLI      MACCHINE VELOCI X POLVERI FINISSIME

NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE USATI SPESSE MATERIALI  
IN POLVERE

A VOLTE NON POSSIBILE → VEDI NOCCIOLE

SI DIVIDE IN OLIO + PARTE SOLIDA

USATO NELLE PASTIGLIE → POLVERI COMPRESSE

TALVOLTA SONO RIVESTITE, ALTRE VOLTE NON  
NECESSARIO

POLVERE FACILE DA DOSARE

SE GRANULOMETRIA + ALTA GUSTO - INTENSO MA +  
DURATURO (IN CARAMELLE)

MACCHINE AD URTO MACINANO, MESCOLANO + APERTU  
RE X INSERIRE LIQUIDO AGGREGANTE (COLLANTE)

VELOCITA' DI DISSOLUZIONE GESTITA DA CASA  
PRODUTTRICE (TIC-TAC)

ANCHE NEI FARMACI

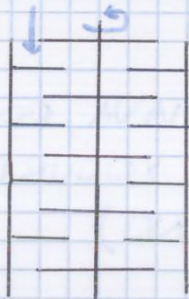


PIOLI ≠ TRA LORO X FAR AVANZARE IL MACINATO  
ALL'INTERNO UGELLI X SPRUZZARE LEGANTI X  
FORMARE GRANULI

SPESSE + MACCHINE IN CASCATA

SUCCESSIVAMENTE COMPRESSA VIENE RIVESTITA

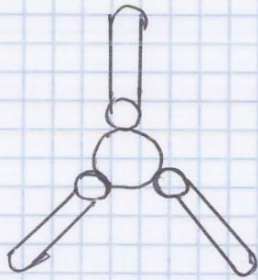
MACCHINA USATA ANCHE X LE OLIVE IN MACCHINE  
CHIAMATE DISINTEGRATORI



AL FONDO SI CREA UNA PASTA

VANTAGGIO: LASCIA NOCCIOLI INTERI  
O A PEZZI GROSSI

PIOLI POSSONO ESSERE ARTICOLATI (INCERNIERATI)



VANTAGGIO: SE CADE UN BULLONE  
ALL'INTERNO NON CAPITA NULLA  
(ALTRIMENTI DISASTRO)

X MINERALI / RIFIUTI

RISCHIO OGGETTI SOLIDI

TALVOLTA MOLLE

ROTTURE

TENGONO I MARTELLI SCHIACCIATI



## CICLONI

PARTICELLE X PESO CADONO

BASSA EFFICENZA X NANOPOLVERI

+ EFFICIENTE SE + CICLONI IN SERIE



## PRECIPITATORE ELETTROSTATICO

CAMERA CON ALL'INTERNO DELLE PIASTRE

FINO A PARTICELLE SUBMICRONICHE

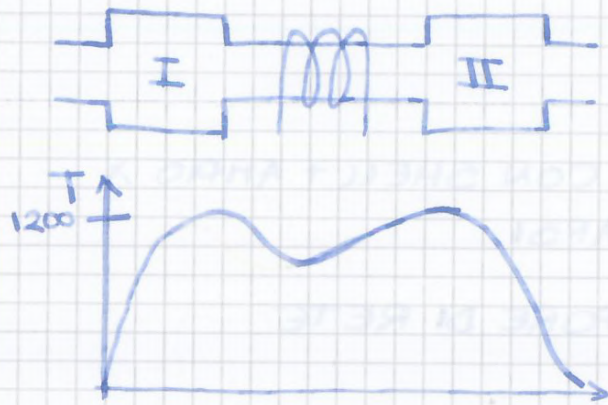
ANCHE AD ALTE TEMPERATURE (FINO A 650 °C)

FILTRI A MANICHE A TAMB. O T'UN PO' > CON GORETEX

NESSA DIFFERENZA DI POTENZIALE

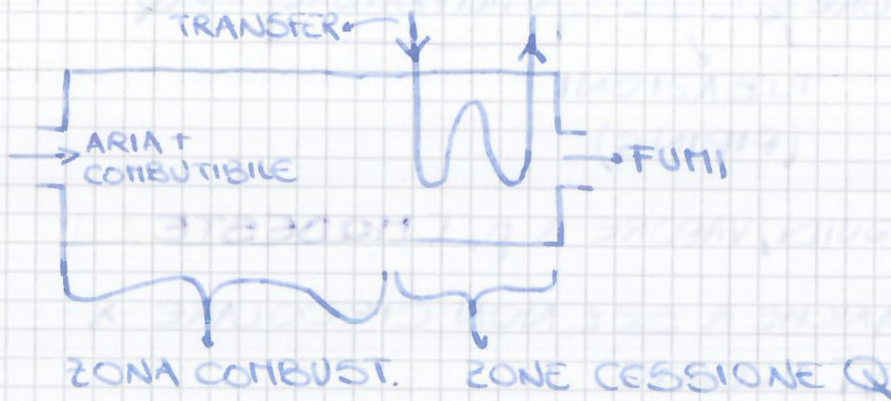
POLVERI SI ATTACCANO ALLE PIASTRE POI STACCATE A SECCO O A UMIDO (CON ACQUA)





SE A UNO STADIO  
FINO A 1600 ÷  
1800 °C  
↓  
COMBUSTIONE  
CON  $K_{MAX}$  A 2000 °C

MATERIALI: ALUMINA, ZIRCONIA ( $ZrO_2$ )  
STRUTT. CERAMICHE CON C → SiC  
TETRALLOY → Fe-Cr-Al-



### CALDAIE

CON TRANSFER LIQUIDO

A TUBI DI FUMO

A TUBI D'ACQUA

IN BASE A P È PROD. DELL'  $H_2O$  USATA

$H_2O$  IN CORPO CON ALL'INTERNO TUBI CON  
ALL'INTERNO I FUMI CALDI DA COMBUSTIONE

APPARECCHIATURA GROSSA

↳ FASCIO TUBIERO

PREGI: ELEVATO VOLANO TERMICO  
ABBASTIANZA ECONOMICO

DIFETTI: INERZIA,  
BASSA P

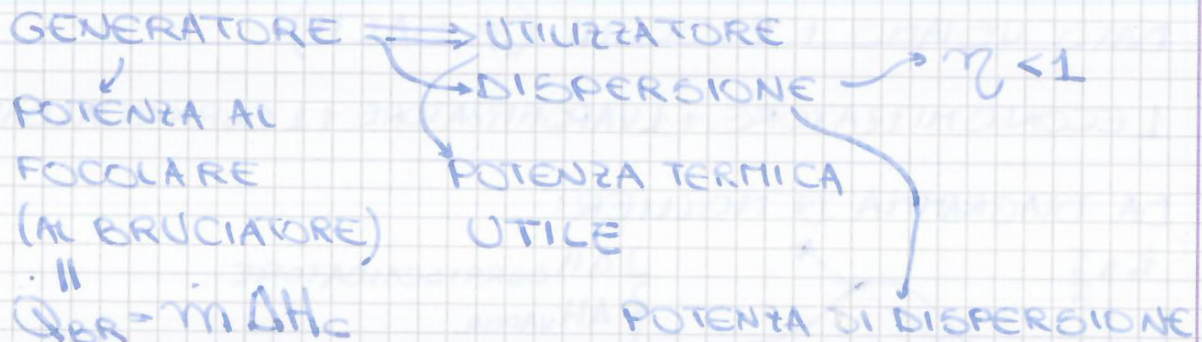


CIFRA DI CIRCOLAZIONE = RAPPORTO TRA PORTATA D'H<sub>2</sub>O AUMENTATA E VAPORE PRODOTTO

VENTILATORE X SPINGERE FUMI CALDI (PRESSIONE)

ASPIRATORE X RIMUOVERE FUMI ESAUSTI (DEPRESSIONE)

SE ENTRAMBI DEPRESSIONE <



X  $\eta$  2 METODI:

• DIRETTO

$$\eta = \frac{\phi_u}{\phi_{comb}} = \frac{m_v (h_v - h_a)}{m_c H_i}$$

DECAURATURA DEI FUMI  
 SONO ANCORA ABBAST. CALDI (LIMITI DI LEGGE)  
 X PROGETTAZ. CANNI ≠ DIAM.  
 ↳ V > VENTO, CONDIZ. ATMOSF METEOROLOGICHE

• INDIRETTO

$$\eta = \frac{\phi_u}{\phi_{comb}} = 1 - \frac{\sum \phi_p}{m_c H_i}$$

PERDITE

$$\sum \phi_p = \phi_{FUMI AL CANNINO (SF)} + \phi_{SL} + \phi_{IRRAGGI} + \phi_{VARIE}$$

" INCOMBUSTI

**CONCENTRAZIONE**

EVAPORATORI → ALLONTANO L'H<sub>2</sub>O (ESEMPIO X CONSERVE)

PASTORIZZAZIONE X ALLUNGARE LA VITA DEGLI ALIMENTI, UCCIDENDO MICRORGANISMI

STERILIZZAZ. X UCCIDERE LE SPORE



$$V_0 = 230,69 \text{ kg/R}$$

$$U = 1500 \text{ kcal/m}^2\text{R}^\circ\text{C} \Rightarrow A = a \text{ m}^2$$

ES

$$F = 65 \text{ kg/R}$$

$$T_F = 15^\circ\text{C}$$

$$T_F = 10,9\%$$

$$C_{L_1} = 60,1\%$$

Teb

DA LEGGE CLAPEYRON  $\ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$

$$\text{IPE} = \Delta T = K_{\text{eb}} \cdot C \rightarrow \text{INNALZAM. EBULLIOSCOPICO}$$

↑  
DIAGRAMMI DI DURHING  $\rightarrow$  mol soluto / kg solv.

$$t_2 - t_1 = K (T_2 - T_1) \Rightarrow \text{RETTA}$$

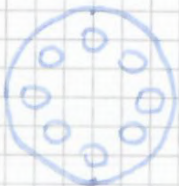
IN BASE A P TROVO  $T_{\text{eb}}$  DEL SOLVENTE PURO E POI CON IL GRAFICO DETERMINO, CONO SCENDO C, LA  $T_{\text{eb}}$  DELLA SOLUZ.

SPESSE IPE TRASCURABILE (X SOLUZ. DILUITE)

USO DIAGRAMMI ENTALPIA - CONC.

CI POSSONO ESSERE FENOMENI DI TRASCINAM

IMPUREZZE NEL VAPORE DI RETE  $\rightarrow$  ARIA IN COND.





SERVIREBBE T DELL' H<sub>2</sub>O DI RAFFREDDAM. MOLTO BASSA, CONVIENE COMPRIMERE I VAPORI X CONDENSARLI + FACILMENTE

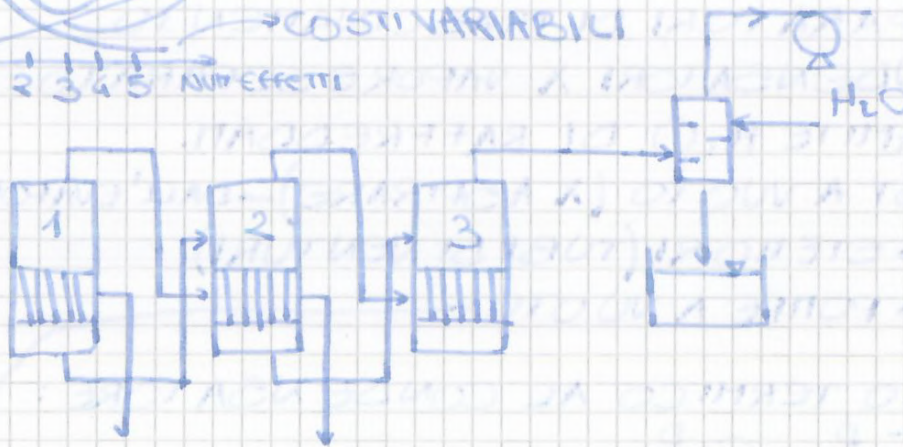
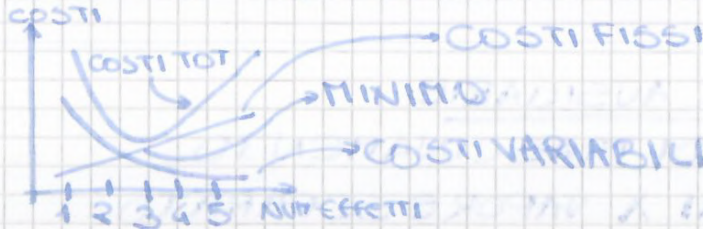
↓  
EIEITTORE ALL'USCITA DELL'EVAPORATORE

NEI CONDENSATORI H<sub>2</sub>O DI RAFFREDDAM. DALL'ALTO IN CONTROCORRENTE

(VAPORE VA VS L'ALTO)

NUMERO DI STADI EVAPORATORI IN SERIE

↓  
EFFETTI → X RISPARMIO ECONOMICO DEV'OTTIMIZZARE



VIA VIA SI CONCENTRA

SEMPRE + VISCOSO → > COEFF. SCAMBIO

$P_1 > P_2 > P_3$  → NON SERVONO POMPE

$T_1 > T_2 > T_3$

OPPURE POSSO MUOVERMI DA  $P_3 < A < P_2$

MA COSTI X POMPE IN ENERGIA

↓  
SCONVENIENTE



## ESSICCAMENTO

ELIMINAZ. DI UNA % DI H<sub>2</sub>O

VS BATTERI

TALVOLTA H<sub>2</sub>O POI REIMMESSA

USATO ANCHE X FANGHI REFLUI ESSICCATI

X RIDURRE IL PESO X DISCARICA → CASTIGLIONE TORINESE

X PRODURRE PELLETS

↳ 3 · 10<sup>6</sup> ABITANTI eq

GAS CALDI / ARIA CALDA SECCA

LIOFILIZZAZIONE → ELIMINAZ. H<sub>2</sub>O CON SUBLIMAZIONE

ESSICCAZIONE ELIMINA + H<sub>2</sub>O NEGLI CONCENTRATI

ESSICCATORE AD ARIA PUÒ FAR ENTRARE O<sub>2</sub>, CHE  
OSSIDA IL PRODOTTO

ESSICCATORE → SCAMBIATORE Q → ARIA ALL'INGRESSO  
≠ IN BASE AL PERIODO  
DELL'ANNO

↓  
DEVO AVERE CHE LO STESSO  
PRODOTTO STANDARD

SPESSE PERÒ NON SI USA ARIA, DI CUI SI CONOSCONO  
TUTTE LE CARATTERISTICHE

TRASPORTO CONDUTTIVO TRA ARIA E PRODOTTO CON  
DIFFUSIONE, CONVEZIONE, ...

PRIMA DIMENSIONO, POI FACCIAMO DELLE PROVE

UNA PRIMA PARTE + AGGRESSIVA X RIDURRE + H<sub>2</sub>O, UNA  
SECONDA PIÙ PRECISA



$$P = P_v + P_{GS} = Y_v P + Y_{GS} P = Y_v P + (1 - Y_v) P$$

↳ GAS SECCO

$$\lambda = \frac{m_v}{m_{GS}} \quad \text{TITOLO}$$

UR =

$T_{bs} \rightarrow T$  DI BULBO SECCO

↓  
QUELLO MISURATO DAL NORMALE TERMOMETRO

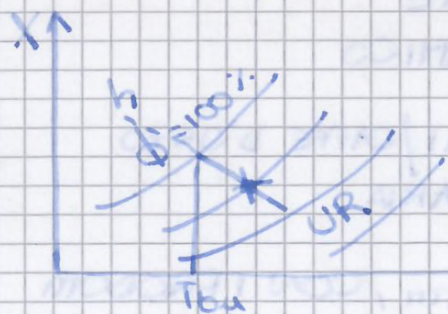
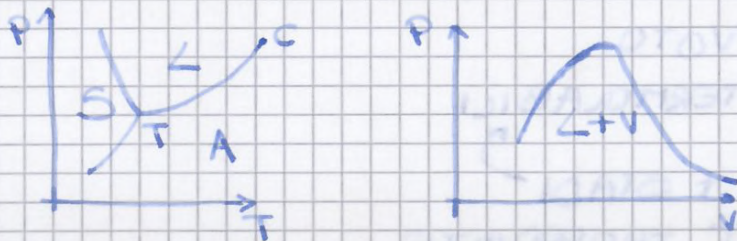
$T_{bu} \rightarrow T$  BULBO UMIDO

↓  
BAGNATO DA GARZA A CONTATTO CON L'ARIA  
(T + BASSA)

PSICROMETRO

$T_r = T$  RUGIADA  $\rightarrow T$  SATURAZ.

USATO DIAGRAMMA PSICROMETRICO DI MOLLIER



$T_{bs}$   $\rightarrow$  TROVO  $T_{bu}$  PARTENDO DAL PUNTO, POI SEGUE CURVA  $h$ , FINO A  $\phi = 100\%$ , POI GIU' IN VERTICALE



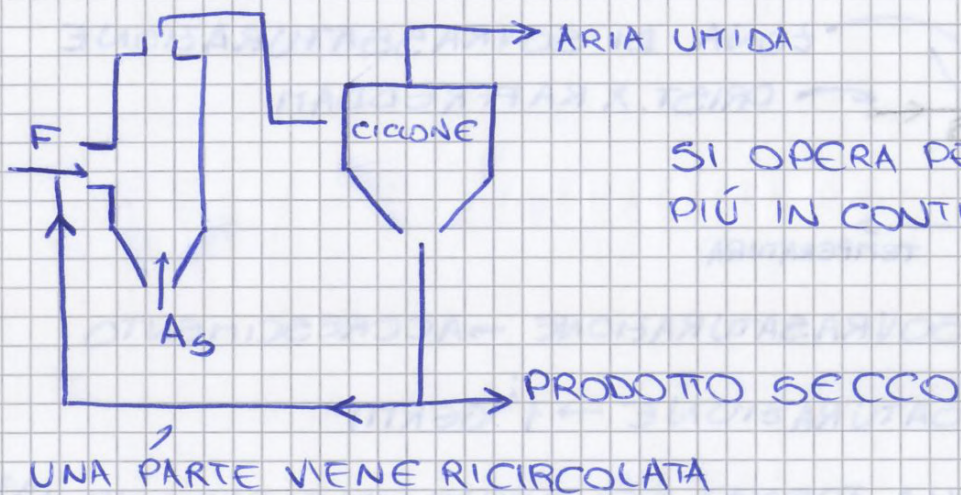
IN QUELLI A TUNNEL ALCUNI VEDONO ARIA + SECCA,  
ALTRI + UMIDA

A TAMBURO ROTANTE USATO ANCHE X INCENERITORI  
INDUSTRIALI PASTOSI (ES: OSPEDALIERI) (X FRUTTA)

- ↳ INCENERITORI A LETTO FLUIDO:  $< 1000^{\circ}\text{C}$
- "                  A GRIGLIA:  $1200^{\circ}\text{C}$
- "                  A LETTO FLUIDO CILINDRO ROTANTE:  $1600^{\circ}\text{C}$

OPPURE NELL'EDILIZIA

A LETTO FLUIDO CON RICIRCOLO:



SI OPERA PER LO  
PIÙ IN CONTINUO

AD ARMADIO → DISCONTINUO

SOTTOVUOTO → CON GAS  $\neq$  ARIA (ES: AZOTO)

A SILOS → CON COCLA X MISCELAMENTO



ACCRESCIM. CRISTALLO ← X SOLUZI. STATICA

$$\frac{dm}{dt} = DA \frac{dc}{dx} = k_m A (c - c_{sat})$$

COEFF. DIFFUSIONE

CONC. SOLUZI.

CONC. SATURAZ. LIMITE

$$\frac{dm}{dt} = k_r A (c_i - c_i^*)$$

COST. REAZIONE

FASE DI DEPOSITO

SE  $i=1$  SI SEMPLIFICANO I CALCOLI

### IMPIANTI DI CRISTALLIZZAZIONE

PUO' ESSERE ANCHE SOLO UN BECKER/CATINO  
CON ATTESA

↳ CRISTALLI GROSSI

POI SEPARO ACQUE MADRI CON FILTRO

↳ COSTOSO, LAVORO MANUALE

OPPURE EVAPORO SOLVENTE O RAFFREDDO  
ENTRAMBI

POSSO CONTROLLARE T CON AGITAZ/SERPENTINI

MEGLIO CAMICIA X PULIZIA DEI SERPENTINI

POSSO METTERE RASCHIATORE (NELLO SCAMBIATORE)  
↳ > SCAMBIO TERMICO

SITUAZIONE A RIMONTAGGIO = RICIRCOLO

FINO AD ORA VISTI A RAFFREDDAM.



## MISCELIERO

### MISCELAZIONE E SEPARAZIONE

LEGATO A QDM E RISCALDAM. (SCAMBIO Q)

IN UN REATTORE

1) MISCELE POSITIVE: MIX FAVORITA TD

2) " NEGATIVE: MIX SFAVORITE TD  
↳ SERVE LAVORO

SE SMETTO TORNA INDIETRO

3) MISC. NEUTRO: SFAVORITA, MA NON TORNA INDIETRO

CON USO TENSIOATTIVI: DA NEGATIVE A NEUTRE

MECCANISMO → DIFFUSIVO → CASUALE

↳ CONNETTIVO → PARTICELLE + GROSSE

QUANDO SI FRAZIONANO IN PARTI + PICCOLE SI MISCELANO

X SEMISOLIDI → MISCELATORI A TAGLIO

↳ CON ASPIRAZ. + F CENTRIFUGA

MISCELATORI AGITATORI → X IND. ALIMENTARI

MOVIM. PLANETARIO DEGLI ORGANI

MISCELATORI A V → NON UNIF → + IN SERIE

// A ELICHE

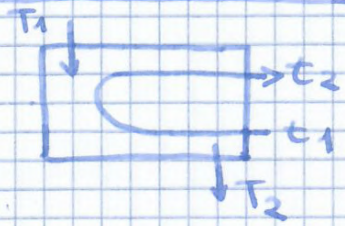
↳ IMPACCANO

LETTI FLUIDIZZATI → NON X PARTICELLE TROPPO PICCOLE

↳ NON X PART TROPPO GROSSE



IN SCAMBIATORI



DISEGNI SOLO RAPPR, NON  
INDICANO MANTI. / TUBO

$$T = T_R \quad t = T_C$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$
$$= \frac{T_{1R} - T_{2R}}{t_{2C} - t_{1C}}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2}$$
$$= \frac{t_{2C} - t_{1C}}{T_{1R} - T_{2R}}$$



$$D_j = ID_{SFERA} = 12,09 \text{ in} = 1,01 \text{ ft} \quad \text{TAB 11}$$

$$\text{TAB 4} \quad k(150^\circ\text{F}) = 0,386 \text{ BTU}/(\text{hr} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ\text{F})$$

$$\text{FIG 2} \quad C_p(150^\circ\text{F}) = 1 \text{ BTU}/(\text{lb} \cdot ^\circ\text{F})$$

$$P_c^{1/3} = \left(\frac{C_p M}{k}\right)^{1/3} = 1,4$$

$$R_{ij} = j \frac{k}{D_j} P_c^{1/3} = 588 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

JACKET

$$R_{io} = 1500 \text{ BTU}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{R_{ij}} + \frac{1}{R_o} = \frac{1}{588} + \frac{1}{1500} \Rightarrow U_c = 423$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{U_c} + R = \frac{1}{423} + 0,005 \Rightarrow U_o = 136 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$\dot{Q} = U_o \cdot A \cdot \Delta T$$

$\Delta T_{\text{me}}$  poiché T COST.

$$A = A_{\text{LAT}} + A_{\text{FONDO}} = \pi \cdot D_j \cdot H + \frac{\pi}{4} D_j^2$$

LIVELLO LIQUIDO LEGGERM > DI CAMICIA CON VAD,  
TANTO MISCELATO E COIBENTATO

$$A = \pi \frac{12,09}{12} \cdot \frac{10}{12} + \frac{\pi}{4} \left(\frac{12,09}{12}\right)^2 = 3,44 \text{ ft}^2$$

$$\Delta T = \frac{Q}{U_o \cdot A} = \frac{32600}{136 \cdot 3,44} ^\circ\text{F} = 69,7 ^\circ\text{F} \approx 70 ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{STEAM}} = (150 + 70) ^\circ\text{F} = 220 ^\circ\text{F}$$

SI POTREBBE ANCHE FARE ES. DI VERIFICA X  
VEDERE SE A SUFF.

$$T_w = T_c + \frac{R_{\text{HOT}}}{R_{\text{HOT}} - R_{\text{COLD}}} (T_H - T_c) = 150 + \frac{1500}{1500 - 588} \cdot 70 = 200 ^\circ\text{F} = 93 ^\circ\text{C}$$

VERIFICA CHE  $T_w < T_{\text{eb}}$   
SENNO' BOLLE E SCAMBIO ↓



$$j_H = \frac{20}{\pi} \left( \frac{CM}{k} \right)^{-1/3} \left( \frac{M}{M_w} \right)^{0,14} \rightarrow 1 \rightarrow H_2O$$

$$j_{0,11} = \frac{j_H k}{D_e} \left( \frac{CM}{k} \right)^{1/3}$$

$$= \frac{75 \cdot 0,356}{0,046} \cdot \left( \frac{1,2}{0,356} \right)^{1/3} = 21032$$

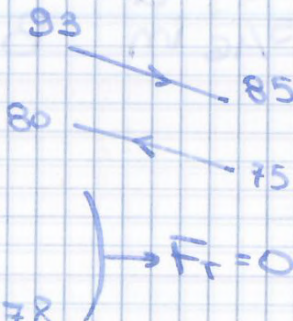
$$\frac{1}{D_0} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_{i0}} + R \Rightarrow U_0 = 259,5$$

$$U_{0,11} = \frac{Q}{A \cdot \Delta T_{ML}} =$$

$$\Delta T_{ML} = 11,43 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$R = \frac{93 - 85}{80 - 75} = 1,6$$

$$S = \frac{80 - 75}{93 - 75} = 0,278$$



$F_T = 0,95$

$$T_{TRUE} = 10,86 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$A = OD \cdot \pi \cdot L \cdot N_c = 502 \text{ ft}^2$$

$$U_{0,11} = \frac{1400000}{502 \cdot 10,86 \text{ } ^\circ\text{F}} = 258 \text{ ft/h} < 259,5 \text{ OK!}$$

PERDITE DI CARICO TUBO

$$\Delta P_d = \frac{f}{2} \frac{G_c^2 \cdot L \cdot m}{\rho_g ID_c \cdot \psi_c} = 5,65 \text{ psi}$$

$$f = 0,0019$$

$$G_c = \frac{m}{a_s} = 1509000$$

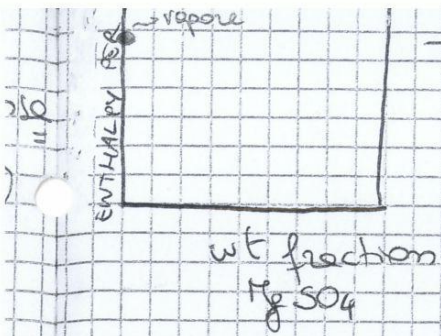
$$\Delta P_e = 4m \frac{(\rho v)^2}{144 \rho g} = 2,42 \text{ psi}$$

(poiche' in psf SENNO')

LATO MANTELLO L/B

$$\Delta P_d = \frac{f}{2} \frac{G_s^2 ID_{sh} (N+1)}{\rho_g D_{sh} \cdot \psi_s} = \frac{0,0025 \cdot (700000)^2 \cdot 15/16 \cdot 16/1}{62,5 \cdot g \cdot 0,55} = 7,8 \text{ psi}$$





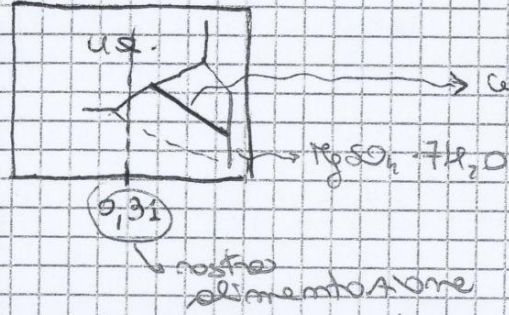
Bisogna trovare i punti operativi: vapore solido, liquida, ecc.  
Vapore: ha una certa entalpia ma siccome  $w_t = 0$ .

$H_{vap}(86^\circ F)$ : da tabelle:  $P_{ass} = 0,578 p$   
 $H_{vap} = 1038 \frac{Btu}{lb}$

Tracciamo punto del vapore (rosso).

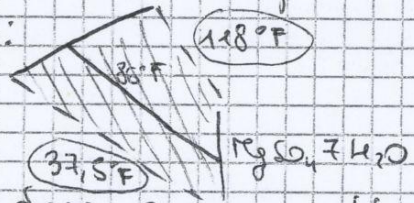
Nel grafico c'è una curva fatta così che separa liquido da miscela solido-liquida.

Al di sotto delle curve si ha formazione di cristalli. Sul fondo ci sono i sali idrati (o noi interesse quello del  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ).

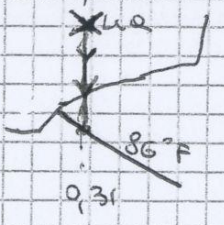


Non sappiamo  $T$  dell'alimentazione  
 → curva a  $86^\circ F$ , se questa curva non avesse intercettato la curva del solido  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  non sarebbe stato precipitato il sale che si sarebbe formato.

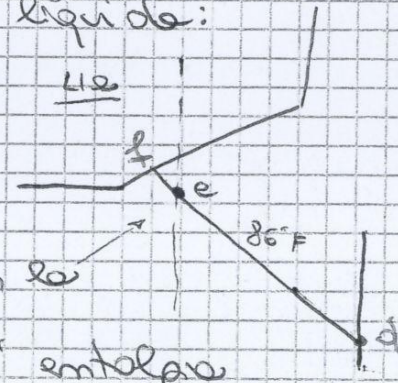
C'è un regolatore all'interno del pannello c'è equilibrio liquido-sale  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ :



La  $T$  dell'alimentazione deve essere abbassata in quel zone xkè si ottiene precipitazione di  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ .



Il vapore è a  $86^\circ F$ : ha una parte solida e una liquida:



Individuo il punto  $f$  (liquido) e il punto  $d$  (solido), di cui posso vedere composizione:

$d$ : wt 0,488  
 $H_{sd} = -143 \frac{Btu}{lb}$   
 $f$ : wt 0,285  
 $H_{liq} = -43 \frac{Btu}{lb}$

Il vapore è indicato con la lettera  $e$ .  
 La composizione e l'entalpia lo leggiamo semplicemente sugli assi (ascisse = wt; ordinate =  $H-hat$ )



l'entalpia del solido e quella del liquido; fermo a regge del grafico.

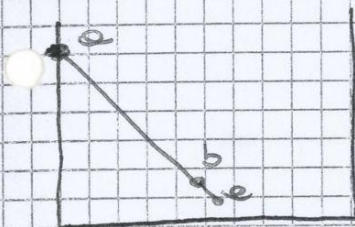
Resta da determinare l'alimentazione.

Trascuriamo lo stream waste, per cui portata entrante  $\dot{e} = \dot{a}$  quella uscente. Essendo solo in uscita il solido, la portata di <sup>evaporata</sup> vapore è uguale alla frazione liquida dell'alimentazione.

Il solido dell'alimentazione è pari a quello prodotto (uscita) e il vapore uscente è uguale al liquido entrante nell'alimentazione.

Alimentazione lo indichiamo con il punto b:

$$H_b = 1098 + \frac{(-64,4 - 1098)}{0,322 - 0} \cdot 0,31 = -19 \text{ Btu/lb}$$



equazione della retta

Il punto b è sulla congiungente di a con e ed ha wt = 0,31.

Ora si sfrutta regola della leva:

$$\overline{be} \propto \dot{Q}_{\text{vap}} ; \overline{ba} \propto \dot{Q}_{\text{ugme}}$$

$$\Rightarrow \overline{be} : \dot{Q}_{\text{vap}} = \overline{ba} : \dot{Q}_{\text{ugme}} \Rightarrow \dot{Q}_{\text{vap}} = \frac{\overline{be}}{\overline{ba}} \cdot \dot{Q}_{\text{ugme}}$$

$$\dot{Q}_{\text{vap}} = \frac{H_b - H_e}{H_w - H_b} \cdot \dot{Q}_{\text{ugme}}$$

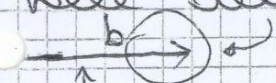
→ xkè un rapporto tra le ipotenuse è uguale al rapporto tra i cateti corrispondenti (sulle ordinate)

$$= \frac{-19 - (-62)}{1098 - (-19)} \cdot 54543 = 2124 \text{ lb/hr}$$

$$\dot{Q}_{\text{alim}} = \dot{Q}_{\text{ugme}} + \dot{Q}_{\text{vap}} = 54543 + 2124 = 56667 \text{ (#)}$$

Intersezione tra -19 ( $H_b$ ) e wt = 0,31 troviamo punto b ⇒ leggiamo T corrispondente: 130°F

(#)  $\dot{Q}_{\text{alim}}$  è  $\dot{Q}_{\text{ugme}} + \dot{Q}_{\text{vap}}$  se l'alimentazione è a valle del ricircolo; fermo è  $\dot{Q}_{\text{solido}} + \dot{Q}_{\text{vap}}$ .



Nel caso in cui alimentazione sia a valle del ricircolo la portata a monte è 56667 -



X LATO MANTELLO:

$$Re = \frac{\rho v D_e}{\mu}$$

$$D_e = \frac{\text{AREA SHELL}}{\text{PERIM. BAGNATO}} = \frac{\pi/4 D_{\text{SHELL}}^2 - 6 \pi/4 D_{\text{TUBI}}^2}{67 \cdot \pi D_{\text{TUBI}}}$$

SOLO QUELLO A CONTATTO CON I TUBI

$$D_e = 0,148 \text{ ft} \quad \text{≠}$$

$$Re = \frac{62,5 \text{ CG/ft}^3 \cdot \text{m} \cdot 0,148 \text{ ft}}{3,6 \text{ CG/ft}^3 \cdot \mu_{\text{SHELL}} = 0,55 \text{ ft}^2} = 17$$

X LATO TUBO:

$$ID_t = 0,62 \text{ in} = 0,0517 \text{ ft}$$

$$Re = \frac{\rho v d_t}{\mu} = 81267$$

X LATO MANTELLO:

$$Re \xrightarrow{\text{FIG 24}} j_H = 61,5$$

$$Pr^{1/3} = \left( \frac{0,86 \cdot 3,14}{0,333} \right)^{1/3} = \left( \frac{CpM}{k} \right)^{1/3} = 2$$

$$Nu_0 = j_H \frac{k}{D_e} Pr^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} = 277 \phi \quad \text{ALL'INIZIO IPOTIZZ. } \phi = 1$$

$$t_w = T_c + \frac{R_{w,i}}{R_{w,i} + R_{w,e}} (T_R - T_c)$$

SE  $R_{w,e}$  FOSSE  $\infty \Rightarrow R_{w,e} = \infty \Rightarrow R_{w,i} = 1/2 \Rightarrow t_w = \text{MEDIA}$

SENNO' SPOSTATO DOVE + SCAMBIO

$$t_w = 111 \text{ } ^\circ\text{F} + \frac{1500}{1500 + 277} (228 - 111) = 210 \text{ } ^\circ\text{F}$$



$$\Delta P_{\text{DISTR}} = \frac{1}{2} f \frac{\rho (DV)^2}{\rho} \cdot \frac{L \cdot \pi}{g D_c \cdot \phi_c} \cdot \overset{\text{NUM. PASSAGGI}}{16 \cdot 2} = \frac{0,00015 \cdot 49,54^2 \cdot 16 \cdot 2}{2 \cdot 0,05 \cdot \underbrace{32,2 \cdot 3600^2 \cdot 90517}} = 5,4 \text{ psi}$$

DA FIGURA

X VAPORE:

$$\Delta P_{\text{DISTR, VAP}} = \frac{1}{2} \Delta P_{\text{DISTR, L}} = 2,7 \text{ psi}$$

ALTE CONDIZ. INGRESSO (X CONDENSAZIONE)

$$\Delta P_{\text{LOC, VAP}} = 0 \leftarrow \text{X REGOLA}$$

LATO MANTELLI:

$$D_e = \frac{6 \cdot 0,55}{1,8 \text{ ft}} = 0,122 \text{ ft}$$

TIENE ANCHE CONTO DEL DIAM. EST. SHELL  $\pi \frac{3/4}{12} \cdot 6 + \pi \frac{12}{12}$

$$Re = 14128 \rightarrow f = 0,00024 \rightarrow 0 = \text{NUM. BUFFER}$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} f \frac{\rho (DV)^2}{\rho} \cdot \frac{L \cdot \pi}{D_{\text{shell}} \cdot \phi_{112}} = 0,066 \text{ psi}$$

NO LOCALIZZ. X UNICO PASS. LATO MANTELLI



$$\Delta T_{me} = \frac{(340-230) - (240-200)}{e_n \frac{340-250}{240-200}}$$

NON E' QUELLO REALE POICHE' NO PURO CONTROCORR.

FATTORI CORRETTIVI

$$R = \frac{340-240}{230-200} = 3,3$$

$$S = \frac{230-240}{340-200} = 0,214$$

SI TABELLA CI SONO LE FORMULE

$$\Delta T_{reale} = \Delta T_{me} \cdot F_t = 61,2^\circ F$$

TAB. 8  $U_D = 60 \div 75 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$  RANGE DA TABELLA

$$U_D' = 70 \frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F} \leftarrow \text{ARBITRARIO NEL RANGE}$$

$$A'_{scambio} = \frac{Q}{\Delta T_{reale} \cdot U_D} = \frac{1730000}{61,2 \cdot 70} = 403 \text{ ft}^2$$

$$N_t = \frac{A'}{1800 \cdot L} = \frac{403 \text{ ft}^2}{\pi \cdot 3/4 \text{ in} / (12 \text{ in/ft}) \cdot 16 \text{ ft}} = 129$$

NAFTA LATO TUBI

$$V = \frac{\dot{m}}{0,5} = 17,163 \frac{ft}{h} = 1,45 \text{ m/s} \text{ OK} \leftarrow 1 \div 2 \text{ m/s}$$

$$FIG 6 \text{ A} \text{ } 215^\circ F = 0,71 \cdot 62,5 = 44,4 \text{ EG/ft}^2$$

SUP. TOT. VISTI IN  $N_t$

MANTELLO TAB 9  $\rightarrow$  STANDARD ESISTENTI

$$N = 124$$

$$N = 166$$

$$ID \text{ SHELL} = 15 \frac{1}{4} \text{ in}$$



$$\mu(290^\circ\text{F}) = 1,4 \text{ cP} \cdot 2,42 = 3,39$$

$$\text{FIG 28 } D_e = 0,92 \text{ m} = 0,0782 \frac{\text{CG}}{\text{IN FT}}$$

$$Re = \frac{\rho v D_e}{\mu} = \frac{321589 \cdot 0,0782}{3,39} = 7513$$

$$\text{FIG 28 } j_H = 50$$

$$h_o = j_H \frac{k}{D_e} Re^{1/3} \phi_s$$

$$\text{FIG 1 A } 290^\circ\text{F } k = 0,0725 \frac{\text{BTU}}{\text{OF IN FT}^2}$$

$$h_o = 50 \frac{0,0725}{0,0782} \left( \frac{0,58 \cdot 3,39}{0,072} \right)^{1/3} = 137 \phi_s$$

$\Delta P$ :

$$\text{TUBO } f^* = 0,0002 \quad \text{FIG 26}$$

$$\Delta P_d = 2,1 \text{ psi} \quad \Delta P_e \approx 1 \text{ psi}$$

$$\text{MANTEAU } f' = 0,00022$$

$$\Delta P_d = 5,1 \text{ psi} \quad \Delta P_e \approx 0$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} = \frac{1}{278 \phi_t} + \frac{1}{137 \phi_t}$$

$$U_c = 91,8 \frac{\text{BTU}}{\text{IN FT}^2 \text{ OF}}$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R = \frac{1}{91,8} + 0,005 = 62,9 < 72,6 \Rightarrow \text{NO!}$$

RIFARE DA CAPO CON PROP. FISICHE =

$$U_D^{III} \approx 60$$

$$A_{Sc}^{III} = 171 \text{ ft}^2 \quad N_c = 150$$

$$v_{TUBI}^{III} = 1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow + \text{BASSO} \rightarrow \text{MEGLIO}$$



$$N_c = \frac{A}{\pi \cdot OD \cdot 2} = 773$$

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_w N_c a_c} = 9630 \text{ ft}^3/\text{hr} = 0,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$a_c = \pi \frac{ID^2}{4} = 0,0021$$

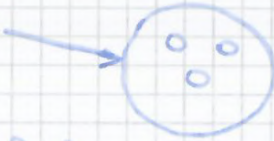
$$\rho_w = 62,5 \text{ lb/ft}^3$$

$$V'' = 1,62 \text{ m}^3/\text{s} \quad \Delta P_{m=4} \approx 8 \Delta P_{m=2}$$

$$n = 4 !!$$

TAB 9 ( $\Delta$ ) 773  $\rightarrow$  766 (4 PASS.)

ID SHELL = 31 mm



$$A_{sc} = A_c \cdot N_c'' = 1202 \text{ ft}^2$$

$$\pi \cdot OD \cdot L$$

$$U_D'' = \frac{1,71 \cdot 10^7}{1202 \cdot 141} = 101 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \cdot \text{ft}^2}$$

TRBO:

$$a_t = \frac{N_t}{4} a_{tc} = 0,021 \text{ ft}^2 \frac{766}{4} = 0,402 \text{ ft}^2$$

$$\rho_v = \frac{\dot{m}}{a_t} = \frac{988571 \text{ lb/hr}}{0,402 \text{ ft}^2} = 1,21 \cdot 10^6 \frac{\text{lb}}{\text{hr} \cdot \text{ft}^2}$$

$$Re = \frac{\rho_v ID_t}{\mu}$$

$$\mu(T_{\text{med}}) = \mu\left(\frac{85+120}{2}\right) = 0,72 \text{ cP} \quad \times H_2O$$

$\frac{2}{T_{\text{med}}}$ 

 $\leftarrow$  FIG. 14  $\frac{2,2,02}{1,74 \text{ lb} / \text{ft} \cdot \text{hr}}$



$U_D'' = 101 \rightarrow$  IPOTIZZIAMO SIA QUELLO VERO

$$\frac{1}{U_C''} = \frac{1}{U_D} + R = \frac{1}{101} + 0,003 \Rightarrow U_C = 144,9$$

$$\frac{1}{U_C''} - \frac{1}{R_{110}} = \frac{1}{R_{10}} = \frac{1}{144,9} - \frac{1}{1075} \Rightarrow R_{10}'' = 167$$

$$T_W = 102,5 + \frac{167}{167 + 1075} (266 - 102,5) = 121^\circ F$$

$$T_F = \frac{T_w + T}{2} = \frac{266 + 121}{2} = 182,2^\circ F$$

TAB 9  $K_F = 0,94 \text{ BTU}/R_{10} \cdot ^\circ F \cdot ft$

TAB 6 (X LIQUIDI POICHE FILM)  $\rho_A = 0,8 \cdot 62,5 = 50 \frac{lb}{ft^3}$

FIG 14  $\mu_F = 0,62 \text{ cP} = 1,5 \frac{lb}{ft \cdot s}$

$$G = \frac{60000 \text{ ft}^3/\text{h}}{8 \text{ ft} \cdot 766^{1/3}} = 89,6$$

$$R_{10} = 1,5 \left( \frac{0,094^3 \cdot 50^2 \cdot 37,2 \cdot 3600^2}{1,5} \right)^{1/3} \left( \frac{1}{4 \cdot 89,6} \right)^{1/3} = 175$$

15 psig  $\Rightarrow P = 15 \text{ psig} + 14,75 \text{ psia} \approx 30 \text{ psi}$  167  $\rightarrow$  OK!

$$\frac{1}{U_C'''} = \frac{1}{175} + \frac{1}{1075} \Rightarrow U_C''' = 150$$

$$\frac{1}{U_D'''} = \frac{1}{U_C'''} + R = \frac{1}{150} + 0,003 \Rightarrow U_D''' = 103,7 > 101$$

OK

X PERDITE CARICO

$$Re_{H_2O} = 36078 \rightarrow f^* = 0,00019 \frac{ft^L}{in^2} \text{ FIG 26}$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} f^* \frac{(\rho v)^2}{\rho} \cdot \frac{L \cdot W}{g \cdot 10} = 3,3 \text{ psi}$$

$$\Delta P_E = 4 \cdot n \cdot \frac{(\rho v)^2}{2g} = 4 \cdot 4 \cdot \frac{(1,21 \cdot 10^2)^2}{62,5 \cdot 2g} = 3,1 \text{ psi}$$

6,4  $\leq$  10  
OK

De FIG 18 = 0,55 in   $A = 0,156 \text{ in}^2$   
 $\rho = 1,177 \text{ in} \rightarrow D_e = 0,54 \text{ in}$