

**Esercizio n°1 (punti 5)**

Si consideri l'impianto di sollevamento schematizzato in figura 1 costituito da due pompe uguali P1 e P2 che sollevano acqua, rispettivamente da un serbatoio A posizionato a 15 m s.l.m. e da un serbatoio B posizionato a 10 m s.l.m., ad un serbatoio C posizionato alla quota di 25 m s.l.m. Il tratto di mandata dal nodo N, posizionato alla quota di 20 m s.l.m., al serbatoio C è in comune. La curva caratteristica delle pompe a  $n=870$  giri/min è rappresentata dall'equazione  $H=r-sQ^2$  con  $r=40$  m e  $s=200$  s<sup>2</sup>/m<sup>5</sup> e le pompe P1 e P2 operano rispettivamente a  $n_1=870$  giri/min e  $n_2=1170$  giri/min. 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 C e, assumendo una pressione di vapore dell'acqua di 1.7 kPa e la pressione atmosferica 101.320 kPa, le quote a cui dovrebbero essere posizionate le pompe P1 e P2 al fine di evitare la cavitazione.

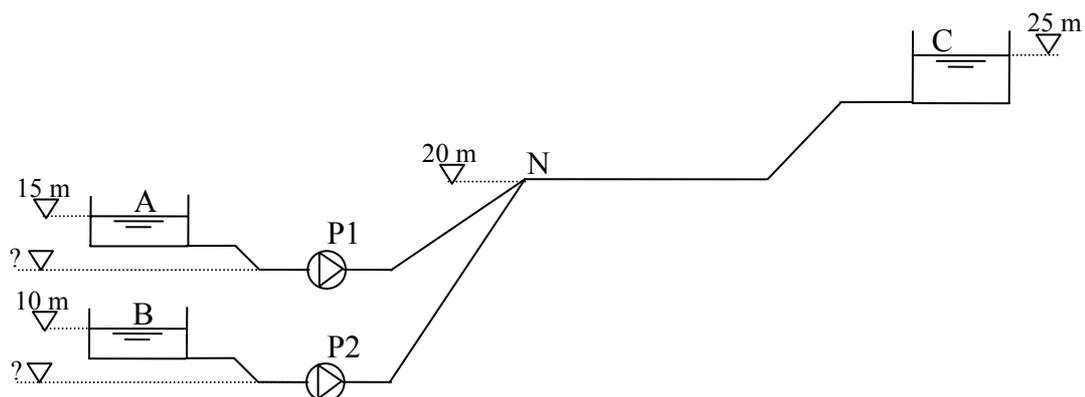


Tabella 1. Valori del *NPSH*

$Q$ [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
<i>NPSH</i> [m]	10	10.25	10.5	10.75	11	11.5	12	13	14	15

Tabella 2. Caratteristiche delle tubazioni

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	$\gamma_B$ [m <sup>1/2</sup> ]	Perdite concentrate
A-P1	30	0.3	0.13	1 imbocco; 2 gomiti
P1-N	4000	0.4	0.13	1 valvola; 2 gomiti
B-P2	20	0.3	0.13	1 imbocco; 2 gomiti
P2-N	3000	0.4	0.13	1 valvola; 2 gomiti
N-C	2000	0.5	0.13	1 sbocco; 2 gomiti

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

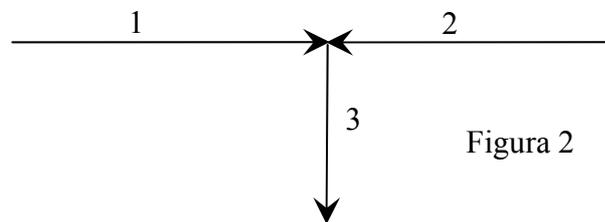
$$\beta = 0.000857 \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}} \right)^2$$

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

Imbocco	0.5
Sbocco	1
Gomito 45°	0.2
Valvola non ritorno	2.5

**Esercizio n°2 (punti 5)**

Con riferimento ai dati sotto riportati, dimensionare con il metodo cinematico le tubazioni 1, 2 e 3 della rete di drenaggio urbano schematizzata in Figura 2.



N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)
1	1.0	55	200	0.8
2	1.6	60	350	0.6
3	1.6	70	250	0.7

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

tempo di accesso in rete: 5 min;

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

Curva di possibilità climatica:  $h = a\theta^n$  con  $a = 34 \text{ mm/ora}^n$  e  $n = 0.48$ .

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

La copertura di un edificio è costituita da due falde uguali di lunghezza  $L=16$  m e larghezza  $B=8$  m. Si progetti il sistema di scolo delle acque meteoriche costituito da due grondaie a sezione rettangolare posizionata in corrispondenza dei lati  $L$  dell'edificio e da 4 pluviali (vedi figura 3) assumendo un evento di precipitazione di durata 5 minuti e una curva di possibilità climatica  $h = at^n$  essendo  $a=54$  [mm/ora<sup>n</sup>] e  $n=0.48$ . Si assuma un coefficiente di deflusso  $\varphi=1$  e un coefficiente di scabrezza di Strickler della grondaia  $K_s=70$  m<sup>1/3</sup>/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.

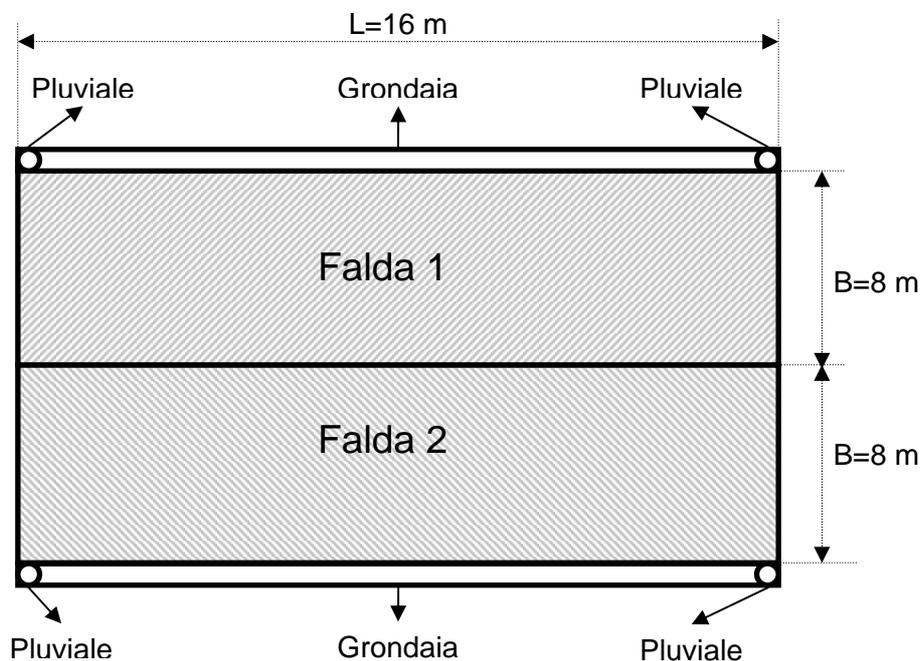


Figura 3. Pianta della copertura e posizione della grondaia e dei pluviali.

**Domande (punti 3 ciascuna)**

1. Le curve caratteristiche delle pompe: illustrare perché il legame  $h_u-Q$  presenta generalmente un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.
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. 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?
4. Definire il concetto di tempo di corrivazione. Mostrare qual'è la durata di precipitazione critica nell'ipotesi di area contribuyente lineare.
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:

$$H = 40 - 200Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{40 - H}{200}} \quad (1)$$

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:

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

essendo:

$$\begin{cases} r^* = \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 r = \left(\frac{1170}{870}\right)^2 40 = 72.34 \\ s^* = s \end{cases}$$

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

$$H = 72.34 - 200Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{72.34 - H}{200}} \quad (3)$$

Dal momento che nel tratto N-C le pompe P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> operano in parallelo, è necessario determinare il valore della portata sollevata in C dalle due pompe.

## Pompa P1

La curva dell'impianto relativa al tratto A-N è così definita:

$$H_{A-N} = z_N - z_A + \left[ \frac{\beta_{AP1} Q^2}{D_{AP1}^5} L_{AP1} + \sum_{i=1}^{n_{AP1}} \xi_i \frac{Q^2}{2g \left(\frac{\pi D_{AP1}^2}{4}\right)^2} + \frac{\beta_{P1N} Q^2}{D_{P1N}^5} L_{P1N} + \sum_{i=1}^{n_{P1N}} \xi_i \frac{Q^2}{2g \left(\frac{\pi D_{P1N}^2}{4}\right)^2} \right] \quad (4)$$

Supponendo di posizionare la pompa P1 in corrispondenza del nodo N, l'equazione della curva della pompa P1 in N presenta la seguente forma:

$$H = r - sQ^2 - H_{A-N} = r - z_N + z_A - \left[ s + \frac{\beta_{AP1}}{D_{AP1}^5} L_{AP1} + \sum_{i=1}^{n_{AP1}} \xi_i \frac{1}{2g \left(\frac{\pi D_{AP1}^2}{4}\right)^2} + \frac{\beta_{P1N}}{D_{P1N}^5} L_{P1N} + \sum_{i=1}^{n_{P1N}} \xi_i \frac{1}{2g \left(\frac{\pi D_{P1N}^2}{4}\right)^2} \right] Q^2$$

(5)

dove:

$$\begin{cases} \beta_{AP1} = 0.000857 \left( 1 + \frac{2\gamma_B}{\sqrt{D_{AP1}}} \right)^2 = 1.86 \cdot 10^{-3} \\ \beta_{P1N} = 0.000857 \left( 1 + \frac{2\gamma_B}{\sqrt{D_{P1N}}} \right)^2 = 1.71 \cdot 10^{-3} \end{cases} \quad (6)$$

Andando a sostituire nella relazione (5) i valori numerici, si ottiene che:

$$H = 40 - 20 + 15 - \left[ 200 + \frac{1.86 \cdot 10^{-3}}{(0.3)^5} 30 + \frac{(0.5 + 2 \cdot 0.2)}{2g \left( \frac{\pi(0.3)^2}{4} \right)^2} + \frac{1.71 \cdot 10^{-3}}{(0.4)^5} 4000 + \frac{(2.5 + 2 \cdot 0.2)}{2g \left( \frac{\pi(0.4)^2}{4} \right)^2} \right] Q^2 \quad (7)$$

Dalla risoluzione si ottiene quindi che:

$$H = 35 - 910Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{35 - H}{910}} \quad (8)$$

## **Pompa P2**

La curva dell'impianto relativa al tratto B-N presenta la seguente equazione:

$$H_{B-N} = z_N - z_B + \left[ \frac{\beta_{BP1} Q^2}{D_{BP1}^5} L_{BP1} + \sum_{i=1}^{n_{BP1}} \xi_i \frac{Q^2}{2g \left( \frac{\pi D_{BP1}^2}{4} \right)^2} + \frac{\beta_{P2N} Q^2}{D_{P2N}^5} L_{P2N} + \sum_{i=1}^{n_{P2N}} \xi_i \frac{Q^2}{2g \left( \frac{\pi D_{P2N}^2}{4} \right)^2} \right] \quad (9)$$

Supponendo di posizionare la pompa P2 in corrispondenza del nodo N, si ottiene che l'equazione della curva della pompa P2 in N ha la seguente forma:

$$H = r^* - s^* Q^2 - H_{B-N} \quad (10)$$

Dalla risoluzione per via numerica si ottiene, analogamente a quanto visto per la pompa P1, che :

$$H = 62.34 - 735Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{62.34 - H}{735}} \quad (11)$$

Per porre in parallelo le pompe P1 e P2, è necessario sommare il valore della portata a parità di prevalenza H:

$$Q = \sqrt{\frac{35 - H}{910}} + \sqrt{\frac{62.34 - H}{735}} \quad (12)$$

L'equazione della curva dell'impianto nel tratto N-C è:

$$H_{N-C} = z_C - z_N + \left( \frac{\beta_{NC} Q^2}{D_{NC}^5} L_{NC} + \sum_{i=1}^{n_{NC}} \xi_i \frac{Q^2}{2g \left( \frac{\pi D_{NC}}{4} \right)^2} \right) \quad (13)$$

La portata sollevata al serbatoio C si ottiene mettendo a sistema le equazioni (12) e (13), in particolare sostituendo l'equazione (13) in (12) e risolvendo tale equazione per tentativi si ottiene che:

$$\begin{cases} Q = 0.374 m^3 s^{-1} \\ H_{N-C} = 19.6 m \end{cases} \quad (14)$$

Noto il valore di  $H_{NC}$ , andandolo a sostituire in (8) e (11), è possibile ottenere il valore della portata sollevata rispettivamente dalla pompa P1 in N e dalla pompa P2 in N:

$$P1 \text{ in N: } Q_1 = \sqrt{\frac{35 - 19.6}{910}} \cong 0.131 m^3 s^{-1}$$

$$P2 \text{ in N: } Q_2 = \sqrt{\frac{62.34 - 19.6}{735}} \cong 0.242 m^3 s^{-1}$$

Andando a sostituire tali valori in (1) e (3) è possibile ottenere il valore del carico fornito da ciascuna pompa:

$$H_1 = 40 - 200(0.131)^2 = 36.5 m$$

$$H_2 = 72.34 - 200(0.242)^2 = 60.6 m$$

### NPSH pompa P1

$Q = 0.131 m^3 s^{-1} \Rightarrow NPSH_{rich} = 10.4 m$ , ottenuto dalla tabella di seguito riportata:

$Q [m^3/s]$	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
$NPSH [m]$	10	10.25	10.5	10.75	11	11.5	12	13	14	15

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

$$\Delta z = NPSH_{rich} - \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{P_{vap}}{\gamma} + y_a = 0.80 m$$

essendo:

$$y_a = k_{Chiam} Q^2 = \left( \frac{\beta_{AP}}{D_{AP}^5} L_{AP} + \frac{\sum_{i=1}^{n_{AP}} \xi_i}{2g \left( \frac{\pi D_{AP}}{4} \right)^2} \right) Q^2 = 0.56 m$$

### NPSH pompa P2

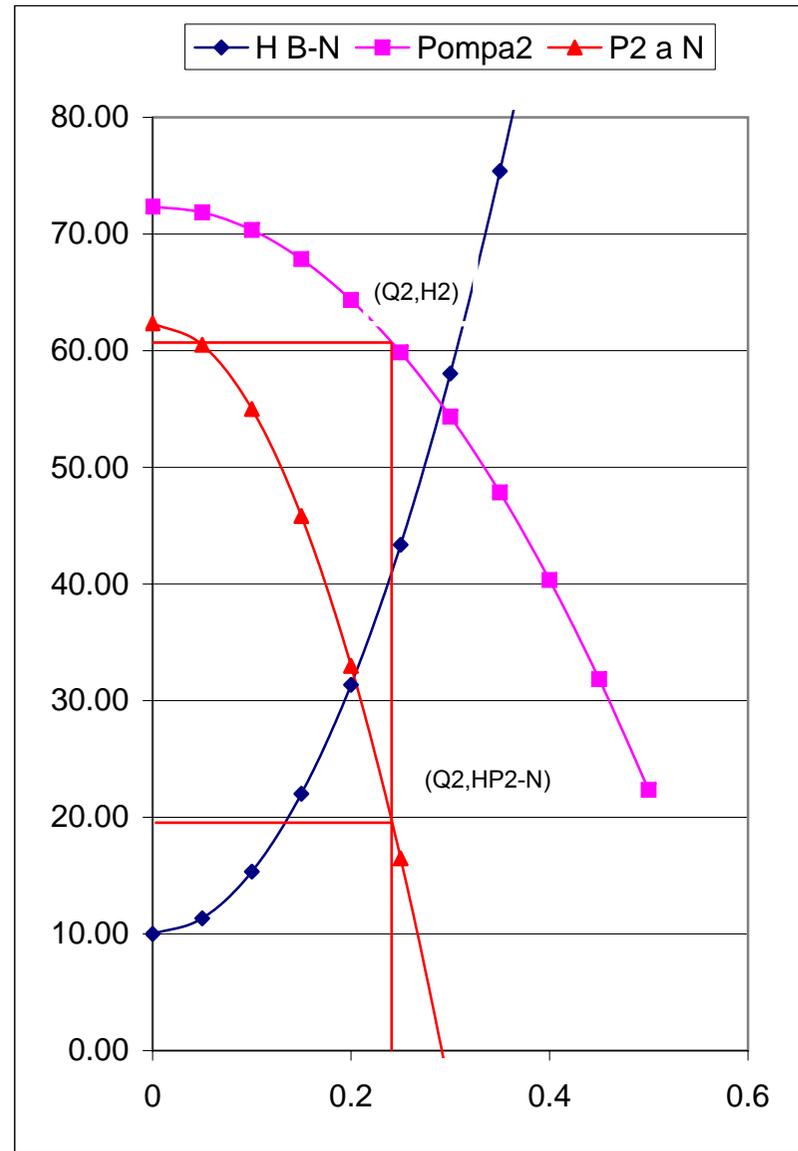
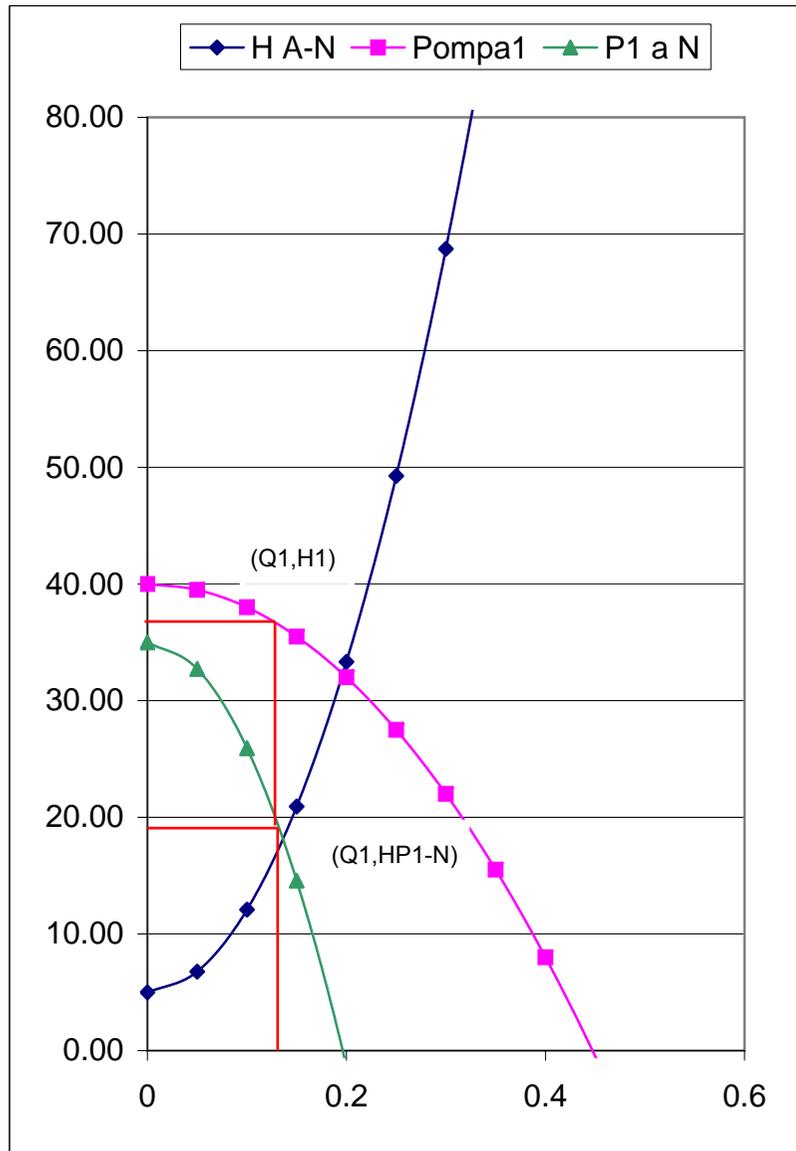
$$Q = 0.242 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \Rightarrow \text{NPSH}_{\text{rich}} = 10.9 \text{ m (vedi tabella sopra riportata)}$$

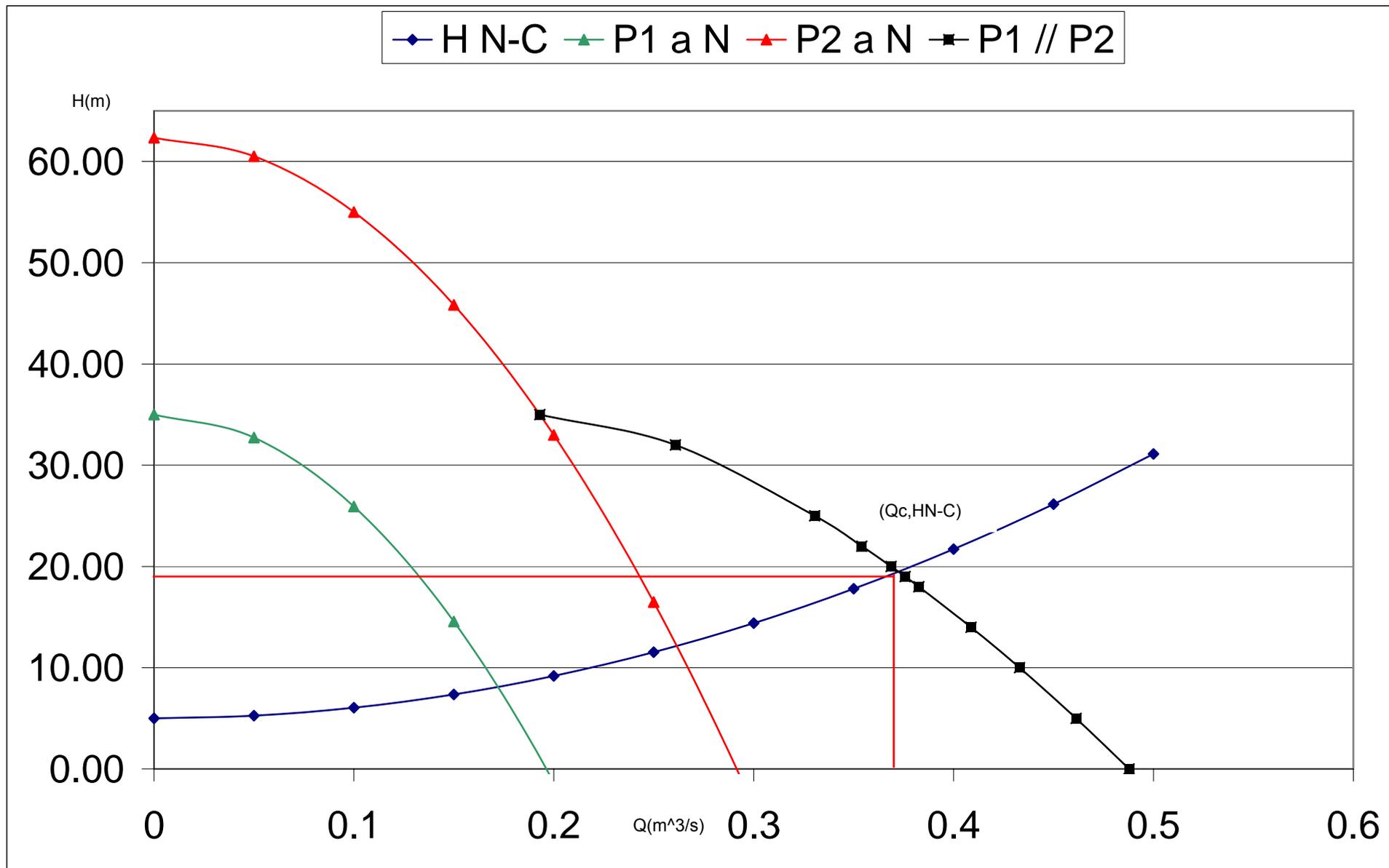
La quota a cui dovrebbe essere posizionata la pompa P2 al fine di evitare la cavitazione è pari a:

$$\Delta z = \text{NPSH}_{\text{rich}} - \frac{P_{\text{atm}}}{\gamma} + \frac{P_{\text{vap}}}{\gamma} + y_a = 2.19 \text{ m}$$

essendo:

$$y_a = k_{\text{Chiam}} Q^2 = \left( \frac{\beta_{AP}}{D_{AP}^5} L_{AP} + \frac{\sum_{i=1}^{n_{AP}} \xi_i}{2g \left( \frac{\pi D_{AP}^2}{4} \right)^2} \right) Q^2 = 1.44 \text{ m}$$





ESERCIZIO N°2

Costanti: $\phi$ imp 0.8 $\phi$ perm 0.1 a 34 n 0.48																						
Tratto condotta	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 $Q_c+Q_n$ , ma	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per $Q_{max}$		
	$S_p$ ha	$S_{tot}$ ha	IMP %	L m	D m	i %	$k_s$	$V_p$ m/s	$Q_p$ l/s	$T_a$ min	$T_r$ min	$T_{cr}$ min	$i_c$ mm/h	$\phi$	$Q_c$ l/s	$Q_{max}$ l/s	$\frac{Q_{max}}{Q_p}$	h/d	$\frac{V_{max}}{V_p}$	$V_{max}$ m/s		
1	1.0	1	55	200	<b>0.4</b>	0.8	70	1.35	170	5	2.47	6.65	106.7	0.49	143.8	143.8	0.848	0.71	1.12	1.51		
2	1.6	1.6	60	350	<b>0.5</b>	0.6	70	1.36	266	5	4.30	7.87	97.8	0.52	226.0	226.0	0.849	0.71	1.12	1.52		
3	1.6	4.2	70	250	<b>0.7</b>	0.7	70	1.83	705	5	6.58	9.38	89.2	0.54	560.3	560.3	0.795	0.67	1.1	2.02		

### Esercizio n°3

Si determina la  $Q$  scolante relativa a metà falda, dal momento che il problema è simmetrico:

$$Q_{falda} = \varphi i A = 6.99 l / s$$

essendo:

$$\begin{cases} \varphi = 1 \\ t_p = 5 \text{ min} \\ i = at_p^{n-1} = 196.59 \text{ mm} / h \\ A = L \times B = 128 \text{ m}^2 \end{cases}$$

Si assume di posizionare due pluviali nella sezione finale, che dovranno quindi smaltire una portata pari a:

$$Q_{pl} = \frac{Q_{falda}}{N^{\circ} \text{ pluviali}} = 3.495 l / s$$

Si assume una grondaia di sezione rettangolare avente le seguenti dimensioni:

$$\begin{cases} b = 15 \text{ cm} \\ h = 15 \text{ cm} \end{cases}$$

Nella sezione di valle la corrente defluisce con un'altezza critica  $y_c$  pari a:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = 0.0381 \text{ m} \rightarrow 3.81 \text{ cm}$$

Nell'ipotesi di pendenza nulla ( $i=0$ ) e perdite trascurabili, oppure di  $i=j$ , l'altezza della corrente di monte ( $y_m$ ) assume un valore pari a:

$$y_m = \sqrt{3} y_c = 0.066 \text{ m} \rightarrow 6.6 \text{ cm}$$

Il valore della pendenza media calcolata tenendo conto delle perdite di carico in corrispondenza della  $y_m$ , è dato da:

$$J_{medio} = 0.85 \frac{g}{k_s^2 y_c^3} = 0.05057 \text{ m}$$

Le perdite di carico sono quindi:

$$\Delta H = \frac{J_{medio} L}{2} = 0.040456 \text{ m} \rightarrow 4.05 \text{ cm}$$

Quindi essendo:

$$\Delta H = 4.05 \text{ cm} > 0.23 y_c = 0.88 \text{ cm}$$

Assumendo una pendenza nulla, il tirante sarebbe:

$$Y_m = y_m + \Delta H = 10.65 \text{ cm}$$

### Dimensionamento del pluviale

Si assume un pluviale di diametro pari a 0.1m e a fronte di tale valore si verifica il funzionamento del pluviale sia a soglia sfiorante che sottobattente.

1. Funzionamento a soglia sfiorante

$$Q = C_q y_c \pi D \sqrt{2 g y_c} = 3.62 l / s > 3.495 l / s$$

con  $C_q$  pari a 0.35.

2. Funzionamento sottobattente

$$Q = C_q A \sqrt{2 g y_c} = 4.07 l / s > 3.495 l / s$$

con  $C_q$  pari a 0.6.

Dal momento che entrambe le condizioni sono verificate, il diametro del pluviale ipotizzato pari a 0.1m è corretto.