

**Esercizio n°1 (punti 5)**

Un impianto per sollevare acqua da un serbatoio A posizionato a 12 m s.l.m. ad un serbatoio B posizionato a 30 m s.l.m. è costituito da due pompe uguali P1 e P2 poste in parallelo funzionanti rispettivamente a  $n_1=870$  giri/min e  $n_2=1170$  giri/min. (vedi figura). La curva caratteristica delle pompe a  $n=870$  giri/min è rappresentata dall'equazione  $H=r-sQ^2$  con  $r=50$  m e  $s=400$  s<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>.

In tabella 1 sono riportati i valori di *NPSH* richiesti dalla pompa. Si assumano tali valori sia per la pompa funzionante a  $n_1=870$  giri/min sia a  $n_2=1170$  giri/min.

Le tubazioni hanno le caratteristiche riportate in tabella 2, ed in tabella 3 sono riportati i valori dei coefficienti  $\xi$  per il calcolo delle perdite di carico concentrate.

Si calcoli la portata sollevata al serbatoio B e, assumendo una pressione di vapore dell'acqua di 1.7 kPa e la pressione atmosferica 101.320 kPa, la quota a cui dovrebbero essere posizionate le due pompe P1 e P2 al fine di evitare la cavitazione assumendo di doverle posizionare alla medesima quota.

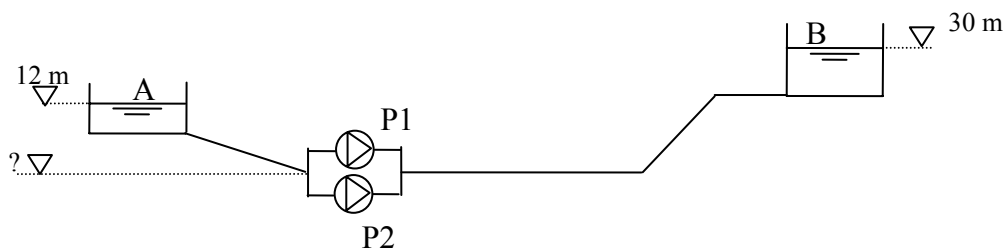


Tabella 1. Valori del *NPSH*

$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7
<i>NPSH</i> [m]	10	10.25	10.5	10.75	11	11.5	12	12.25	12.7	13	13.8	14.7

Tabella 2. Caratteristiche delle tubazioni

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	$\gamma_B$ [m <sup>1/2</sup> ]	Perdite concentrate
A-Pompe	30	0.5	0.13	1 imbocco; 2 gomiti
Pompe-B	2000	0.6	0.13	1 valvola; 2 gomiti; 1 sbocco

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite si utilizzi la relazione di Bazin sapendo che:

$$\beta = 0.000857 \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}} \right)^2$$

Tabella 3. I coefficienti  $\xi$  per il calcolo delle perdite di carico concentrate:  $\Delta H = \xi \cdot V^2 / 2g$

Imbocco	0.5
Sbocco	1
Gomito	0.2
Valvola non ritorno	2.5

**Esercizio n°2 (punti 5)**

Si consideri la rete di drenaggio urbana mista riportata in figura. Il tratto 1, al servizio di una area già esistente, è già dimensionato ed ha le caratteristiche riportate in tabella. Si dimensionino i tratti 2 e 3 sulla base dei seguenti dati:

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

Tempo di accesso in rete: 5 min.

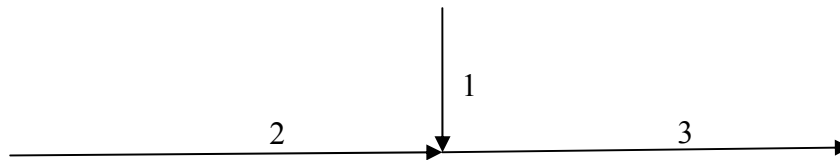
$$\text{Scabrezza tubazioni: } K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$\text{Curva di possibilità climatica: } h = a\theta^n \text{ con } a = 32 \text{ mm/ora}^n \text{ e } n = 0.45.$$

$$\text{Dotazione idrica } q= 380 \text{ l/ab.d.};$$

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

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



N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)	Diametro (m)
1	1.0	800	40	150	0.6	<b>0.4</b>
2	2.0	1400	65	250	0.5	
3	1.0	700	40	200	0.5	

$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$	$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$
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)**

I dati di altezza di pioggia (mm) massima annuale osservati ad una stazione pluviometrica per durate di 15, 30, 45 e 60 minuti sono riportati in Tabella 1:

<i>Durate</i>				
<i>Anno</i>	<i>15'</i>	<i>30'</i>	<i>45'</i>	<i>60'</i>
1987	9.4	19.6	21.8	28.2
1988	26.4	46.6	60.8	81.2
1989		19		28.8
1990		13		16.6
1991	40.4	46.6	60.8	77
1992		29		32.2
1993	12		28.8	30.2
1995	30	30.2	34	36.8
1996		21.2		25.2
1997	16.4	17.6	19.4	19.8
1998	10.4	14.4	18.2	24.2
1999	10	14	15	18
2000	20.4	28.6	31	32.7
2001	23.2			24.4
2002	16.8			41.8
2003	17.4	41.6	43.6	46.2

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 50 anni;
- l'altezza di pioggia con tempo di ritorno di 50 anni per una durata di 50 minuti.

**Commentare i passaggi effettuati per ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  illustrandone il significato**

Formule:

Distribuzione di Gumbel

$$F_x(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x-u)}{\alpha}\right]\right\}; \quad \sigma^2 = 1.645\alpha^2; \quad \mu = u + 0.5772\alpha;$$

Modello lineare

$$y = a + bx; \quad a = \bar{y} - b\bar{x}; \quad b = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2};$$

(N.B. costruire la curva di possibilità climatica in modo da avere le altezze di pioggia in mm e le durate in ore)

**Domande (punti 3 ciascuna)**

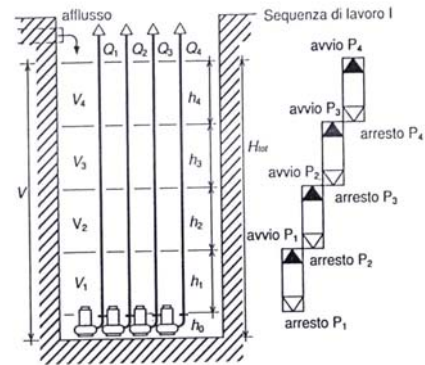
1. Illustrare le ipotesi ed il procedimento per il corretto dimensionamento degli angoli in ingresso ed in uscita della palettatura di una pompa assiale.
2. Si consideri il bacino di pescaggio di 4 pompe la cui sequenza di avvio è riportata nella figura a lato.

Si dimostri la relazione:

$$V_k = Tc_k \frac{Q_k}{4}$$

dove:

- $V_k$  - volume associato alla k-ma pompa;  
 $Tc_k$  - tempo di ciclo della k-ma pompa;  
 $Q_k$  - portata sollevata dalla k-ma pompa.



3. Metodo cinematico:  $Q = \varphi \cdot i \cdot A$ . Illustrare cosa rappresenta ciascuno dei termini dell'equazione. Perché si considera un evento di precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino?
4. Illustrare i passi e le ipotesi per il corretto dimensionamento di una grondaia a sezione rettangolare.
5. Descrivere le diverse tipologie di cunette (triangolare, triangolare ribassate) e caditoie stradali (a grata, a bocca di lupo) e i passaggi per un corretto dimensionamento delle caditoie sia nel caso siano posizionate in un tratto di strada a pendenza uniforme, sia in un avvallamento.

## Esercizio n°1

La curva della pompa P<sub>1</sub> a n=870 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = 50 - 400Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{50 - H}{400}}$$

Applicando il Principio di similitudine fluidodinamica, si ricava l'equazione della curva della pompa P<sub>2</sub> a n<sup>\*</sup>=1170 giri/min:

$$\begin{cases} \frac{H}{H^*} = \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \\ \frac{Q}{Q^*} = \frac{n}{n^*} \end{cases} \rightarrow H^* \cdot \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 = r - s \cdot Q^{*2} \cdot \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \rightarrow \quad P_{1170}: H^* = \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 \cdot r - s \cdot Q^{*2} = r^* - s^* \cdot Q^{*2}$$

essendo:

$$\begin{cases} r^* = \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 r = \left(\frac{1170}{870}\right)^2 50 = 90.43m \\ s^* = s = 400 s^2/m^5 \end{cases}$$

Quindi la curva della pompa P<sub>2</sub> a n<sup>\*</sup>=1170 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = 90.43 - 400Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{90.43 - H}{400}}$$

Dal momento che le due pompe operano in parallelo, la portata sollevata al serbatoio B è pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{50 - H}{400}} + \sqrt{\frac{90.43 - H}{400}}$$

Per determinare il punto di funzionamento, si pongono a sistema l'equazione della curva delle pompe P1 e P2 in parallelo, con l'equazione della curva dell'impianto, così definita:

$$H = H_g + k \cdot Q^2$$

Dove:

$$H_g = H_B - H_A = 18m$$

$$k = k_{chiam} + k_{mand} = 44.54 s^2 m^{-5};$$

Nello specifico:

$$k_{chiam} = k_{c,d} + k_{c,c} = \frac{\beta_c \cdot L_c}{D_c^5} + \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{2 \cdot g \cdot \left(\frac{\pi D_c^2}{4}\right)^2} = 2.73 s^2 m^{-5}$$

$$k_{mand} = k_{m,d} + k_{m,c} = \frac{\beta_m \cdot L_m}{D_m^5} + \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{2 \cdot g \cdot \left(\frac{\pi D_m^2}{4}\right)^2} = 41.81 s^2 m^{-5}$$

essendo:

$$\begin{cases} \beta_c = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D_c}}\right) = 0.0016 \\ \beta_m = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D_m}}\right) = 0.00153 \end{cases} \quad \text{con } \gamma_B = 0.13 m^{1/2}$$

In definitiva il punto di funzionamento è dato dal seguente sistema:

$$\begin{cases} Q = \sqrt{\frac{50 - H}{400}} + \sqrt{\frac{90.43 - H}{400}} \\ H = H_g + kQ^2 \end{cases}$$

da cui si ottiene che:

$$Q - \sqrt{\frac{50 - H_g - kQ^2}{400}} - \sqrt{\frac{90.43 - H_g - kQ^2}{400}} = 0 \quad \Rightarrow Q = 0.584 m^3 / s$$

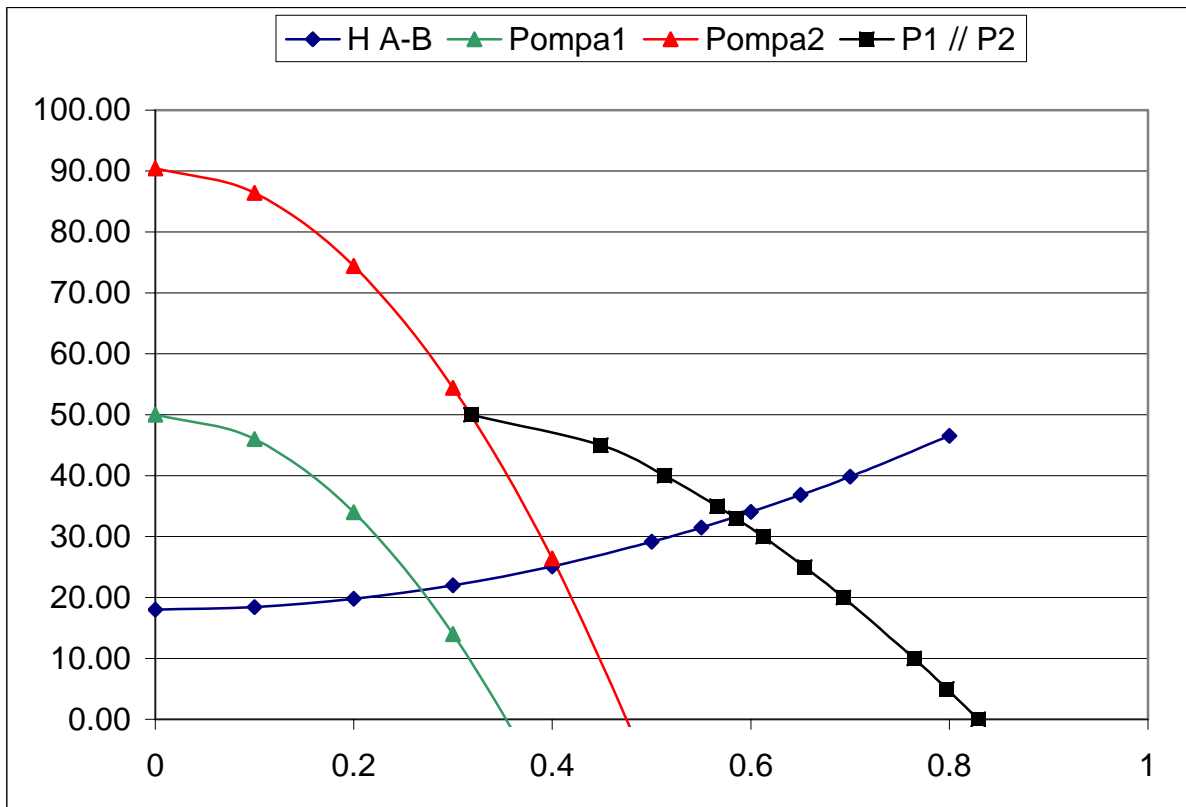
Quindi la prevalenza è pari a:

$$H = 33.16 \text{ m}$$

La portata sollevata da ciascuna pompa è pari a:

$$\begin{aligned} \text{Pompa } P_1: \quad & Q = 0.205 m^3 / s \\ & H = 33.16 m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pompa } P_2: \quad & Q = 0.378 m^3 / s \\ & H = 33.16 m \end{aligned}$$



### NPSH pompa P1

Dalla seguente tabella si ricava il valore dell’NPSH richiesto, nota la portata sollevata dalla pompa P<sub>1</sub> pari a 0.205 m<sup>3</sup>/s:

Tabella 1. Valori del NPSH

$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7
NPSH [m]	10	10.25	10.5	10.75	11	11.5	12	12.25	12.7	13	13.8	14.7

$$NPSH_{rich} = 10.8 \text{ m}$$

La quota a cui dovrebbe essere posizionata la pompa P1 al fine di evitare la cavitazione è pari a:

$$\Delta z = NPSH_{rich} - \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{P_{vap}}{\gamma} + y_a = 1.57 \text{ m}$$

essendo  $y_a = k_{chiam} Q^2$ .

### NPSH pompa P2

$$Q_2 = 0.378 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow NPSH_{rich} = 12.2 \text{ m (vedi tabella sopra riportata)}$$

La quota a cui dovrebbe essere posizionata la pompa P2 al fine di evitare la cavitazione è pari a:

$$\Delta z = NPSH_{rich} - \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{P_{vap}}{\gamma} + y_a = 2.97m$$

essendo  $y_a = k_{chiam} Q^2$ .

Le pompe vanno posizionate quindi almeno a 2.97 m sotto il pelo libero del serbatoio A.



## Esercizio n°2

Costanti:		D.I. (q)		Coeff. Affl. Nera		Kh		Kmin		$\phi$ imp		$\phi$ perm		a		n											
		380 l/ab*di		0.85		1.5		0.67		0.8		0.1		32		0.45											
Tratto condotta	Abitanti	Q nera massima	Q nera minima	Area scolante parziale	Area scolante totale	Impermeabilità	Lunghezza	Diametro ipotizzato	Pendenza	Scabrezza	Velocità a sezione piena	Portata a sezione piena	Tempo di scolo	Tempo di transito	Tempo di corrivazione	Intensità di pioggia	Coefficiente d'afflusso	Portata critica	Portata massima Qc+Qn,max	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Qmax	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Qmin
	N ab	Qnmax l/sec	Qnmin l/sec	Sp ha	Stot ha	IMP %	L m	D m	i %	ks	Vp m/s	Qp l/s	Ta min	Tr min	Tcr min	ic mm/h	$\phi$	Qc l/s	Qmax l/s	$\frac{Qmax}{Qp}$	h/d	$\frac{Vmax}{Vp}$	Vmax m/s	$\frac{Qmin}{Qp}$	h/d	$\frac{Vmin}{Vp}$	Vmin m/s
1	800	4.49	2.36	1.0	1	40	150	0.4	0.6	70	1.17	147	5	2.14	6.43	109.3	0.38	115.4	119.9	0.817	0.7	1.12	1.31	0.0161	0.09	0.37	0.432
2	1400	7.85	4.13	2.0	2	65	250	0.6	0.5	70	1.40	395	5	2.98	6.99	104.4	0.56	321.9	329.8	0.835	0.7	1.12	1.57	0.0104	0.07	0.32	0.447
3	700	16.26	8.55	1.0	4.0	40	200	0.7	0.5	70	1.55	596	5	5.13	8.42	94.2	0.47	489.4	505.7	0.848	0.7	1.12	1.73	0.0143	0.08	0.35	0.542

### Esercizio n°3

	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>				
	9.4	19.6	21.8	28.2				
	26.4	46.6	60.8	81.2				
		19		28.8				
		13		16.6				
	40.4	46.6	60.8	77				
		29		32.2				
	12		28.8	30.2				
	30	30.2	34	36.8				
		21.2		25.2				
	16.4	17.6	19.4	19.8				
	10.4	14.4	18.2	24.2				
	10	14	15	18				
	20.4	28.6	31	32.7				
	23.2			24.4				
	16.8			41.8				
	17.4	41.6	43.6	46.2				
<b>Media</b>	<b>19.40</b>	<b>26.26</b>	<b>33.34</b>	<b>35.21</b>				
<b>var</b>	<b>87.43</b>	<b>146.31</b>	<b>281.44</b>	<b>358.48</b>				
u	15.19	20.82	25.79	26.69				
alfa	7.290	9.431	13.080	14.762				
T	50.000	50.000	50.000	50.000				
h	43.638	57.617	76.828	84.286				
t	0.250	0.500	0.750	1.000				
logh	3.776	4.054	4.342	4.434	ymedio	4.151	xymedio	-2.457
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000	xmedio	-0.592	n	4.000
xiyi	-5.235	-2.810	-1.249	0.000	Sommaxiyi	-9.293		
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000	Sommaxi2	2.485		
<b>B=n</b>	<b>0.492</b>							
<b>A</b>	<b>4.443</b>							
<b>a</b>	<b>84.989</b>							
hcalc	42.97	60.43	73.77	84.99				
<b>h50'</b>	<b>77.70 mm</b>							