

TOR VERGATA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

2^a ESERCITAZIONE

Dimensionamento di un camino per lo
smaltimento dei fumi

Gruppo 1

Contursi Andrea
Donato Iacopo
Fei Alessio
Fusco Luigi

Indice

Introduzione	3
Definizione delle equazioni.....	4
Metodo di risoluzione	10
Codice MATLAB	13
Script calcolo	13
Script calcolo delle perdite (calcolo_zeta).....	19
Risultati dimensionamento	20

Introduzione

Lo scopo di questa esercitazione consiste nell'effettuare il dimensionamento di un camino per lo smaltimento dei fumi tramite tiraggio naturale, cioè ricavare diametro interno e altezza, in modo che non sia necessario un ventilatore esterno e che la temperatura di uscita dei fumi sia maggiore della temperatura di condensa acida.

La relazione è stata organizzata in 4 sezioni:

1. **Definizione delle equazioni:** vengono brevemente introdotte le 9 equazioni che consentono di risolvere il problema;
2. **Metodo di risoluzione:** si definisce il procedimento di calcolo adottato per la risoluzione delle equazioni;
3. **Risultati:** si presentano brevemente i risultati ottenuti, in particolare le curve z-D al variare della potenza e la curva che definisce il limite di condensa acida;
4. **Codice Matlab:** è riportato lo script Matlab utilizzato.

Definizione delle equazioni

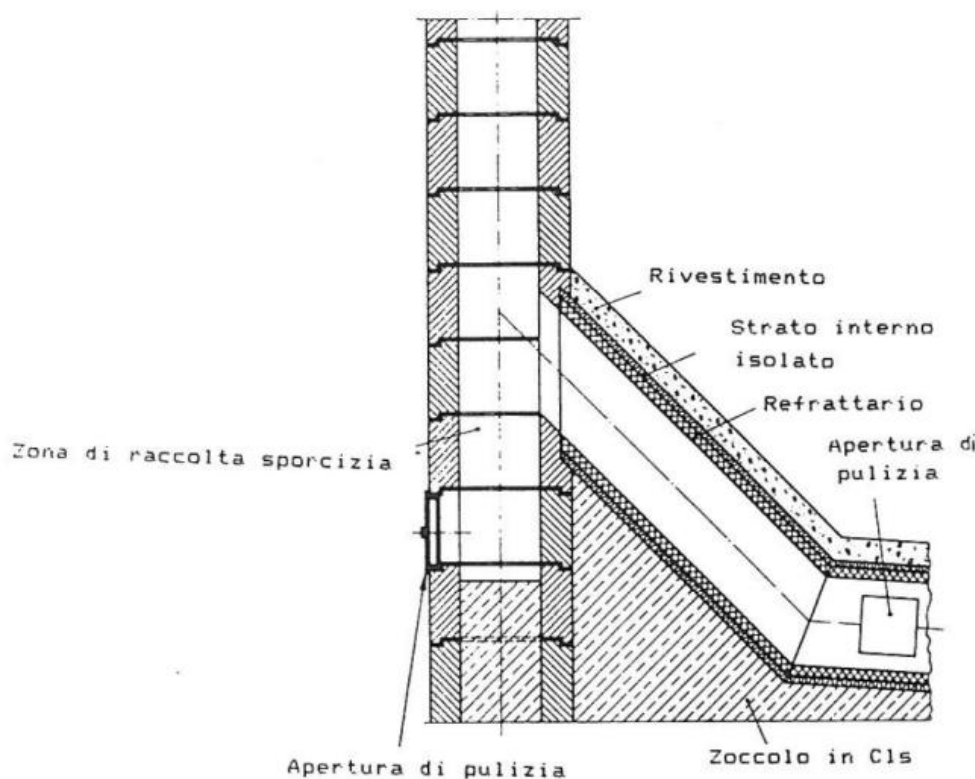


Fig.1 – Schema costruttivo di un camino

La prima equazione a disposizione è l'equazione di Bernoulli generalizzata scritta in forma differenziale, che una volta integrata e tramite l'ipotesi di temperatura circa costante lungo il camino (hp. camino isoterma) è stato possibile semplificare in:

$$-dl_t = v \cdot dp + u \cdot du + g \cdot dz + dl_{attr} \quad (1.1)$$

$$\int v \cdot dp = \bar{v} \cdot (p_u - p_i) = \frac{1}{\rho_f} (p_u - p_i + p_{ie} - p_{ie}) \quad (1.2)$$

Con p_{ie} : pressione all'esterno del camino alla quota d'imbocco; introducendo $\Delta p = p_{ie} - p_i$, depressione alla base del camino (pari a 15 Pa nel nostro caso, essendo il bruciatore in depressione), e il volume massico medio $\bar{v} = 1/\rho_f$ si è ottenuta la (1.3):

$$\int v \cdot dp = \frac{1}{\rho_f} (\Delta p - g\rho_e H) \quad (1.3)$$

Integrando poi la (1.1) e moltiplicando per ρ_f :

$$gH(\rho_e - \rho_f) - \rho_f l_t = \Delta p + \rho_f \cdot \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + \rho_f l_{attr} \quad (1.4)$$

L'equazione (1.4) ha al primo membro le prevalenze, cioè le pressioni che possono spingere i fumi verso l'uscita: nel nostro caso è presente solamente il primo termine, che indica il tiraggio naturale, in quanto il secondo termine che rappresenta il tiraggio forzato è nullo non essendoci alcun organo esterno che fornisce prevalenza; al secondo membro invece si trovano i termini di resistenza al moto. Assumendo costante la sezione del camino (hp. $A=\text{cost}$) la variazione di velocità risulta nulla, quindi anche il termine relativo alla perdita di pressione dinamica è pari a zero.

Si può quindi esprimere il lavoro di attrito:

$$l_{attr} = \frac{gH(\rho_e - \rho_f) - \Delta p}{\rho_f} \quad (1.5)$$

Per i fumi, questi soddisfano l'ipotesi di gas perfetto:

$$\overline{\rho_f} = \frac{\overline{p}}{R \cdot T_{ml}} \quad (1.6)$$

Dove T_{ml} è la temperatura media logaritmica, \overline{p} la pressione media alla quota altimetrica della località dove è installato il camino meno le oscillazioni medie che possono esserci durante l'anno, ciò a vantaggio della sicurezza: nel nostro caso, l'altezza di installazione del camino è pari a 300 m s.l.m., che comporta una pressione dell'aria esterna pari a 93250 Pa. Infine R è la costante dei gas, nel nostro caso fumi di gasolio, quindi

$R_f=290 \text{ J/kgK}$ come riportato nel testo. Il discorso è analogo per l'aria, $R_a=287 \text{ J/kgK}$, quindi si ricava ρ_e .

Ipotizzando la temperatura dell'aria esterna al camino costante, si può ricavare la temperatura media logaritmica:

$$T_{ml} = T_e + \Delta T_{ml} = T_e + \frac{(T_i - T_e) - (T_u - T_e)}{\ln \frac{T_i - T_e}{T_u - T_e}} \quad (1.7)$$

Impostando il bilancio termico su un elemento infinitesimo di camino, si definisce il calore trasmesso tra interno e esterno e si ricava l'andamento dei fumi lungo l'altezza del camino:

$$2\pi \frac{D_e}{2} dz U(T(z) - T_e) = -\dot{m}_f c_p^f dT(z) = -\dot{m}_f c_p^f d(T(z) - T_e) \quad (1.8)$$

$$T(z) = T_e + (T_i - T_e)e^{-C(z)} \quad (1.9)$$

$$C(z) = \frac{\pi D_e U}{\dot{m}_f c_p} z \quad (1.10)$$

Con Z : altezza totale del camino. Si esplicita quindi T_{ml} dalla (1.9) calcolata all'uscita dei fumi, dove $T(Z)=T_u$.

$$T_{ml} = T_e + \frac{(T_i - T_e)(1 - e^{-C(z=Z)})}{C(z=Z)} \quad (1.11)$$

La portata dei fumi in kg/s si può valutare in funzione della potenza del bruciatore espressa in kW, tramite una relazione empirica:

$$\dot{m}_f = P \cdot 10^{-3} \cdot 0.6 \quad (1.12)$$

Il fattore 0.6 si introduce poiché il gasolio è un combustibile liquido.

Anche per valutare le proprietà termofisiche dei fumi si ricorre a delle relazioni empiriche, le quali consentono di ricavare il calore specifico in kJ/kgK, la conduttività termica in W/mK e la viscosità cinematica in m²/s:

$$c_p = 1.02 + 10^{-4} \cdot t_{ml} \quad (1.13)$$

$$\lambda = \frac{0.024}{400} \cdot t_{ml} + 0.023 \quad (1.14)$$

$$\nu = (10 + \frac{t_{ml}}{8.5}) \cdot 10^{-6} \quad (1.15)$$

Si ricava quindi il coefficiente di scambio globale U:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_i}{\lambda_p} \cdot \ln \frac{r_e}{r_i} + \frac{r_i}{r_e} \frac{1}{h_e}} \quad (1.16)$$

Per determinare il coefficiente di scambio convettivo h_i si utilizza la correlazione generalizzata di Dittus-Boelter valida per la convezione forzata, quindi si esprimono i parametri adimensionali:

$$Nu = \left(\frac{\xi_{rug}}{\xi_{lisc}} \right)^{0.67} \cdot 0.037 (Re_{D_i}^{0.76} - 180) Pr^{0.42} \left[1 + \left(\frac{D_i}{Z} \right)^{0.67} \right] \cdot \left(\frac{\mu_m}{\mu_i} \right)^{0.14} \quad (1.17)$$

$$Nu = \frac{h_i D_i}{\lambda_f} \quad (1.18)$$

$$Re = \frac{u_f \cdot D_i}{\nu(t_{ml})} \quad (1.19)$$

μ_m e μ_i sono la viscosità dinamica alla temperatura di imbocco dei fumi. La velocità dei fumi u_f si ricava dalla relazione tra portata e sezione del condotto:

$$u_f = \frac{\dot{m}_f}{\frac{\pi D_i^2}{4} \cdot \rho_f} \quad (1.20)$$

Il termine ξ_{rug}/ξ_{lisc} indica il rapporto tra il fattore di attrito per tubi rugosi e lisci, e si è calcolato in funzione della rugosità r (nel nostro caso pari a 2 mm) secondo la tabella riportata sul testo:

r (m)	$\left(\frac{\xi_{rug}}{\xi_{lisc}}\right)^{0.67}$
0	1
0.001	1.15
0.002	1.26
0.003	1.33
0.005	1.42

Inoltre, tenuto conto delle semplificazioni:

$$Pr^{0.42} \approx 0.871; \quad 1 + \left(\frac{D_i}{Z}\right)^{0.67} \approx 1.1; \quad \left(\frac{\mu_m}{\mu_i}\right)^{0.14} \approx 1 \quad (1.21)$$

La (1.16) diventa:

$$Nu = \left(\frac{\xi_{rug}}{\xi_{lisc}}\right)^{0.67} \cdot 0.035 \cdot Re_{D_i}^{0.75} \quad (1.22)$$

La nona relazione è l'equazione di Darcy-Weissbach per le perdite di carico per attrito, in cui il fattore di attrito ξ_{att} per le perdite di carico distribuite si può ricavare tramite la formula approssimata riportata sotto, mentre il fattore di attrito delle perdite concentrate complessivo (pari alla sommatoria dei ξ_n) è stato ricavato tramite un'apposita function Matlab considerando che si hanno perdite di carico concentrate dovute a due curve a 45° , uno sbocco verso l'esterno e un imbocco/sbocco il cui valore dipende dalle dimensioni di diametro del bruciatore e diametro interno del camino, cioè dalle due aree di passaggio.

$$\Delta p = \rho_f l_{attr} = 1.5 \left[\xi_{att} \frac{Z}{D_i} + \sum_n \xi_n \right] \frac{\rho_f}{2} u_f^2 \quad (1.23)$$

$$\xi_{att} = 0.118 \frac{r^{0.26}}{D_i^{0.4}} \quad (1.24)$$

Metodo di risoluzione

1.	(1.4)	$f(H, \rho_f, l_{attr}) = 0$
2.	(1.6)	$f(\rho_f, t_{ml}) = 0$
3.	(1.10)	$f(H, C, U, t_{ml}) = 0$
4.	(1.11)	$f(C, t_{ml}) = 0$
5.	(1.16)	$f(U, h_i) = 0$
6.	(1.14), (1.15), (1.18), (1.22)	$f(h_i, t_{ml}, Re_{Di}) = 0$
7.	(1.19)	$f(Re_{Di}, t_{ml}, u_f) = 0$
8.	(1.20)	$f(\rho_f, u_f) = 0$
9.	(1.23), (1.24)	$f(H, u_f, l_{attr}) = 0$

A partire dal set di 9 equazioni in 9 incognite che definiscono il problema, si è ricavata l'altezza necessaria a garantire il tiraggio naturale per valori del diametro interno variabili tra 0.2 m e 2 m e per potenze del bruciatore comprese tra 500 kW e 5 MW, attraverso un procedimento iterativo poiché è chiaramente un sistema di equazioni non lineari.

Come variabile di ingresso di 1° tentativo si è scelta C, poiché nonostante t_{ml} potesse sembrare una scelta migliore, si nota dalla 4. equazione che per ottenere C da t_{ml} si sarebbe dovuto implementare un altro processo iterativo. Il procedimento di risoluzione è:

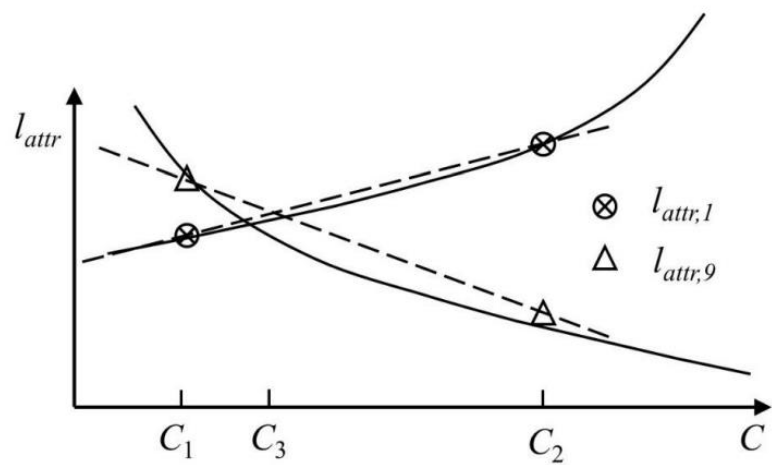
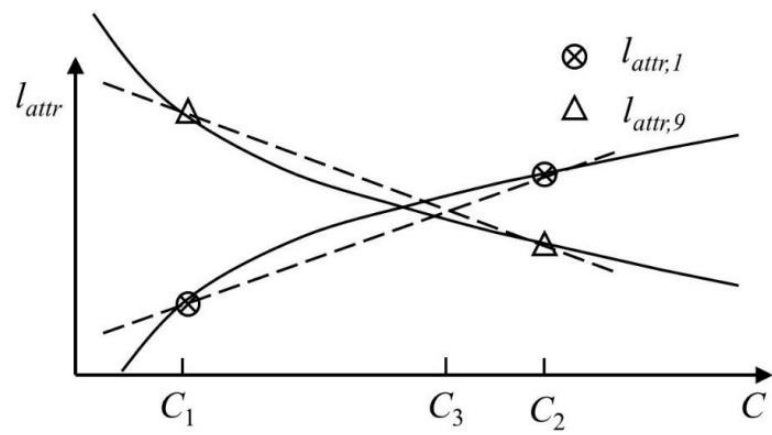
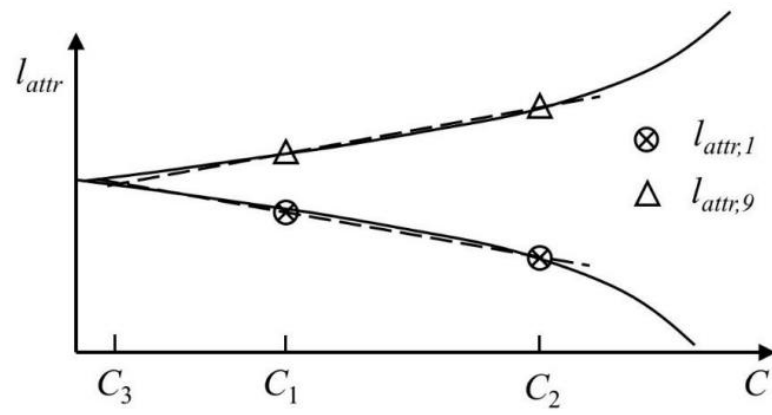
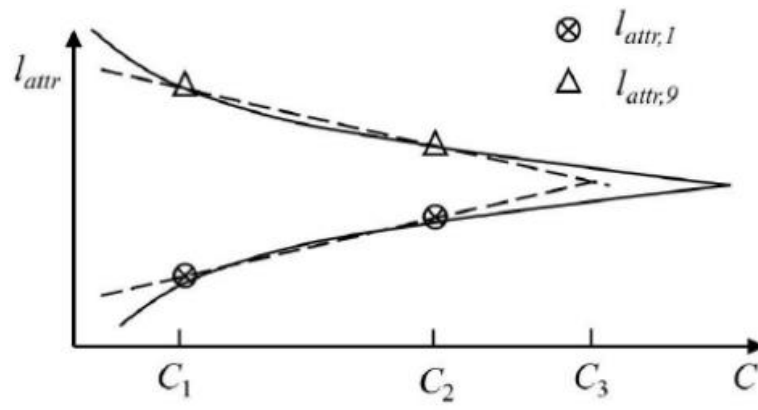
da	C	mediante l'eq. 4.	si ottiene	t_{ml}
da	t_{ml}	mediante l'eq. 2.	si ottiene	ρ_f
da	ρ_f	mediante l'eq. 8.	si ottiene	u_f
da	u_f e t_{ml}	mediante l'eq. 7.	si ottiene	Re_{Di}
da	u_f e Re_{Di}	mediante l'eq. 6.	si ottiene	h_i
da	h_i	mediante l'eq. 5.	si ottiene	U
da	U, C e t_{ml}	mediante l'eq. 3.	si ottiene	Z
da	Z e u_f	mediante l'eq. 9.	si ottiene	$l_{attr,9}$
da	Z e ρ_f	mediante l'eq. 1.	si ottiene	$l_{attr,1}$

Il calcolo iterativo giunge a conclusione quando la differenza tra $l_{attr,1}$ e $l_{attr,9}$ risulta inferiore a una certa tolleranza, ossia quando i due valori coincidono.

Per agevolare la convergenza, si è proceduto nel seguente modo:

1. Si assume un valore di 1° tentativo di C , nel nostro caso 0.2.
2. Con il metodo di risoluzione sopra descritto si determinano tutte le variabili, tra cui $l_{attr,1}$ e $l_{attr,9}$ di primo tentativo, cioè $l_{attr,1}^{(1)}$ e $l_{attr,9}^{(1)}$.
3. Si cambia il valore di C con uno di secondo tentativo $C^{(2)}$ e si ottengono due nuovi valori di l_{attr} di 2° tentativo, $l_{attr,1}^{(2)}$ e $l_{attr,9}^{(2)}$.
4. Ora si può estrapolare un valore di C di terzo tentativo $C^{(3)}$, linearizzando dai valori ottenuti di primo e secondo tentativo.
5. Per C pari a $C^{(3)}$ si ottengono altri due valori $l_{attr,1}^{(3)}$ e $l_{attr,9}^{(3)}$, non necessariamente coincidenti perché le equazioni non sono lineari.
6. Si procede sostituendo a $C^{(2)}$, $C^{(3)}$ e a $C^{(1)}$ il più vicino a $C^{(3)}$ tra i due $C^{(1)}$ e $C^{(2)}$ precedenti e, ripetendo la procedura, si ottiene un ulteriore $C^{(3)}$.
7. Il calcolo va avanti fino a che si ottiene la convergenza, in particolare finché la quantità $\left| (l_{attr,1}^{(k)} - l_{attr,9}^{(k)}) / l_{attr,1}^{(k)} \right|$ risulta inferiore ad un determinato valore, nel nostro caso fissato pari a 10^{-5} .

In particolare, l'algoritmo per procedere con il calcolo iterativo varia rispettivamente nel caso che $C^{(3)}$ si trovi dal lato di $C^{(2)}$ (prima figura), dal lato di $C^{(1)}$ (seconda figura), o intermedio tra i due C (quando c'è un'inversione del segno di $l_{attr,1} - l_{attr,9}$). In tale ultimo caso occorre valutare se sia $|C^{(3)} - C^{(2)}| < |C^{(3)} - C^{(1)}|$ (terza figura) oppure $|C^{(3)} - C^{(2)}| > |C^{(3)} - C^{(1)}|$ (quarta figura).



Codice MATLAB

La procedura di dimensionamento descritta nei capitoli 1 e 2 è stata quindi implementata in MATLAB mediante un algoritmo. Le perdite sono state valutate all'interno di una apposita function denominata *calcolo_zeta*.

Script calcolo

```
%clear all
%clc
tic
format short
%% DATI
Delta_p_gv = 15; %Pa
Ti = 190+273.15; %K
lambda_p = 0.1; %W/(m*K)
s = 5*10^-2; %m
r = 2*10^-3; %m
Z_slm = 300; %m
Te = 35+273.15; %K
he = 20; %W/((m^2)*K)
T_cond = 115+273.15; %K
%
Di = linspace(0.2,2,10000) %m
N = length(Di);
De = Di+2*s;
ri = Di*0.5 ;
re = ri+s;
%
p_m = ((300-200)/(400-200))*(92000-94500) + 94500; %Pa pressione alla
quota Z_sopra_livello_mare
%
R_f = 290; %J/kg*K gasolio
R_a = 287; %J/kg*K aria
rho_a = (p_m)/(R_a*Te); %kg/m^3
%
P = [500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000]; %Potenze kW
%
D_b = sqrt(P/4000); %[m] Diametro bruciatore
%
m_f = (P*10^-3)*0.6; %portata fumi kg/s
eps = 1.26;
%% Calcolo condensa acida
jj=1;
C_ca= -log((T_cond-Te)/(Ti-Te));
%
for jj = 1:1:length(P)
```

```

    for j=1:1:N
        n_iterazioni(jj) = j;
        [zita_conc(jj,j)] = calcolo_zeta(D_b(jj),Di(j));
    %
        zita_att(j) = 0.118*((r^0.26)/(Di(j)^0.4)); %distribuite
        T_ml = Te + (((Ti-Te)*(1-exp(-C_ca)))/C_ca);
    %
        t_ml = T_ml-273.15;
    %proprietà termofisiche
        cp = (1.02 + t_ml*(10^-4))*10^3; %KJ/kg*K
        viscosita = (10+(t_ml/8.5))*10^-6; %m^2/s
        lambda_f = (0.024/400)*t_ml+ 0.023; %W/(m*K)
    %
        rho_m = p_m/(R_f*T_ml);
    %
        u_f = m_f(jj)/((pi*((Di(j)^2)/4))*rho_m);
    %
        Re = (u_f*Di(j))/(viscosita);
    %
        %eps = (eps_r/eps_lisc)^0.67
        eps = 1.26;
        Nu = eps*0.035*(Re^0.75);
    %
        hi = (Nu*lambda_f)/Di(j);
    %
        U = 1/((1/hi + (ri(j)/lambda_p)*log(re(j)/ri(j))+
        (ri(j)/re(j))*(1/he))); %coeff globale
    %
        Z(jj,j) = (m_f(jj)*cp*C_ca)/(3.14*De(j)*U);
    %
        l_att_9(jj,j) =
        1.5*(zita_att(j)*(Z(jj,j)/Di(j))+zita_conc(jj,j))*((rho_m*u_f^2)/(2*rho
        _m));
    %
        %delta_p_c(i) = rho_m*l_att_9(i);
    %
        l_att_1(jj,j) = (9.81*Z(jj,j)*(rho_a-rho_m)-Delta_p_gv)/(rho_m);
    %
        tao(jj,j) = l_att_9(jj,j)-l_att_1(jj,j);
        delta_l_attrito(jj,j) = abs(l_att_9(jj,j)-l_att_1(jj,j));
    %
        if tao(jj,j) < 0.05
            break
        end
        end
    %
    end
    y = 1;
    Diametro = [Di;Di;Di;Di;Di;Di];

```

```

yy = 1;
%
for yy = 1:1:length(P)
    iter = n_iterazioni(yy);
    for y = 1:1:iter
        Z_cond(yy) = min(Z(yy,y));
        Diametro_utile(yy) = Diametro(yy,y);
    end
end
%% Calcolo iterativo per trovare il lavoro di attrito
C = linspace(0.1,0.1,N) %vettore di primo tentativo
i = 1
tao = linspace(10,10,N) %errore iniziale
iter = 2000; %massimo di iterazioni
y = 1
n = [0 0 0];
for y = 1:1:2000
    n2 = linspace(y,y,3);
    n = cat(2,n,n2);
end
%inizio iterazioni
jj=1
for jj = 1:1:length(P)
    for j=1:1:N
        for I = 1:1:iter
            n_iterazioni(jj,j) = i;
            [zita_conc(jj,j)] = calcolo_zeta(D_b(jj),Di(j));
%
            zita_att(j) = 0.118*((r^0.26)/(Di(j)^0.4)); %distribuite
            T_ml = Te + (((Ti-Te)*(1-exp(-C(i,j))))/C(i,j));
%
            t_ml = T_ml-273.15;
%proprietà termofisiche
            cp = (1.02 + t_ml*(10^-4))*10^3; %KJ/kg*K
            viscosita = (10+(t_ml/8.5))*10^-6; %m^2/s
            lambda_f = (0.024/400)*t_ml+ 0.023; %W/(m*K)
%
            rho_m = p_m/(R_f*T_ml);
%
            u_f = m_f(jj)/((pi*((Di(j)^2)/4))*rho_m);
%
            Re = (u_f*Di(j))/(viscosita);
%
            Nu = eps*0.035*(Re^0.75);
%
            hi = (Nu*lambda_f)/Di(j);
%
            U = 1/((1/hi + (ri(j)/lambda_p)*log(re(j)/ri(j))+
            (ri(j)/re(j))*(1/he))); %coeff globale

```

```

%
Z(i,j) = (m_f(jj)*cp*C(i,j))/(3.14*De(j)*U);
%
l_att_9(i,j) =
1.5*(zita_att(j)*(Z(i,j)/Di(j))+zita_conc(jj,j))*((rho_m*u_f^2)/(2*rho_
m));
%
l_att_1(i,j) = (9.81*Z(i,j)*(rho_a-rho_m)-Delta_p_gv)/(rho_m);
%
tao(i+1,j) = abs((l_att_1(i,j)-l_att_9(i,j))/l_att_1(i,j));
delta_l_attrito(i,j) = l_att_9(i,j)-l_att_1(i,j);
% condizioni per il calcolo iterativo
if i >= 3
    C(i+1,j)=C(I,j);
end
%
if I == 1+3*n(i)
C(i+1,j) = C(I,j)*1.1;
end
%
if I == 2+3*n(i)
    C(i+1,j) = C(i-1,j)+((C(i,j)-C(i-1,j))*(delta_l_attrito(i-
1,j)))/(delta_l_attrito(i-1,j)-delta_l_attrito(i,j));
end
%
%condizioni di fine calcolo iterativo
if Z(I,j) <= -10
    break
end
if tao(i+1,j) < 10^-5
    break
end
end
%
C1(jj,j) = C(n_iterazioni(jj,j),j);
if Z(end,j) == 0
    Z(end,j) = Z(n_iterazioni(jj,j),j);
end
if Z(end,j) < 0
    Z(end,j) = 0;
end
%
I = 1;
Z_min(jj,j) = Z(n_iterazioni(jj,j),j);
end
%
Z_min(jj,:) = Z_min(jj,:); %memorizza le altezze minime al variare
del diametro e della potenza
j=1;

```



```

end
%
o = 1
oo = 1
for oo=1:1:length(P)
for o =1:1:N
if Z_min(oo,o) >= 1000 %condizioni sulle altezze minime
    Z_min(oo,o) = 0;
end
if Z_min(oo,o) <= 0 %condizioni sulle altezze minime
    Z_min(oo,o) = 0;
end
end
end
%
yy = 1
rr = 1
for rr = 1:1:length(P)
for yy = 1:1:N
    if C1(rr,yy) <= 0
        C1(rr,yy) = 0;
    end
    if C1(rr,yy) == NaN
        C1(rr,yy) = 0;
    end
end
end
end
%
%Temperature di uscita
yy = 1
rr = 1
for rr = 1:1:length(P)
for yy = 1:1:N
    T_out(rr,yy) = Te + (Ti-Te)*exp(-C1(rr,yy));
    if T_out(rr,yy) == Ti
        T_out(rr,yy) = 0;
    end
    if T_out(rr,yy) <= (T_cond)
        T_Z_cond(rr,yy) = T_out(rr,yy);
    end
end
end
end
%
%% Trovo la posizione nella matrice delle altezze minime per
individuare il diametro relativo
%divido la matrice delle altezze minime
Z_min1 = Z_min(1,:);
Z_min2 = Z_min(2,:);
Z_min3 = Z_min(3,:);

```

```

Z_min4 = Z_min(4,:);
Z_min5 = Z_min(5,:);
Z_min6 = Z_min(6,:);
%
y = 1;
yy = 1;
for yy= 1:1:length(P)
    for y = 1:1:length(Di)
        if Z_min(yy,y) > Z_min(yy,y+1)
            break
        end
        posizione(yy) = y+1;
    end
end
yy = 1;
y = 1;
for yy = 1:1:length(P)
    for y = 1:1:length(posizione)
        Diametro_asintoto(yy,y) = Diametro(yy,posizione(y));
    end
end
Diametro_asintoto = Diametro_asintoto(1,:)
%% Plot
figure('Name','Altezza_minima')
plot(Di,Z_min1,'k','LineWidth',1.3)
hold on
grid on
plot(Di,Z_min2,'b','LineWidth',1.3)
plot(Di,Z_min3,'r','LineWidth',1.3)
plot(Di,Z_min4,'m','LineWidth',1.3)
plot(Di,Z_min5,'g','LineWidth',1.3)
plot(Di,Z_min6,'c','LineWidth',1.3)
plot(Diametro_utile,Z_cond,'-o','LineWidth',1.4)
xline(Diametro_asintoto(1),'-.k','LineWidth',1.1)
xline(Diametro_asintoto(2),'-.b','LineWidth',1.1)
xline(Diametro_asintoto(3),'-.r','LineWidth',1.1)
xline(Diametro_asintoto(4),'-.m','LineWidth',1.1)
xline(Diametro_asintoto(5),'-.g','LineWidth',1.1)
xline(Diametro_asintoto(6),'-.c','LineWidth',1.1)
yline(0,'-','LineWidth',1.1)
legend('500 KW','1000 KW','2000 KW','3000 KW','4000 KW','5000 KW','Z_
(cond)')
ylabel('Altezza minima [m]','FontSize',18,'FontName','Times New Roman')
xlabel('Diametro interno [m]','FontSize',18,'FontName','Times New
Roman')
ylim([0 470])
title('Z = f(D)')
%
toc %calcolo tempo di esecuzione dello script

```

Script calcolo delle perdite (calcolo_zeta)

```

function [zita_conc]=calcolo_zeta(D_b,Di)
zeta_45 =0.4; %fattore d'attirto curva a 45°
A_b =pi*(D_b^2)/4; %area 1 [m^2]
A_c =pi*(Di^2)/4; %area 2 [m^2]
%Calcolo del fattore d'attrito imbocco/sbocco (interpolando le tabelle)
if A_b>A_c %imbocco
A_ratio =A_c/A_b;
if A_ratio<=0.4
zeta_bc =0.33;
elseif A_ratio>0.4 & A_ratio<=0.6
zeta_bc =0.33+((0.25-0.33)/(0.6-0.4))*(A_ratio-0.4);
elseif A_ratio>0.6 & A_ratio<=0.8
zeta_bc =0.25+((0.15-0.25)/(0.8-0.6))*(A_ratio-0.6);
elseif A_ratio>0.8 & A_ratio<=1
zeta_bc =0.15+((0-0.15)/(1-0.8))*(A_ratio-0.8);
end
elseif A_b<A_c %sbocco
A_ratio =A_b/A_c;
if A_ratio>=0 & A_ratio<0.2
zeta_bc =1+((0.7-1)/(0.2-0))*(A_ratio-0);
elseif A_ratio>=0.2 & A_ratio<0.4
zeta_bc =0.7+((0.4-0.7)/(0.4-0.2))*(A_ratio-0.2);
elseif A_ratio>=0.4 & A_ratio<0.6
zeta_bc =0.4+((0.2-0.4)/(0.6-0.4))*(A_ratio-0.4);
elseif A_ratio>=0.6 & A_ratio<0.8
zeta_bc =0.2+((0.1-0.2)/(0.8-0.6))*(A_ratio-0.6);
elseif A_ratio>=0.8 & A_ratio<=1
zeta_bc =0.1+((0-0.1)/(1-0.8))*(A_ratio-0.8);
end
elseif A_b==A_c %costante
zeta_bc =0;
end
zita_conc=zeta_bc+2*zeta_45+0.5; %coefficiente d'attrito totale
end

```

Risultati dimensionamento

In figura 2 viene riportato l'andamento dell'altezza minima tale da garantire il tiraggio naturale in funzione del diametro per diverse potenze.

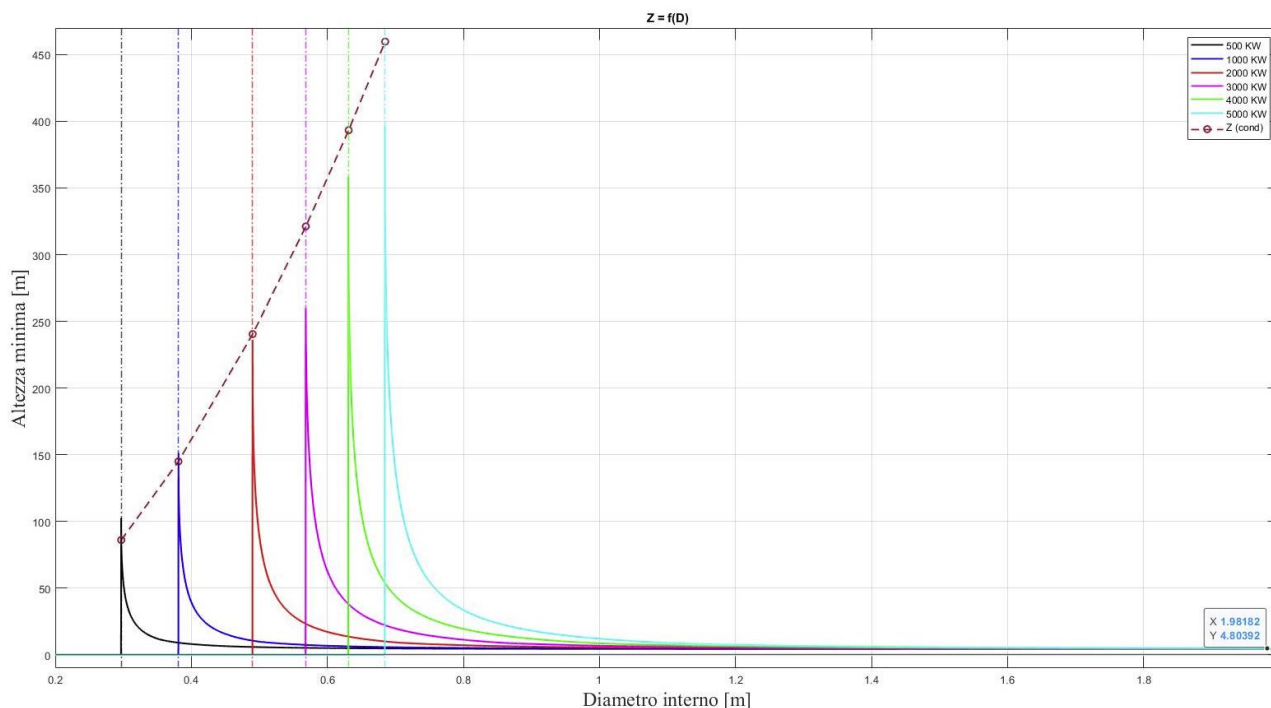


Fig.1 – Grafico risultati dimensionamento camino

La linea tratteggiata indica il limite di condensa acida oltre il quale è opportuno non andare. Per ogni potenza si osserva un asintoto verticale, quest'ultimo sta ad indicare il diametro minimo che deve assumere il camino per poter assicurare il tiraggio naturale (tabella 1).

500 KW	1000 KW	2000 KW	3000KW	4000 KW	5000 KW
0.2968 m	0.3811 m	0.4900 m	0.5681 m	0.6310 m	0.6846 m

Tab.1 – Diametri minimi per tiraggio naturale

L'asintoto orizzontale tende al valore di 4.8 m che rappresenta il valore dell'altezza minima del camino quando le perdite di carico tendono a zero.