

Esercizio n°1 (punti 6)

L'impianto di sollevamento rappresentato in figura è costituito da due pompe, la prima (P_1) posta $L_1=100$ m a valle del serbatoio A, la seconda (P_2), di rilancio, posta a $L_2=1000$ m a valle della prima. Le pompe sono uguali e la loro curva caratteristica a $n=710$ giri/min è:

$$H = r - s \cdot Q^2 \quad \text{con } r=20 \text{ m, } s=500 \text{ m}/(\text{m}^3/\text{s})^2 \quad \text{a } n=710 \text{ giri/min}$$

Il serbatoio A è posto alla quota di $Z_A=14$ m, il serbatoio B è posto alla quota di $Z_B=22$ m.

Il tratto L_3 tra la pompa P_2 ed il serbatoio B è lungo $L_2=1000$ m e tutti i tratti hanno il medesimo diametro $D=400$ mm. Per il calcolo delle perdite di carico si consideri un coefficiente di Bazin $\gamma_B=0.12 \text{ m}^{1/2}$.

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

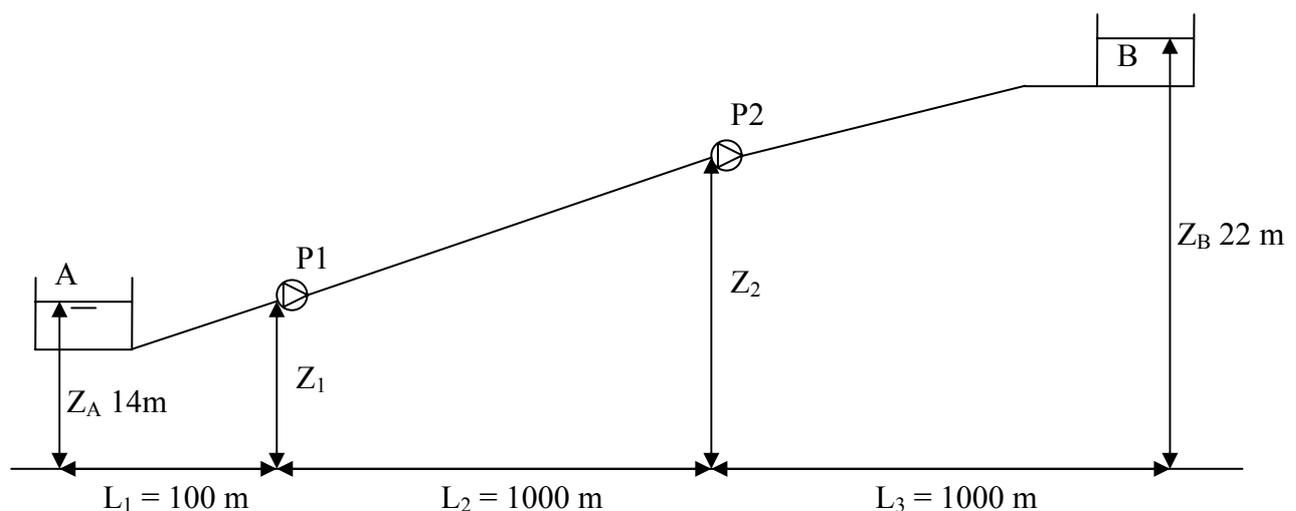
Si trascurino le perdite di carico concentrate.

La pompa P_1 opera ad un numero di giri fissato $n_1=710$ giri/min. La pompa P_2 opera ad un numero di giri n_2^* variabile. Determinare il numero di giri n_2^* tale per cui la portata sollevata dall'impianto dal serbatoio A al serbatoio B è pari a $Q=200$ l/s.

Determinare inoltre le quote massime Z_1 e Z_2 a cui potrebbero esser posizionate le pompe evitando la cavitazione assegnati, per entrambe le pompe, i seguenti valori di NPSH:

Q (m ³ /s)	0.1	0.12	0.14	0.16	0.18	0.2	0.22
NPSH (m)	10	10.3	10.6	10.9	11.5	12	13

Temperatura di riferimento: 20°C; pressione di vapore saturo: 2339 Pa; pressione aria: 101300 Pa.



Esercizio n°2 (punti 5)

Si dimensionino i due tratti della rete di drenaggio urbano mista riportati in figura sulla base dei seguenti dati:

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

Tempo di accesso in rete: 5 min.

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

$$\text{Curva di possibilità climatica: } h = a\theta^n \text{ con } a = 36 \text{ mm/ora}^n \text{ e } n = 0.49.$$

Dotazione idrica $q=380$ l/ab.d;

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

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

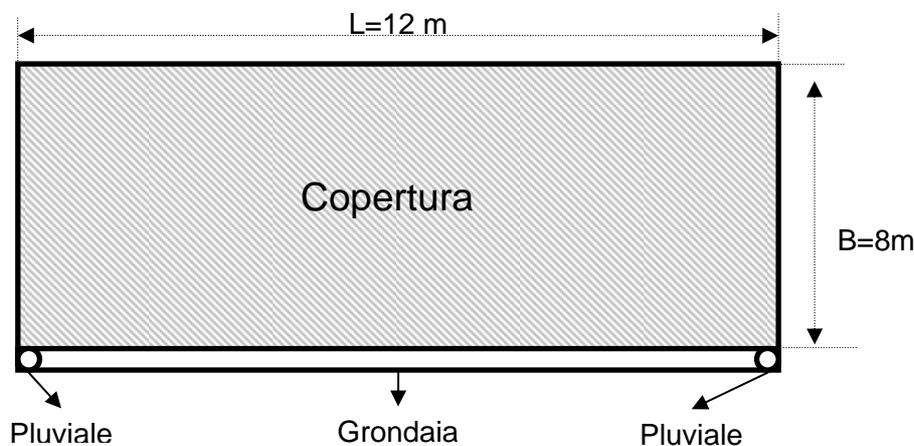


N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)
1	2.5	2500	70	500	0.3
2	2.5	2500	75	500	0.2

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 4)

Si consideri la copertura di un edificio rappresentata in figura costituita da una falda di lunghezza $L=12$ e larghezza $B=8$ m. Il sistema di scolo delle acque meteoriche è costituito da una grondaia a sezione rettangolare posizionata in corrispondenza di uno dei due lati L dell'edificio e da 2 pluviali posizionati all'estremità della grondaia. Si dimensiona la grondaia ed i pluviali assumendo un evento di precipitazione di durata 5 minuti e una curva di possibilità climatica $h = at^n$ essendo $a=48$ mm/oraⁿ e $n=0.47$. Si assuma un coefficiente di deflusso $\phi=1$ e un coefficiente di scabrezza di Strickler della grondaia $K_s=70$ m^{1/3}/s. Giustificare se si adotta o meno una pendenza nulla del fondo della grondaia e calcolare il minimo e massimo tirante idrico nella grondaia in funzione della scelta progettuale effettuata.

**Domande (punti 3 ciascuna)**

1. Dopo aver illustrato il concetto di similitudine fluidodinamica, definire i seguenti coefficienti adimensionali: Φ , Ψ , Λ .
2. Definire la velocità specifica e il diametro specifico di una turbopompa e introducendo il diagramma di Balje illustrare come queste grandezze sono relazionate alle diverse tipologie di turbopompe
3. Le curve caratteristiche delle pompe: illustrare perché il legame h_u-Q presenta generalmente un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.
4. 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 $h = a \cdot t^n$.
5. Coefficiente ARF: specificare a quale scopo viene utilizzato, qual'è il suo andamento rispetto all'area del bacino A e alla durata di precipitazione θ . Come si definisce l'altezza di pioggia areale?

Esercizio n°1

Parte 1

Soluzione 1

Si considerino le equazioni delle curve caratteristiche delle due pompe a $n_1 = n_2 = 710 \text{ giri/min}$:

$$H = r - s \cdot Q^2 \quad (1)$$

La P_1 opera ad $n_1 = 710 \text{ giri/min}$, mentre la P_2 opera ad un numero di giri variabile n_2^* .

Con riferimento alla P_2 , applicando il principio della similitudine fluidodinamica si ottiene:

$$\begin{cases} \frac{H_2}{H_2^*} = \left(\frac{n_2}{n_2^*} \right)^2 \\ \frac{Q_2}{Q_2^*} = \frac{n_2}{n_2^*} \end{cases} \quad (2)$$

Sostituendo le relazioni (2) nell'equazione (1), e semplificando si ottiene l'equazione della curva caratteristica della P_2 a n_2^* :

$$H_2^* \cdot \left(\frac{n_2}{n_2^*} \right)^2 = r - s \cdot Q_2^{*2} \cdot \left(\frac{n_2}{n_2^*} \right)^2 \quad (3)$$

Quindi le equazioni delle curve caratteristiche delle pompe 1 e 2 sono rispettivamente:

$$\begin{cases} H = r - s \cdot Q^2 \\ H = \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 r - s \cdot Q^2 \end{cases} \quad (4)$$

Dal momento che le due pompe operano in serie si ha:

$$H = r - s Q^2 + \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 r - s Q^2 \quad (5)$$

Mettendo a sistema la relazione appena ottenuta (5) con l'equazione che definisce la curva dell'impianto $H = H_g + \frac{\beta Q^2}{D^5} L$, si ottiene:

$$H_g + \frac{\beta Q^2}{D^5} L = r - s Q^2 + \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 r - s Q^2 \quad (6)$$

Fissato un valore di portata da sollevare Q pari a 200 l/s , l'unica incognita all'interno della relazione (6) è n_2^* , che si otterrà dalla seguente relazione:

$$n_2^* = n_2 \cdot \sqrt{\frac{H_g + \frac{\beta Q^2}{D^5} L - r + 2s Q^2}{r}} \quad (7)$$

Andando a sostituire i dati richiesti si ottiene che il valore di n_2^* è pari a 1021.24 giri/min.

Parte 2

L'NPSH richiesto dalla pompa P₁ quando solleva Q=200 l/s è 12 m. (vedi Tabella testo)

Le perdite di carico y_a tra il serbatoio A e la pompa P₁ sono pari a:

$$y_a = \frac{\beta Q^2}{D^5} L_1 = 0.64 \text{ m}$$

La pompa potrà quindi essere posizionata alla quota massima di

$$Z_1 = Z_A + \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{vap}}{\gamma} - y_a - NPSH = 11.45 \text{ m}$$

L'NPSH richiesto dalla pompa P₂ quando solleva Q=200 l/s è 12 m. (vedi Tabella testo)

Le perdite di carico y_a tra il serbatoio A e la pompa P₂ sono pari a:

$$y_a = \frac{\beta Q^2}{D^5} (L_1 + L_2) = 7 \text{ m}$$

La pompa P₁ posta a monte della pompa P₂ fornisce una prevalenza $h_1=0$ m.

La pompa potrà quindi essere posizionata alla quota massima di

$$Z_1 = Z_A + \frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_{vap}}{\gamma} - y_a + h_1 - NPSH = 5.08 \text{ m}$$

Costanti:		D.I. (q)		Coeff. Affl. Nera		Kh		Kmin		ϕ imp		ϕ perm		a		n											
		380 l/ab*di		0.85		1.5		0.67		0.8		0.1		36		0.49											
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	ϕ	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	2500	14.02	7.37	2.5	2.5	70	500	0.7	0.3	70	1.20	462	5	6.95	9.63	91.5	0.59	374.9	389.0	0.843	0.7	1.12	1.34	0.0160	0.08	0.35	0.420
2	2500	28.04	14.73	2.5	5.0	75	500	0.9	0.2	70	1.16	737	5	14.14	14.43	74.5	0.61	628.3	656.3	0.891	0.7	1.13	1.31	0.0200	0.10	0.4	0.463

Lungh	Largh	Int. Prec	φ	Ks	a	n	tp
m	m	mm/h			[mm/ora ⁿ]		[min]
12	8	179.15	1	70	48	0.47	5

Qfalda 4.78 l/s

GRONDAIA

Assumo i pluviali posizionati agli estremi

Q 2.389 l/s

Assumo una sezione

b [cm] h [cm]

10 10

yc= 0.038744 m 3.87 cm

i=0, perdite nulle opp. i=j

ym= 6.71 cm

Considero le perdite di carico

Jmedio 0.005029

$\Delta H =$ 0.030175 m 3.02 cm > 0.89 0.23yc

ym= 9.73 cm

PLUVIALE

Assumo un pluviale di diametro D= **0.1 m**

Soglia sfiorante Q= 0.00371 m³/s 3.714317 l/s > 2.389

Sotto battente Q= 0.00411 m³/s 4.10861 l/s > 2.389