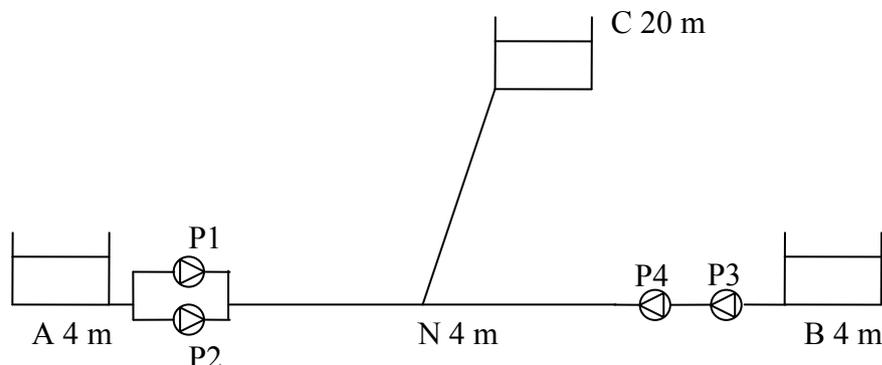


**Esercizio n°1 (punti 6)**

Si consideri l'impianto di sollevamento rappresentato in figura costituito da quattro pompe che prelevano acqua da due serbatoi A e B per alimentare un terzo serbatoio C.

I serbatoi A e B sono posti alla quota di 4 m. Il serbatoio B è posto alla quota di 20 m.



La condotta di mandata è unica nel tratto compreso tra il nodo N, posto alla quota di 4 m ed il serbatoio C.

I tratti AN e BN sono lunghi 900 m e le relative perdite di sono rappresentate dalla relazione:

$$\Delta H = \gamma \cdot L \cdot Q^2 \quad (\text{dove } \Delta H \text{ e } L \text{ in m, e } Q \text{ in l/s})$$

$$\text{con } \gamma = 8 \cdot 10^{-7} \text{ (l/s)}^{-2}$$

Il tratto NC è lungo 1800 m e le relative perdite di sono rappresentate dalla relazione:

$$\Delta H = \gamma \cdot L \cdot Q^2 \quad (\text{dove } \Delta H \text{ e } L \text{ in m, e } Q \text{ in l/s})$$

$$\text{con } \gamma = 7 \cdot 10^{-7} \text{ (l/s)}^{-2}$$

Le curve caratteristiche delle pompe ed i relativi rendimenti sono:

Pompa 1 e Pompa 2

$$H = r - s \cdot Q^2 \quad \text{con } r=32 \text{ m, } s=0.0015 \text{ m/(l/s)}^2 \quad \text{a } n=870 \text{ giri/min}$$

Q (l/s)	10	30	50	80	100
$\eta$	0.72	0.78	0.76	0.74	0.72

Pompa 3 e Pompa 4

$$H = t - u \cdot Q^2 \quad \text{con } t=16 \text{ m, } u=0.001 \text{ m/(l/s)}^2 \quad \text{a } n=870 \text{ giri/min}$$

Q (l/s)	10	30	50	80	100
$\eta$	0.68	0.70	0.74	0.78	0.72

Calcolare la potenza assorbita dall'impianto per sollevare 4000 m<sup>3</sup> al giorno al serbatoio C.

**Esercizio n°2 (punti 5)**

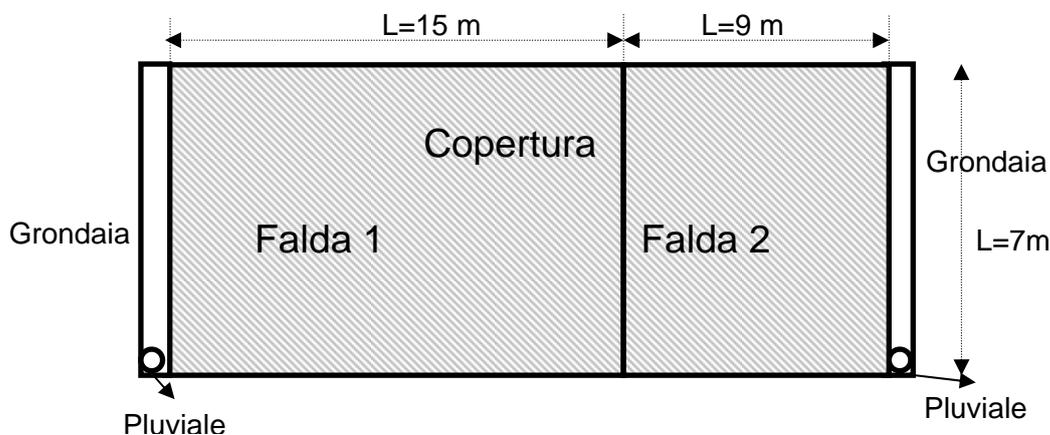
Un collettore di fognatura mista ha un diametro di 0.5 m, è lungo 200 m, ha una pendenza pari a 0.5%, una scabrezza  $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ed è al servizio di un'area di 1 ha.

Assumendo un coefficiente di afflusso per le aree non urbanizzate  $\phi_{PERM}=0.1$  e per le aree urbanizzate  $\phi_{IMP}=0.8$ , un tempo di accesso in rete di 5 min, i parametri della curva di possibilità climatica  $h = a\theta^n$   $a = 35 \text{ mm/ora}^n$  e  $n = 0.48$ , un numero di abitanti equivalenti serviti pari a 1100, una dotazione idrica  $q = 360 \text{ l/ab.d}$ , un coefficiente di afflusso in rete per le acque nere  $\Phi=0.85$  ed un coefficiente di punta orario  $k_h=1.5$ , calcolare la massima percentuale di superficie urbanizzata a fronte della quale si avrebbe un funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale.

$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$	$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$
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 due falde. Il sistema di scolo delle acque meteoriche è costituito da due grondaie a sezione rettangolare ciascuna al servizio di una falda, e da 2 pluviali, ciascuno posizionato all'estremità di una grondaia (vedi figura). Si dimensionino le grondaie ed i pluviali a fronte di una intensità di precipitazione di 90 mm/h. Si assuma un coefficiente di deflusso  $\phi=1$  e un coefficiente di scabrezza di Strickler della grondaia  $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . 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)

1. Che cos'è la cavitazione? Quale è l'accorgimento che bisogna adottare per evitare tale fenomeno?
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. Partendo da una serie di altezze di precipitazione massime annue (ad esempio sulle durate di 1, 3, 6 e 12 ore) descrivere e spiegare la trattazione statistica per ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità climatica  $h = a \cdot t^n$  per assegnato tempo di ritorno.
4. Che cosa si intende per sistema di ventilazione parallela indiretta? In quale circostanza questo sistema può essere impiegato? Fornire uno schema di un impianto di ventilazione parallela indiretta.
5. Dopo aver indicato in quale circostanza è necessario inserire all'interno di una rete fognaria un dispositivo di cacciata, descrivere il funzionamento del dispositivo di cacciata di tipo Contarino.

## Esercizio 1

Si considerino le pompe P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> la cui curva caratteristica è:

$$H = r - sQ^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{r-H}{s}} \quad (1)$$

Dal momento le pompe P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> operano in parallelo, è necessario determinare il valore della portata Q sollevata dalle due pompe, a parità di prevalenza H.

$$Q = 2\sqrt{\frac{r-H}{s}} \quad \text{ovvero} \quad H = r - \frac{s}{4}Q^2 \quad (2)$$

Supponendo di posizionare le pompe P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> in corrispondenza del nodo N, l'equazione della curva caratteristica delle due pompe poste in parallelo assume la seguente forma:

$$H_{P_1/P_2} - H_{AN} = H = r - z_N + z_A - \left(\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}\right) Q^2 \quad (3)$$

dove il termine H<sub>AN</sub>, definito dalla relazione (4), rappresenta le perdite di carico che il sistema deve vincere per poter sollevare la portata al nodo N.

$$H_{AN} = z_N - z_A + \gamma_{AN} \cdot L_{AN} \cdot Q^2 \quad (4)$$

Esplicitando la relazione (3) rispetto la portata si ottiene l'equazione del sistema delle pompe P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>, poste in parallelo, riportata al nodo N:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} \quad (5)$$

Si considerino ora le pompe P<sub>3</sub> e P<sub>4</sub> la cui curva caratteristica è:

$$H = t - uQ^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{t-H}{u}} \quad (1)$$

La pompa P<sub>3</sub> è in serie con la pompa P<sub>4</sub>, quindi sommando le prevalenze a parità di portata si ha

$$H = 2(t - u \cdot Q^2) \quad (6)$$

Analogamente a quanto visto per il sistema di pompe P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>, si riporta il sistema di pompe P<sub>3</sub>-P<sub>4</sub> al nodo N tenendo conto delle perdite di carico H<sub>BN</sub> che è necessario vincere per poter sollevare la portata al nodo N:

$$H_{P_3/P_4} - H_{BN} = H = 2(t - u \cdot Q^2) - z_N + z_B - \gamma_{BN} \cdot L_{BN} \cdot Q^2 \quad (7)$$

ovvero

$$H = 2t - z_N + z_B - (\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u) \cdot Q^2 \quad (8)$$

da cui:

$$Q = \sqrt{\frac{2t - z_N + z_B - H}{\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u}} \quad (9)$$

A questo punto si procede mettendo in parallelo il sistema di pompe P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub> con il sistema di pompe P<sub>3</sub>-P<sub>4</sub>, in corrispondenza del nodo N. Sommando quindi le portate a parità di prevalenza, si ottiene che:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} + \sqrt{\frac{2t - z_N + z_B - H}{\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u}} \quad (10)$$

L'equazione della curva dell'impianto relativo al tratto NC è definita da:

$$H_{NC} = z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2 \quad (11)$$

Mettendo a sistema l'equazione (10) con l'equazione (11), si ottiene:

$$Q - \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - (z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2)}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} + \sqrt{\frac{2t - z_N + z_B - (z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2)}{\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u}} = 0 \quad (12)$$

Si procede quindi con la risoluzione dell'equazione rispetto al valore della Q, in quanto unica incognita:

Si ottiene che:

$$Q = 98.1 \text{ l/s}$$

Quindi il valore della prevalenza è pari a :

$$H = z_C - z_N + \gamma_{CN} L_{CN} Q_{CN}^2 = 28.11 \text{ m}$$

Il sistema P1//P2 solleva una portata pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} = 59.6 \text{ l/s}$$

Il sistema P3serieP4 solleva una portata pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{2t - z_N + z_B - H}{\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u}} = 38.5 \text{ l/s}$$

La portata sollevata da ciascuna pompa è quindi pari a:

$$\text{Pompa P}_1: Q = 59.6/2 = 29.8 \text{ l/s}$$

$$\text{Pompa P}_2: Q = 59.6/2 = 29.8 \text{ l/s}$$

$$\text{Pompa P}_3: Q = 38.5 \text{ l/s}$$

$$\text{Pompa P}_4: Q = 38.5 \text{ l/s}$$

Le prevalenze effettive fornite da ciascuna pompa sono quindi pari a:

$$\text{Pompa P}_1: H = r - sQ^2 = 30.7 \text{ m}$$

Pompa P<sub>2</sub>:  $H = r - sQ^2 = 30.7m$

Pompa P<sub>3</sub>:  $H = t - u \cdot Q^2 = 14.5m$

Pompa P<sub>4</sub>:  $H = t - uQ^2 = 14.5m$

I rendimenti sono:

Pompa P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>: 0.78

Pompa P<sub>3</sub> e P<sub>4</sub>: 0.72

Le potenze delle pompe, calcolate con la formula  $\rho gQH/n$ , risultano rispettivamente pari a 11.5, 11.5, 7.6, 7.6 kW. La potenza complessiva dell'impianto è quindi pari a 38.2 kW.

Dato il volume giornaliero da sollevare di 4000 m<sup>3</sup>, il numero di ore di funzionamento dell'impianto al giro è pari a 11.33, per cui la potenza totale assorbita quotidianamente è pari a 433 KWh/die

## Esercizio n°2

Nell'ipotesi di grado di riempimento ottimale:

$$\frac{h}{D} = 0.7 \quad \text{da cui:} \quad \frac{Q_{\max}}{Q_p} = 0.837 \Rightarrow Q_{\max} = Q_{cr} + Q_{n,\max} = 0.837 Q_p$$

Quindi si calcola il valore della portata a sezione piena:

$$Q_p = v_p A = 243 \text{ l/s}$$

essendo  $v_p$  la velocità a sezione piena così definita:

$$v_p = k_s \left( \frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} = 1.24 \text{ m/s}$$

Quindi il valore della portata massima è pari a:

$$Q_{\max} = Q_{cr} + Q_{n,\max} = 0.837 \cdot 243 = 204 \text{ l/s}$$

e il valore della portata critica è:

$$Q_{cr} = Q_{\max} - Q_{n,\max} = 204 - 6 = 198 \text{ l/s}$$

essendo la portata nera massima pari a 5.61 l/s.

Il valore dell'intensità di precipitazione critica vale:

$$i_{cr} = a(t_{cr})^{n-1} = 109 \text{ mm/h}$$

essendo  $t_{cr}$  così definito:

$$t_{cr} = t_a + \frac{t_r}{1.5} = 5 + \frac{L}{v_p \cdot 1.5} = 6.80 \text{ min}$$

Quindi è possibile ricavare il valore di  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{Q_{cr}}{iA} = 0.66$$

Dalla definizione del coefficiente  $\varphi$ :

$$\varphi = \varphi_{imp} \cdot IMP + \varphi_{perm} \cdot (1 - IMP)$$

esplicitando la relazione in funzione della percentuale di superficie urbanizzata, si ottiene che:

$$IMP = \frac{\varphi - \varphi_{perm}}{\varphi_{imp} - \varphi_{perm}} \cdot 100 = 79\%$$

<b>Esercizio n°3</b>					
Int. Prec	$\varphi$	Ks			
mm/h					
90.00	1	70			
<b>FALDA 1</b>					
Lungh	Largh				
m	m				
15	7				
Qfalda	2.63 l/s				
<i>GRONDAIA</i>					
Un pluviale all'estremo					
Q	2.63 l/s				
Assumo una sezione					
b [cm]	h [cm]				
<b>12</b>	<b>12</b>				
yc=	0.036538 m	3.65 cm			
i=0, perdite nulle opp. i=j					
ym=	6.33 cm				
Considero le perdite di carico					
Jmedio	0.005128				
$\Delta H=$	0.035898 m	3.59 cm >	0.84	0.23yc	
ym=	9.92 cm				
<i>PLUVIALE</i>					
Assumo un pluviale di diametro		D=	<b>0.1 m</b>		
Soglia sfiorante	Q=	0.0034 m <sup>3</sup> /s	3.401582 l/s	>	2.625
Sotto battente	Q=	0.00399 m <sup>3</sup> /s	3.98990 l/s	>	2.625
<b>FALDA 2</b>					
Lungh	Largh				
m	m				
9	7				
Qfalda	1.58 l/s				
<i>GRONDAIA</i>					
Un pluviale all'estremo					
Q	1.58 l/s				
Assumo una sezione					
b [cm]	h [cm]				
<b>10</b>	<b>10</b>				
yc=	0.029352 m	2.94 cm			
i=0, perdite nulle opp. i=j					
ym=	5.08 cm				
Considero le perdite di carico					
Jmedio	0.005517				
$\Delta H=$	0.038617 m	3.86 cm >	0.68	0.23yc	
ym=	8.95 cm				
<i>PLUVIALE</i>					
Assumo un pluviale di diametro		D=	<b>0.1 m</b>		
Soglia sfiorante	Q=	0.00245 m <sup>3</sup> /s	2.449139 l/s	>	1.575
Sotto battente	Q=	0.00358 m <sup>3</sup> /s	3.57607 l/s	>	1.575