

**Esercizio n°1 (punti 5)**

Si consideri una pompa centrifuga avente le seguenti caratteristiche: raggio della girante in corrispondenza della sezione di ingresso  $r_1 = 80$  mm, raggio della girante in corrispondenza della sezione di uscita  $r_2 = 200$  mm. La larghezza assiale della girante in ingresso è  $b_1 = 42$  mm, in uscita  $b_2 = 36$ . Le pale sono girate all'indietro e formano un angolo  $\beta$  con l'opposto della velocità periferica  $u$  pari a  $\beta_1 = 30^\circ$  in ingresso e  $\beta_2 = 20^\circ$  in uscita. La pompa opera a  $n = 20$  giri/s.

1. Disegnare la sezione trasversale della palettatura della pompe ed i triangoli delle velocità in ingresso ed in uscita dalla palettatura indicando tutte le componenti delle velocità.
2. Determinare in corrispondenza del punto di progetto (le condizioni cioè per cui il lavoro  $l_i$  svolto dalla girante è massimo):
  - a) la portata d'acqua  $Q$  trattata dalla pompa;
  - b) il lavoro massico  $l_i$ ;
  - c) la prevalenza  $h_i$  corrispondente a  $l_i$
  - d) la prevalenza manometrica  $h_u$  assumendo un rendimento idraulico  $\eta_{id}=0.97$
  - e) la potenza assorbita  $P_a$  assumendo un rendimento organico  $\eta_o=0.91$  ed un rendimento volumetrico  $\eta_v=0.99$ .
3. Assumendo che la velocità sia ridotta fino a  $n' = 15$  giri/s, calcolare
  - a) la portata  $Q'$ ,
  - b) la prevalenza  $h_u'$  e
  - c) la potenza assorbita  $P_a'$

alla nuova velocità assumendo che lavori nel punto idraulicamente equivalente.

4. Calcolare infine la velocità specifica  $\omega_s$  della pompa.

**Esercizio n°2 (punti 5)**

Si dimensionino i due tratti della rete di drenaggio mista riportati in figura. Le caratteristiche dei tratti da dimensionare sono indicate in tabella.

$$\varphi_{IMP}=0.80; \varphi_{PERM}=0.10;$$

Tempo di accesso in rete: 5 min.

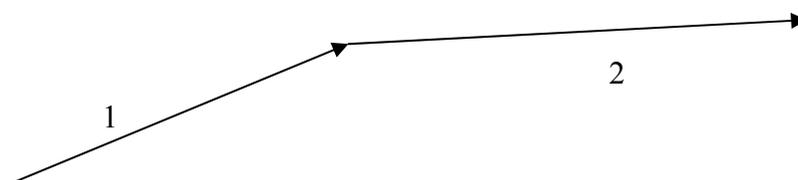
$$\text{Scabrezza tubazioni: } K_S=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

Curva di possibilità climatica:  $h = a\theta^n$  con  $a = 31 \text{ mm/ora}^n$  e  $n = 0.42$ .

Dotazione idrica  $q = 360 \text{ l/ab.d.}$

Coefficiente di afflusso in rete  $\Phi = 0.85$ ; coefficiente di punta orario  $k_h = 1.5$ ;

Per la portata nera minima si assuma  $Q_{n,\min} = 0.67 \cdot \frac{q \cdot N_{ab}}{86400}$ .



N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)
1	2	1200	35	150	0.6
2	1	1000	55	100	0.6

$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$	$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$
0.05	0.45	0.015	0.033	0.257	0.005	0.55	1.67	0.443	0.265	1.039	0.586
0.10	0.64	0.041	0.064	0.401	0.021	0.60	1.77	0.492	0.278	1.072	0.672
0.15	0.80	0.074	0.093	0.517	0.049	0.65	1.88	0.540	0.288	1.099	0.756
0.20	0.93	0.112	0.121	0.615	0.088	0.70	1.98	0.587	0.296	1.120	0.837
0.25	1.05	0.153	0.147	0.701	0.137	0.75	2.09	0.632	0.302	1.133	0.912
0.30	1.16	0.198	0.171	0.776	0.196	0.80	2.21	0.674	0.304	1.140	0.977
0.35	1.27	0.245	0.193	0.843	0.263	0.85	2.35	0.711	0.303	1.137	1.030
0.40	1.37	0.293	0.214	0.902	0.337	0.90	2.50	0.744	0.298	1.124	1.066
0.45	1.47	0.343	0.233	0.954	0.416	0.95	2.69	0.771	0.286	1.095	1.074
0.50	1.57	0.393	0.250	1.000	0.500	1.00	3.14	0.785	0.250	1.000	1.000

**Esercizio n°3 (punti 5)**

Una strada asfaltata (coefficiente di scabrezza di Strickler  $K=66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ) è lunga 60 m, ha una pendenza longitudinale  $S_0=2\%$  ed una pendenza trasversale  $S_x=1.2\%$ .

A lato della strada è presente una cunetta triangolare semplice (vedi figura 1) ove sono posizionate caditoie a grata P-50 di larghezza  $W=0.4 \text{ m}$  e lunghezza  $L=0.4 \text{ m}$ .

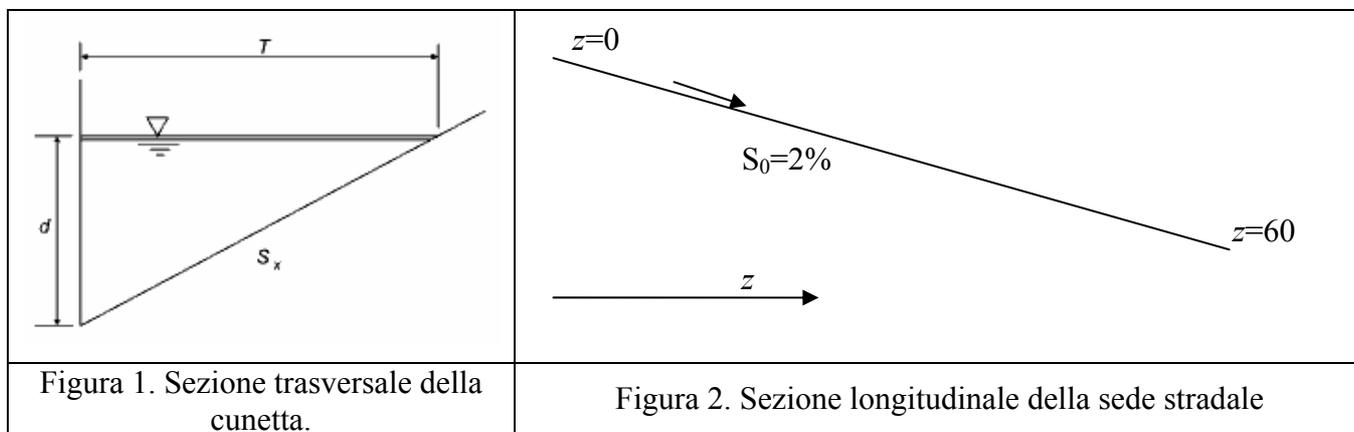
La portata da smaltire cresce linearmente con l'ascissa  $z$  (espressa in metri) secondo la relazione(vedi figura 2):

$$Q_z = z \cdot 0.0002 \quad [\text{m}^3/\text{s}].$$

Tra le seguenti opzioni si individui la soluzione ottimale costituita dal numero minimo di caditoie che consentono di garantire un allagamento della sede stradale inferiore a  $T=1.5 \text{ m}$  e si giustifichi la risposta:

1. una caditoia posizionata all'ascissa  $z=60 \text{ m}$
2. due caditoie posizionate alle ascisse  $z=30 \text{ m}$  e  $z=60 \text{ m}$  (interasse 30 m)
3. tre caditoie posizionate alle ascisse  $z=20 \text{ m}$ ,  $z=40 \text{ m}$  e  $z=60 \text{ m}$  (interasse 20 m)
4. quattro caditoie posizionate alle ascisse  $z=15 \text{ m}$ ,  $z=30 \text{ m}$ ,  $z=45 \text{ m}$  e  $z=60 \text{ m}$  (interasse 15 m)

Per la soluzione individuata calcolare infine le portate intercettate dalle caditoie.



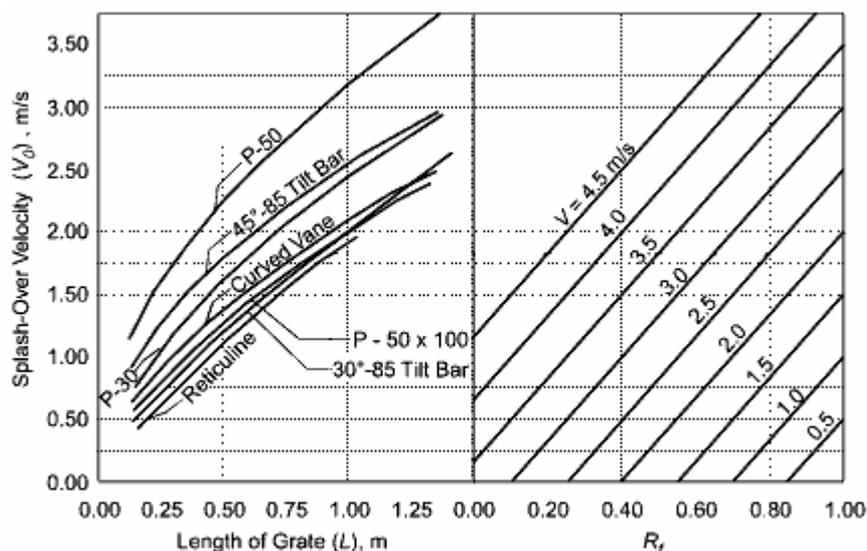
Equazioni:

$$Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2} \quad C_f=0.376;$$

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$$

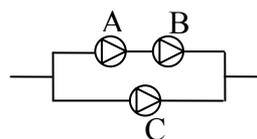
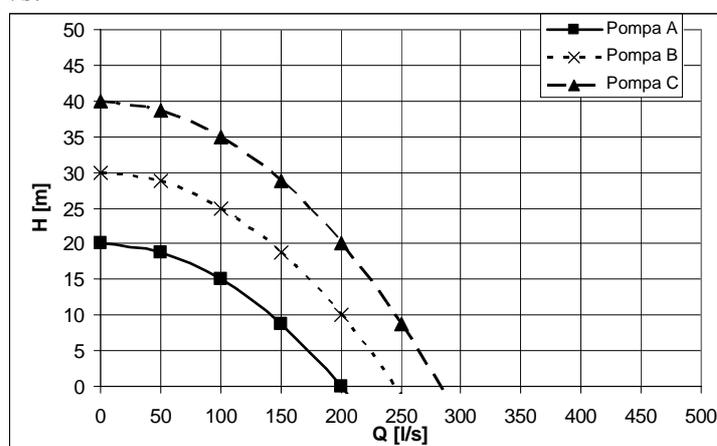
$$Q_s = Q(1 - E_0)$$

$$R_s = \left(1 + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}}\right)^{-1} \quad \text{essendo } K_s=0.0828;$$



### Domande (punti 3 ciascuna)

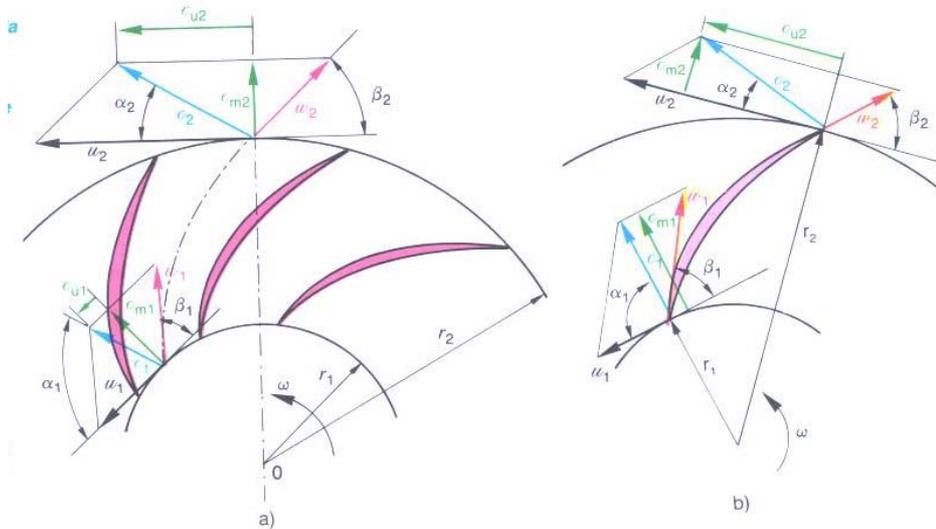
- Definizione di NPSH. Come si calcola la posizione della pompa rispetto al serbatoio di alimentazione una volta noto l' $NPSH_R$ .
- Siano A, B e C tre diverse pompe le cui curve caratteristiche sono riportate nel grafico sotto. Costruire graficamente, illustrando i singoli passaggi, la curva caratteristica dell'impianto di sollevamento costituito dalle pompe A e B in serie tra loro ed in parallelo con la pompa C e ricavare il punto di funzionamento di ciascuna pompa sapendo che l'impianto opera a  $Q=350$  l/s.



- Le curve caratteristiche delle pompe: illustrare perché il legame  $h_u-Q$  presenta generalmente un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.
- Partendo da una serie di altezze di precipitazione massime annue (ad esempio sulle durate di 1, 3, 6 e 12 ore) descrivere la trattazione statistica per ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità climatica  $h = a \cdot t^n$ .
- Coefficiente ARF: specificare a quale scopo viene utilizzato, qual'è il suo andamento rispetto all'area del bacino  $A$  e alla durata di precipitazione  $\theta$ . Come si definisce l'altezza di pioggia areale?

## Esercizio n°1

1)



$c$	Velocità assoluta
$w$	Velocità relativa
$u$	Velocità di trascinamento o velocità periferica
$c_m$	Componente meridiana della velocità assoluta
$C_u$	Componente tangenziale della velocità assoluta

2)

a) In condizioni di progetto  $\alpha_1 = 90^\circ$  e  $c_{m1} = c_1 = u_1 \operatorname{tg} \beta_1 = 2\pi n r_1 \operatorname{tg} \beta_1 = 5.8 \text{ m/s}$

$$Q = 2\pi r_1 b_1 c_{m1} = 0.122 \text{ m}^3 / \text{s}$$

b) Essendo in condizioni di progetto, il lavoro massico è:

$$l_i = u_2 c_{u2} = u_2 (u_2 - c_{m2} \cot \beta_2) = 444.2 \text{ J/kg}$$

essendo

$$u_2 = 2\pi n r_2 = 25.12 \text{ m/s}$$

e, per la conservazione della portata  $Q$ ,

$$c_{m2} = \frac{Q}{2\pi r_2 b_2} = 2.71 \text{ m/s}$$

c) Il carico  $h_i$  trasmesso dalla girante al fluido è:

$$h_i = \frac{l_i}{g} = 45.28 \text{ m}$$

d) La prevalenza manometrica  $h_u$  è:

$$h_u = \eta_{id} h_i = 43.92 \text{ m}$$

e) La potenza assorbita  $P_a$  è:

$$P_a = \frac{\rho g Q h_u}{\eta_{id} \eta_v \eta_o} = 60.32 \text{ kW}$$

3) Poiché si considera il punto idraulicamente equivalente si può applicare la similitudine fluidodinamica, per cui:

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{n'}{n} \left( \frac{D'}{D} \right)^3$$

$$\frac{h'}{h} = \left( \frac{n'}{n} \right)^2 \left( \frac{D'}{D} \right)^2$$

$$\frac{Pa'}{Pa} = \frac{\rho'}{\rho} \left( \frac{n'}{n} \right)^3 \left( \frac{D'}{D} \right)^5$$

Inoltre, dal momento che la pompa è la stessa il diametro non cambia, mentre varia il numero di giri per cui si ha:

$$Q' = Q \frac{n'}{n} = 0.09 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$h' = h \left( \frac{n'}{n} \right)^2 = 24.7 \text{ m}$$

$$Pa' = Pa \left( \frac{n'}{n} \right)^3 = 25.45 \text{ kW}$$

4) La velocità specifica  $\omega_s$  della pompa è:

$$\omega_s = 2\pi n \frac{\sqrt{Q}}{(gh)^{0.75}} = 0.46$$



### Esercizio n°3

La portata Q defluente in cunetta per metro lineare di strada è:

$$Q_{z=1} = 0.0002 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (0.2 l/s)}$$

Assumendo che non vi siano caditoie posizionate lungo la strada che intercettino quota parte della portata defluente in cunetta, alla sezione finale della strada (z=60) la portata defluente sarebbe quindi pari a  $Q_{z=60} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$  (12 l/s).

Date le caratteristiche geometriche della sede stradale, fissato un allagamento massimo  $T=1.5$  m la portata massima Q che può defluire in cunetta è:

$$Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2} = 0.0065 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (6.508 l/s)}$$

Assumendo che le caditoie intercettino tutta la portata in arrivo, l'interasse massimo *int* a cui si potrebbero posizionare le caditoie è quindi:

$$int = Q / Q_{z=1} = 32.5 \text{ m}$$

Tuttavia, considerando che quota parte della portata in arrivo a ciascuna caditoia è by-passata è cautelativo adottare in prima battuta un interasse minore.

Assumendo di posizionare le caditoie ad interasse di 20 m (opzione 3) si avrebbe la seguente situazione:

Caditoia	1	Progressiva	20	
Q	0.004m <sup>3</sup> /s	4.000l/s	<Qmax=	6.508 l/s
T	1.2497m		T=(Q/(0.376*K*S <sub>x</sub> <sup>5/3</sup> *S <sub>0</sub> <sup>1/2</sup> ))^(3/8)	
Eo	0.643		Eo=1-(1-W/T)^2.67	
Qw	0.0026m <sup>3</sup> /s		Qw=Eo*Q	
Qs	0.0014m <sup>3</sup> /s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0094m <sup>2</sup>	d2	0.015m	
V	0.4269m/s	Da grafico	Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1			
Rs	0.0754			
Qint	0.0027m <sup>3</sup> /s	2.680l/s		
Qb	0.0013m <sup>3</sup> /s	1.320l/s		

Caditoia	2	Progressiva	40	
Q	0.0053m <sup>3</sup> /s	5.320l/s	<Qmax=	6.508 l/s
T	1.3908m		T=(Q/(0.376*K*S <sub>x</sub> <sup>5/3</sup> *S <sub>0</sub> <sup>1/2</sup> ))^(3/8)	
Eo	0.5956		Eo=1-(1-W/T)^2.67	
Qw	0.0032m <sup>3</sup> /s		Qw=Eo*Q	
Qs	0.0022m <sup>3</sup> /s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0116m <sup>2</sup>	d2	0.017m	
V	0.4584m/s	Da grafico	Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1			

Rs 0.0669  
 Qint 0.0033m3/s 3.313l/s  
 Qb 0.002m3/s 2.007l/s

Caditoia 3 Progressiva 60  
 Q 0.006m3/s 6.007l/s <Qmax= 6.508 l/s  
 T 1.4556m  $T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$   
 Eo 0.5759  $Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$   
 Qw 0.0035m3/s  $Qw=Eo*Q$   
 Qs 0.0025m3/s  $Qs=(1-Eo)*Q$   
 A 0.0127m2 d2 0.017m  
 V 0.4725m/s Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata  
 Rf 1  
 Rs 0.0636  
 Qint 0.0036m3/s 3.622l/s  
 Qb 0.0024m3/s 2.386l/s

I risultati mostrano che in tutte le sezioni si avrebbe un allagamento della sede stradale inferiore a 1.5 m. Per contro, assumendo un interasse tra le caditoie di 30 m (opzione 2) si avrebbe la seguente situazione:

Caditoia 1 Progressiva 30  
 Q 0.006m3/s 6.000l/s <Qmax= 6.508 l/s  
 T 1.455m  $T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$   
 Eo 0.5761  $Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$   
 Qw 0.0035m3/s  $Qw=Eo*Q$   
 Qs 0.0025m3/s  $Qs=(1-Eo)*Q$   
 A 0.0127m2 d2 0.017m  
 V 0.4724m/s Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata  
 Rf 1  
 Rs 0.0636  
 Qint 0.0036m3/s 3.619l/s  
 Qb 0.0024m3/s 2.381l/s

Caditoia 2 Progressiva 60  
 Q 0.0084m3/s 8.381l/s >Qmax= 6.508 l/s  
 T 1.6493m  $T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$   
 Eo 0.5237  $Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$   
 Qw 0.0044m3/s  $Qw=Eo*Q$   
 Qs 0.004m3/s  $Qs=(1-Eo)*Q$   
 A 0.0163m2 d2 0.020m  
 V 0.5136m/s Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata  
 Rf 1  
 Rs 0.0552  
 Qint 0.0046m3/s 4.610l/s  
 Qb 0.0038m3/s 3.772l/s

I risultati mostrano che in corrispondenza della seconda caditoia, ovvero al termine della strada, per l'elevato contributo della portata by-passata dalla prima caditoia si avrebbe una portata defluente superiore alla massima consentita, con conseguente allagamento della sede stradale  $T$  superiore a 1.5 m, limite massimo consentito.

In conclusione, la soluzione che consente di garantire un allagamento della sede stradale inferiore a  $T=1.5$  m utilizzando nel contempo il numero minimo di caditoie è la numero 3 (interasse 20 m). Le soluzioni 1 e 2 non consentono di rispettare il vincolo sull'allagamento della sede stradale  $T$  inferiore a 1.5 m mentre la soluzione 4 comporterebbe un numero superiore di caditoie rispetto alla soluzione 3.