

Esercizio n°1 (punti 6)

Un impianto di sollevamento è costituito da due pompe P1 e P2 funzionanti a 870 giri/min e la cui curva caratteristica è riportata in equazione (1), e da due serbatoi, A e B, posizionati rispettivamente alle quote di 12 m e 25 m (vedi figura). L'impianto così costituito consente di sollevare dal serbatoio A al serbatoio B una portata pari a $0.315 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$H = r - s \cdot Q^2 \quad \text{con } r=40 \text{ m, } s=200 \text{ s}^2/\text{m}^5 \quad \text{a } n_1=n_2=870 \text{ giri/min} \quad (1)$$

Al fine di incrementare la portata sollevata al serbatoio B a $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ si decide di aggiungere una terza pompa P3 avente curva caratteristica uguale a quella delle pompe P1 e P2 e che preleva acqua da un serbatoio C posizionato alla quota di 15 m secondo lo schema indicato in figura.

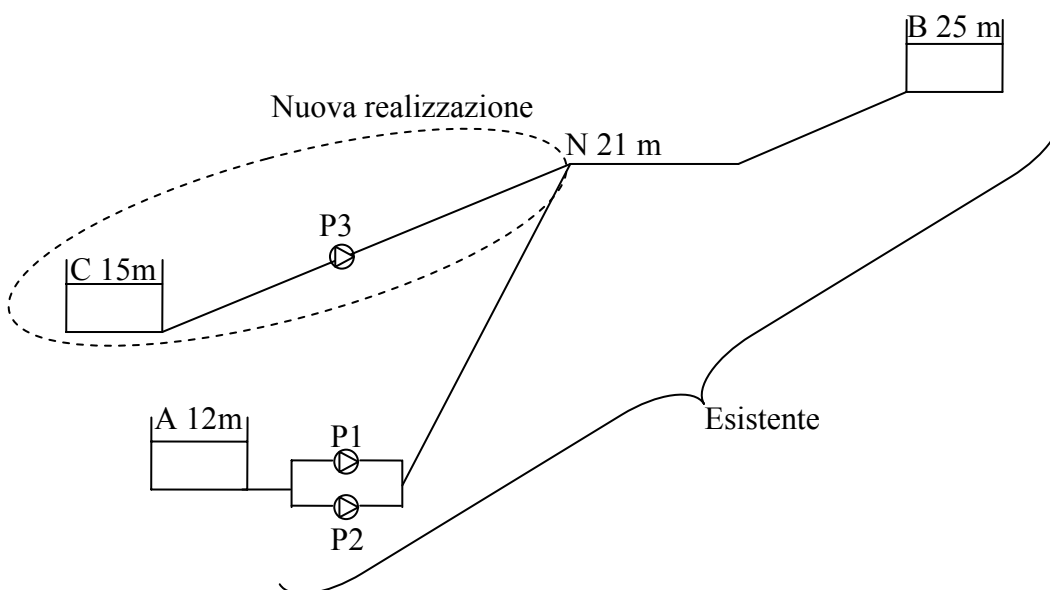
Il nuovo impianto si collega a quello già esistente in corrispondenza del nodo N posizionato alla quota di 21 m. Determinare il numero di giri n_3^* a cui dovrebbe funzionare la pompa P3 affinché la portata in ingresso al serbatoio B sia pari a $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ assumendo che le pompe P1 e P2 continuino ad operare a $n_1 = n_2 = 870$ giri/min.

Le tubazioni presentano le seguenti caratteristiche:

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	γ_B [$\text{m}^{1/2}$]
AN	2500	0.5	0.12
NB	2000	0.5	0.12
CN	2000	0.5	0.12

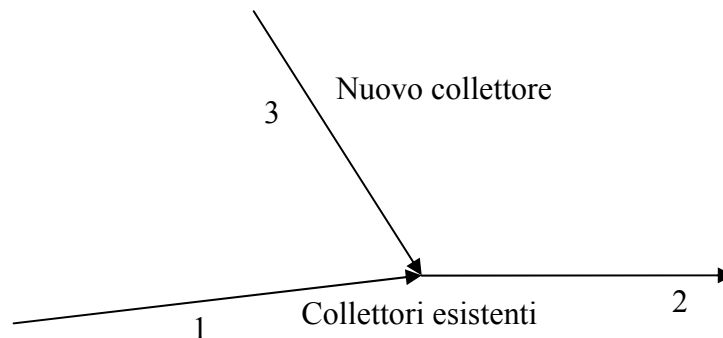
Per il calcolo delle perdite di carico si utilizzi la relazione di Bazin sapendo che:

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



Esercizio n°2 (punti 5)

Una rete di drenaggio urbana al servizio di una piccola area urbanizzata è costituita dai collettori 1 e 2 di figura aventi rispettivamente diametro pari a 500 mm e 800 mm. Le caratteristiche tecniche dei collettori sono riportate nella tabella sottostante.



N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)	Diametro (mm)
1	1.5	30	250	1.0	500
2	2.0	60	300	0.6	800

A seguito della realizzazione di una nuova urbanizzazione alla rete esistente viene allacciato un nuovo collettore (3) secondo lo schema di figura.

Le caratteristiche tecniche del nuovo collettore sono riportate nella tabella sottostante.

N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)
3	2.0	60	300	0.8

Individuare le tubazioni che dovrebbero essere dimensionate a seguito della nuova urbanizzazione e per queste calcolarne il diametro.

I parametri della curva di possibilità climatica $h = a\theta^n$ sono $a = 68 \text{ mm/ora}^n$ e $n = 0.46$.

Si assuma un tempo di accesso in rete di 5 min, un coefficiente di scabrezza delle tubazioni $K_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ed i seguenti coefficienti di afflusso per le aree impermeabili e permeabili: $\phi_{\text{IMP}} = 0.80$; $\phi_{\text{PERM}} = 0.10$.

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 dimensioni il volume del bacino di pescaggio di quattro pompe che sollevano le seguenti portate:

$Q_1=300$ l/s;

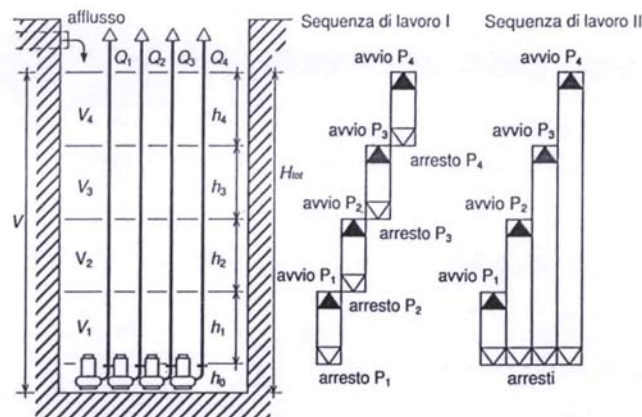
$Q_2=250$ l/s;

$Q_3=250$ l/s;

$Q_4=200$ l/s;

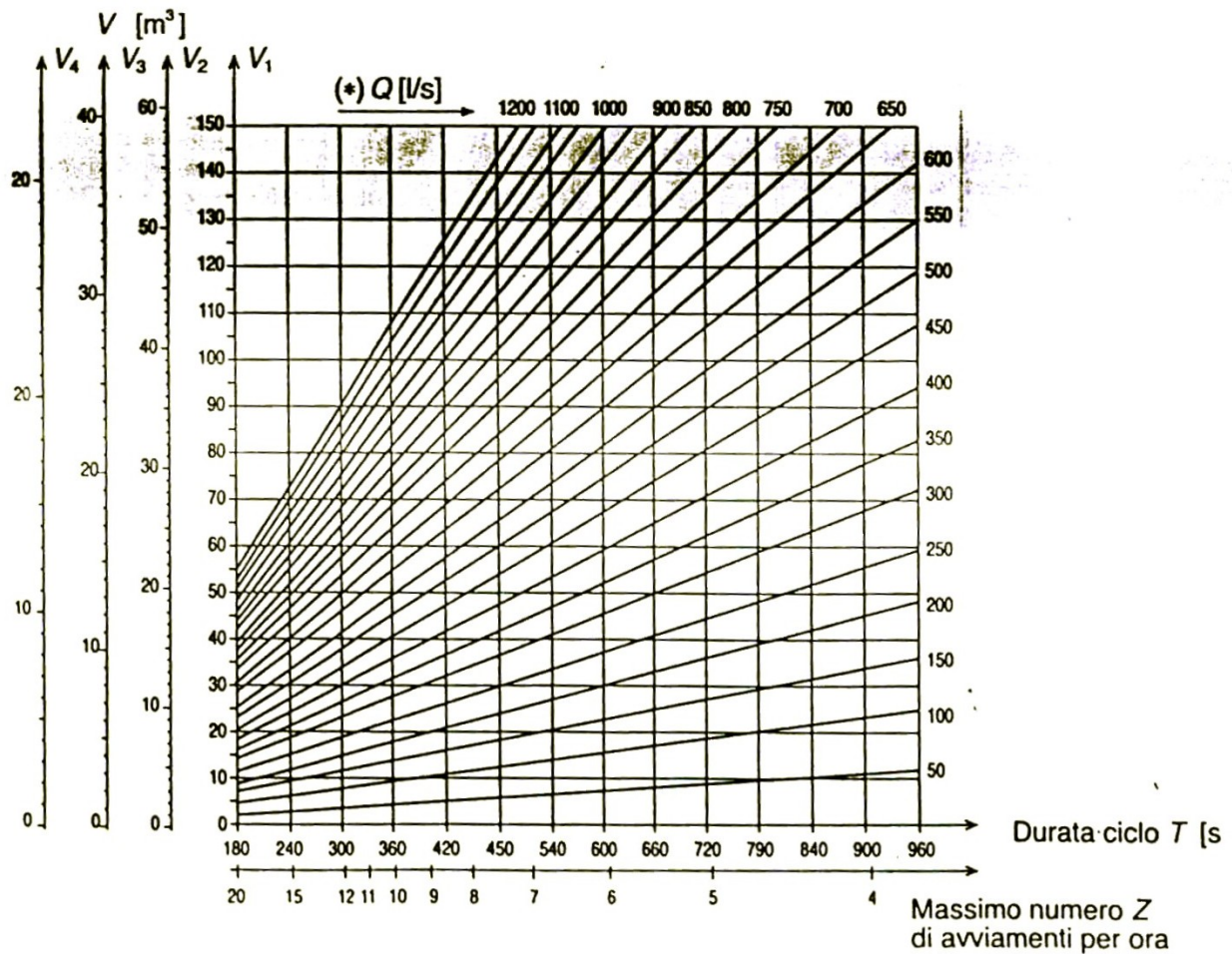
Si considerino le due sequenze riportate in figura e per ciascuna di esse se ne valuti il corrispondente volume.

Si fissi un solo tempo di ciclo per tutte e quattro le pompe e lo si giustifichi.



Per la sequenza I si dimostri inoltre l'equazione utilizzata per il calcolo del volume da attribuire a ciascuna pompa.

Per la sequenza II ci si avvalga del grafico sotto riportato.



Domande (punti 3 ciascuna)

1. Fissate le ipotesi di calcolo di una turbomacchina, disegnare i triangoli di velocità all'ingresso e all'uscita di una pompa centrifuga e ricavare l'equazione di Eulero in condizioni di progetto, descrivendo i singoli passaggi.
2. Definizione di NPSH. Calcolare la posizione della pompa rispetto al serbatoio di alimentazione una volta noto l' $NPSH_R$.
3. Illustrare la trattazione statistica che consente di ricavare i parametri a ed n della curva di possibilità climatica $h = a \cdot t^n$.
4. Dopo aver descritto la scala di deflusso relativa ad una sezione chiusa, indicare quale grado di riempimento deve essere garantito in corrispondenza della portata di progetto (Q_{prog}) e specificarne il motivo.
5. Illustrare i passi relativi al corretto dimensionamento di un pluviale.

Esercizio n°1

La curva caratteristica delle pompe P_1 e P_2 , funzionanti a 870 giri/min, è rappresentata dalla seguente equazione:

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

Dal momento le pompe P_1 e P_2 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_1 e P_2 in corrispondenza del nodo N, l'equazione della curva caratteristica delle due pompe poste in parallelo assume la seguente forma:

$$H_{P_1//P_2} - H_{AN} = H = r - z_N + z_A - \left(\frac{s}{4} + \beta_{AN} \frac{L_{AN}}{D_{AN}^5} \right) Q^2 \quad (3)$$

dove il termine H_{AN} , definito dalla relazione (4), rappresenta le perdite di carico che il sistema deve vincere per poter sollevare la portata al nodo N.

$$H_{AN} = z_N - z_A + \beta_{AN} \frac{L_{AN}}{D_{AN}^5} Q^2 \quad (4)$$

Esplicitando la relazione (3) rispetto la portata si ottiene l'equazione del sistema delle pompe P_1 e P_2 , poste in parallelo, riportata al nodo N:

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

La curva caratteristica della pompa P_3 a 870 giri/min è uguale a quella delle pompe P_1 e P_2 , definita dalla relazione (1).

L'equazione della pompa P_3 ad un numero di giri n_3^* , si ricava applicando il principio di similitudine fluidodinamica:

$$\begin{cases} \frac{H}{H_3^*} = \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 \\ \frac{Q}{Q_3^*} = \frac{n_3}{n_3^*} \end{cases} \rightarrow H_3^* \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 = r - s \cdot Q_3^{*2} \cdot \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 \rightarrow H_3^* = r \left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - s \cdot Q_3^{*2} \quad (6)$$

Analogamente a quanto visto per il sistema di pompe P₁-P₂, si riporta la pompa P₃ al nodo N tenendo conto delle perdite di carico H_{NC} che è necessario vincere per poter sollevare la portata al nodo N.

L'equazione della pompa P₃ riportata ad N, risulta essere:

$$H_{P_3} - H_{CN} = H = r \left(\frac{n^{3*}}{n^3}\right)^2 - z_N + z_C - \left(s + \beta_{CN} \frac{L_{CN}}{D_{CN}^5}\right) Q^2 \quad (7)$$

da cui:

$$Q = \sqrt{\frac{r \left(\frac{n^{3*}}{n^3}\right)^2 - z_N + z_C - H}{s + \beta_{CN} \frac{L_{CN}}{D_{CN}^5}}} \quad (8)$$

A questo punto si procede mettendo in parallelo il sistema di pompe P₁-P₂ con la pompa P₃, in corrispondenza del nodo N. Sommando quindi le portate a parità di prevalenza, si ottiene che:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{\frac{s}{4} + \beta_{AN} \frac{L_{AN}}{D_{AN}^5}}} + \sqrt{\frac{r \left(\frac{n^{3*}}{n^3}\right)^2 - z_N + z_C - H}{s + \beta_{CN} \frac{L_{CN}}{D_{CN}^5}}} \quad (9)$$

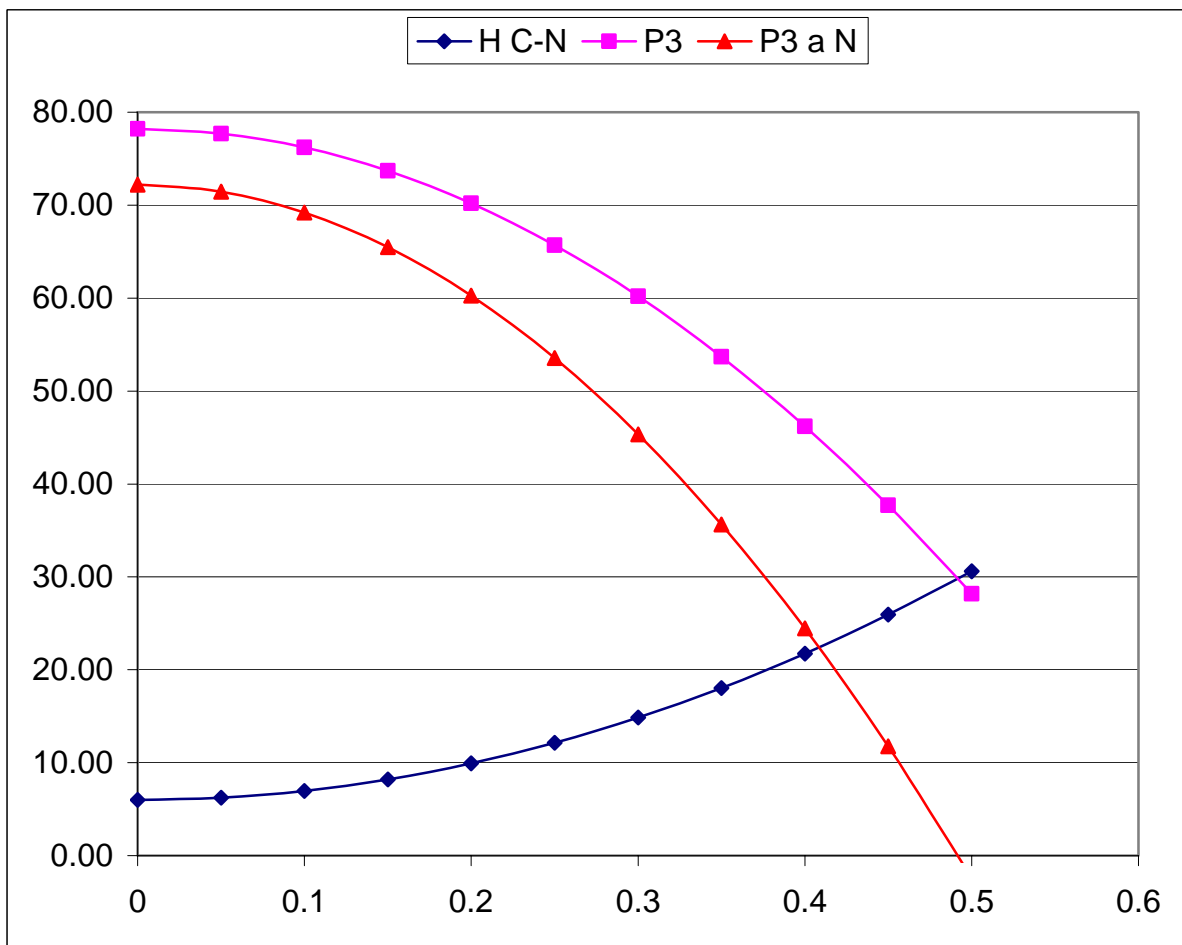
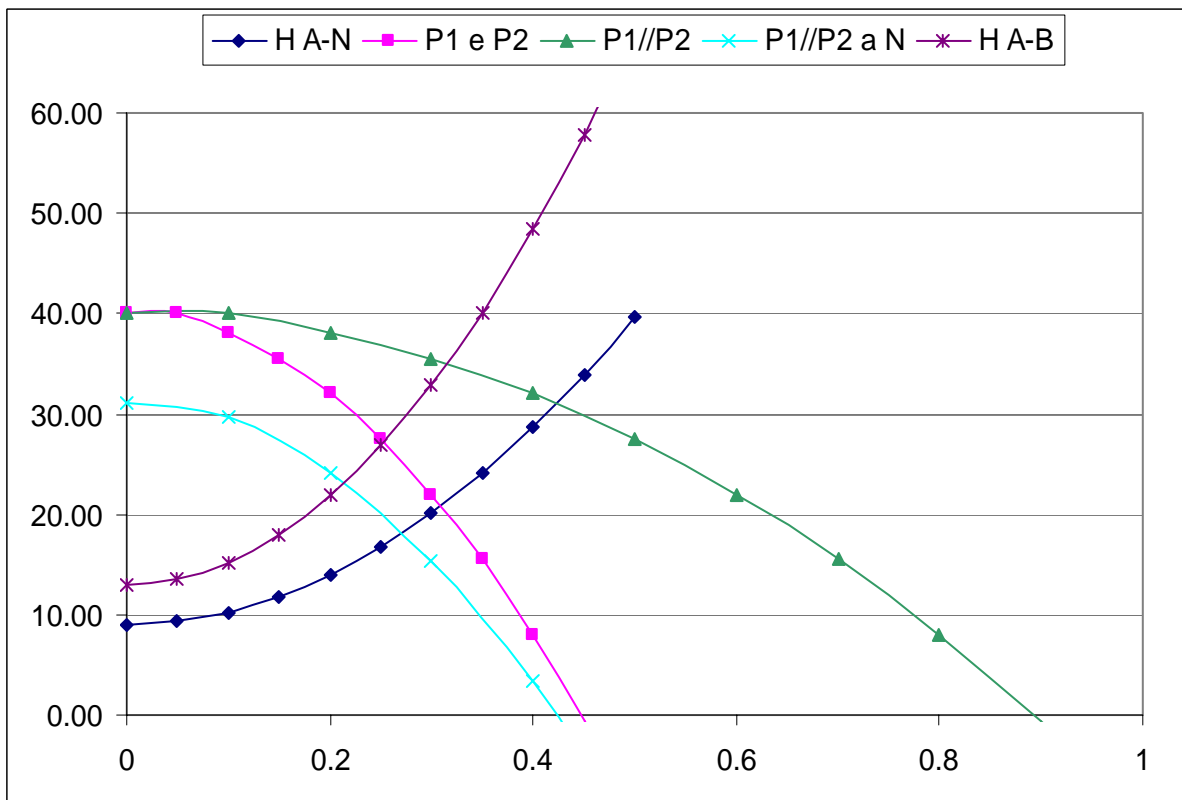
L'equazione della curva dell'impianto relativo al tratto NB è definita da:

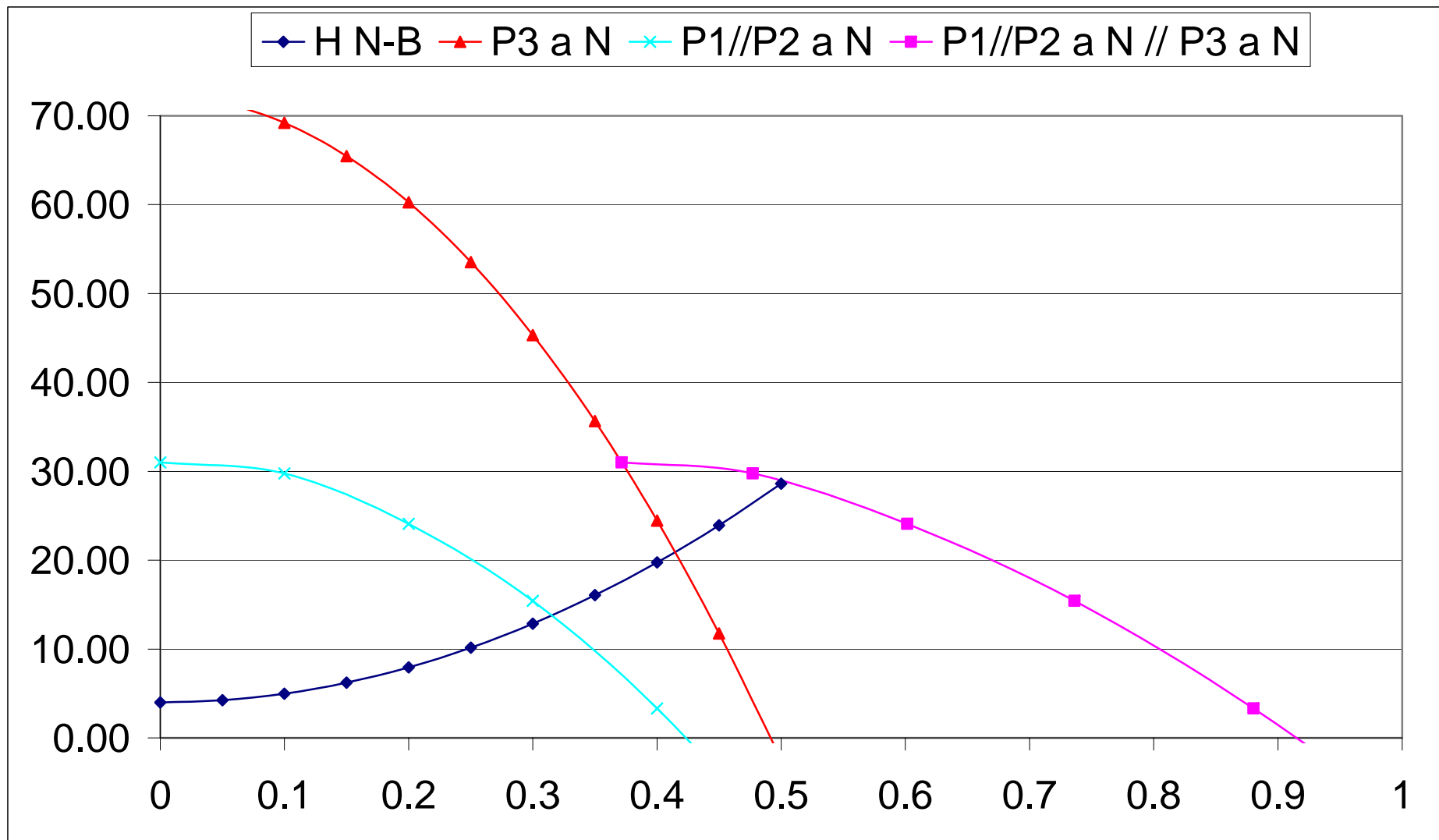
$$H_{NB} = z_B - z_N + \beta_{NB} \frac{L_{NB}}{D_{NB}^5} Q^2 \quad (10)$$

Mettendo a sistema l'equazione (9) con l'equazione (10), si ottiene:

$$Q - \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - z_B + z_N - \beta_{NB} \frac{L_{NB}}{D_{NB}^5} Q^2}{\frac{s}{4} + \beta_{AN} \frac{L_{AN}}{D_{AN}^5}}} - \sqrt{\frac{r \left(\frac{n^{3*}}{n^3}\right)^2 - z_N + z_C - z_B + z_N - \beta_{NB} \frac{L_{NB}}{D_{NB}^5} Q^2}{s + \beta_{CN} \frac{L_{CN}}{D_{CN}^5}}} = 0 \quad (11)$$

Fissato un valore della portata pari a 0.5 m³/s, l'unica incognita è n₃^{*} assume un valore pari a 1216.4 giri/min.





Esercizio n°2

														ϕ imp	ϕ perm	a	n			
														0.8	0.1	68	0.46			
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,max	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Q_{max}
	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	$\frac{Q_{max}}{Q_p}$	h/d	$\frac{V_{max}}{V_p}$	Vmax m/s
1	1.5	1.5	30	250	0.5	1	70	1.75	344	5	2.38	6.59	224.2	0.31	289.6	289.6	0.84	0.7	1.12	1.96
2	2.0	3.5	60	300	0.8	0.6	70	1.85	932	5	5.08	8.38	196.8	0.43	822.7	822.7	0.88	0.73	1.13	2.10
1	1.5	1.5	30	250	0.5	1	70	1.75	344	5	2.38	6.59	224.2	0.31	289.6	289.6	0.84	0.7	1.12	1.96
3	2.0	2.0	60	300	0.7	0.8	70	1.96	754	5	2.55	6.70	222.1	0.52	641.7	641.7	0.85	0.7	1.12	2.19
2	2.0	5.5	60	300	1.0	0.6	70	2.15	1690	5	4.88	8.25	198.5	0.46	1403.4	1403.4	0.83	0.7	1.12	2.41

Esercizio n°3

Sequenza I

Il numero di attacchi all'ora è generalmente compreso fra 4 e 12, a cui corrispondono "tempi di ciclo" t_c compresi fra 15 (900 sec) e 5 minuti (300 sec).

Si assume pertanto un tempo di ciclo medio pari a:

$$t_c = 10 \text{ min} = 600 \text{ sec};$$

Il volume corrispondente a ciascuna pompa è dato dalla seguente relazione:

$$V_k = t_c \cdot \frac{Q_k}{4}$$

$$\begin{cases} Q_1 = 300 \text{ l s}^{-1} = 0.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \Rightarrow V_1 = 600 \cdot \frac{0.3}{4} = 45 \text{ m}^3 \\ Q_2 = 250 \text{ l s}^{-1} = 0.25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \Rightarrow V_2 = 37.5 \text{ m}^3 \\ Q_3 = 250 \text{ l s}^{-1} = 0.25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \Rightarrow V_3 = 37.5 \text{ m}^3 \\ Q_4 = 200 \text{ l s}^{-1} = 0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \Rightarrow V_4 = 30 \text{ m}^3 \end{cases}$$

Il volume del bacino di pescaggio contenente le quattro pompe sarà quindi pari a:

$$V_{tot} = \sum_{k=1}^4 V_k + V_{ris} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_{ris} = (150 + V_{ris}) \text{ m}^3$$

Sequenza II

Dal grafico, per un fissato t_c di 10 minuti e per i diversi valori di Q, si ottiene che il volume corrispondente a ciascuna pompa vale:

$$\begin{cases} V_1 = 45 \text{ m}^3 \\ V_2 = 15 \text{ m}^3 \\ V_3 = 10 \text{ m}^3 \\ V_4 = 6.5 \text{ m}^3 \end{cases} \Rightarrow V_{tot} = \sum_{k=1}^4 V_k + V_{ris} = (76.5 + V_{ris}) \text{ m}^3$$

