

Esercizio n°1 (punti 6)

L'impianto di sollevamento rappresentato in figura è costituito da due pompe in serie, $P1$ e $P2$, che prelevano acqua dal serbatoio A posto alla quota di 92 m, e dalla pompa in spinta $P3$, che preleva acqua dal serbatoio B posto alla quota di 107 m, per alimentare un terzo serbatoio C posto alla quota di 102 m. La condotta di mandata è unica nel tratto compreso tra il nodo N, posto alla quota di 99 m ed il serbatoio C.

Le perdite di carico nei vari tratti possono essere rappresentate dalla relazione:

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

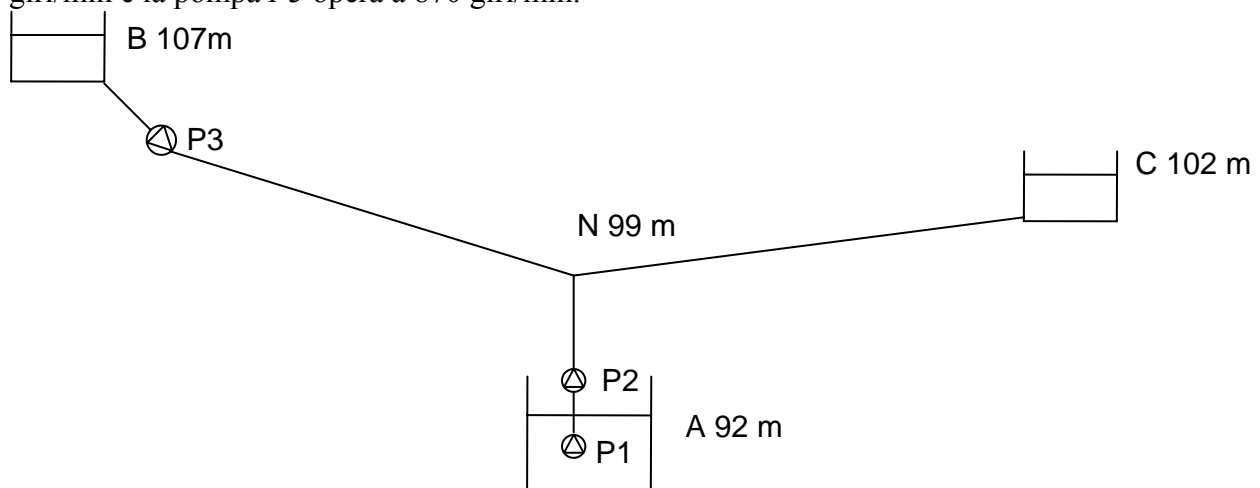
Tratto	L (m)	γ (l/s) ⁻²
AN	900	$6 \cdot 10^{-7}$
BN	2500	$7 \cdot 10^{-7}$
NC	2600	$5 \cdot 10^{-7}$

Le curve caratteristiche delle pompe sono:

$$\text{Pompa } P1 \text{ e Pompa } P2: H = t - u \cdot Q^2 \quad \text{con } t=18 \text{ m, } u=0.001 \text{ m/(l/s)}^2 \quad \text{a } n=910 \text{ giri/min}$$

$$\text{Pompa } P3: H = r - s \cdot Q^2 \quad \text{con } r=25 \text{ m, } s=0.0015 \text{ m/(l/s)}^2 \quad \text{a } n=870 \text{ giri/min}$$

Calcolare la portata recapitata al serbatoio C e le singole portate elaborate da ciascuna pompa e le relative prevalenze sapendo che la pompa $P1$ opera a 1170 giri/min, la pompa $P2$ opera a 910 giri/min e la pompa $P3$ opera a 870 giri/min.

**Esercizio n°2 (punti 5)**

Con riferimento alla rete di drenaggio mista rappresentata nella figura sottostante si dimensiona il tratto 4 sapendo che i tratti 1, 2 e 3 sono già stati dimensionati.

Le caratteristiche dei tratti sono indicate in tabella.

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

Tempo di accesso in rete: 5 min.

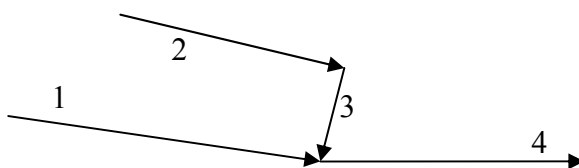
$$\text{Scabrezza tubazioni: } K_S=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

Curva di possibilità climatica: $h = a\theta^n$ con $a = 31 \text{ mm/ora}^n$ e $n = 0.36$.

Dotazione idrica $q = 360 \text{ l/ab.d.}$

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

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



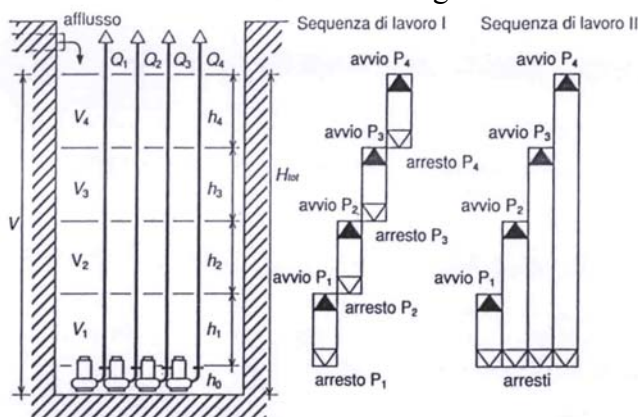
N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)	D (mm)
1	2.5	1300	55	250	0.4	700
2	1.8	1000	55	200	0.4	600
3	1.5	800	30	180	0.3	700
4	2.0	1500	65	150	0.3	

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)

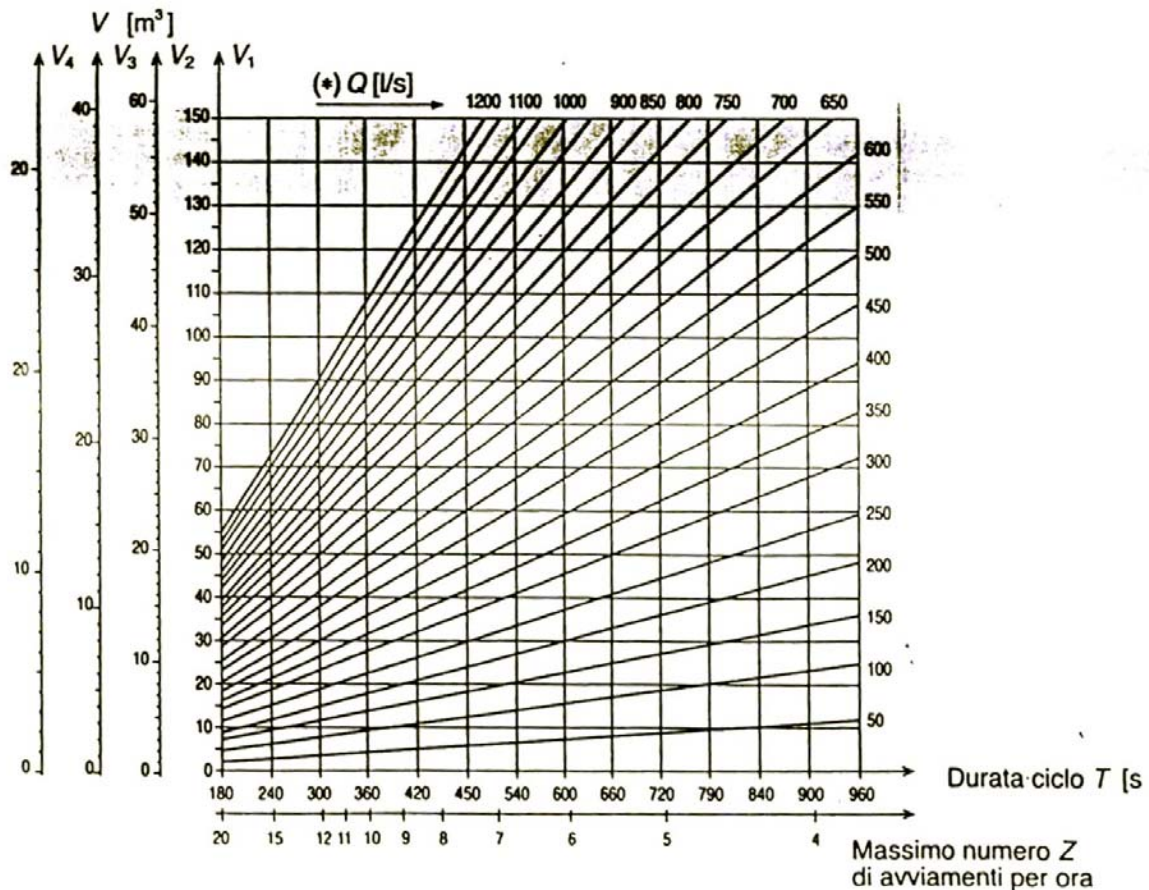
Si dimensiona il volume del bacino di pescaggio di quattro pompe che sollevano tutta una portata pari a 300 l/s. Si considerino le due sequenze riportate in figura e per ciascuna di esse se ne valuti il corrispondente volume. Nel caso della sequenza I si calcoli inoltre il volume del bacino di pescaggio nel caso di sovrapposizione dei volumi utili.

Il candidato fissi i valori numerici dei dati mancanti e li 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)

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. 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 θ . Come si definisce l'altezza di pioggia areale?
4. Disegnare e descrivere il funzionamento del dispositivo di cacciata di tipo Contarino.
5. Illustrare i procedimenti per il calcolo della portata di progetto e per il dimensionamento di una colonna di scarico con sistema di ventilazione parallele diretta al servizio di un edificio civile.

Esercizio 1

Si considerino le pompe P_1 e P_2 .

L'equazione della pompa P_1 ad un numero di giri n_1^* , si ricava applicando il principio di similitudine fluidodinamica:

$$\begin{cases} \frac{H}{H_1^*} = \left(\frac{n_1}{n_1^*}\right)^2 \\ \frac{Q}{Q_1^*} = \frac{n_1}{n_1^*} \end{cases} \rightarrow H_1^* \left(\frac{n_1}{n_1^*}\right)^2 = t - u \cdot Q_1^{*2} \cdot \left(\frac{n_1}{n_1^*}\right)^2 \rightarrow H_1^* = t \left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 - u \cdot Q_1^{*2} \quad (1)$$

La pompa P_1 è in serie con la pompa P_2 , quindi sommando le prevalenze a parità di portata si ha

$$H = t \left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 - u \cdot Q^2 + t - u \cdot Q^2 \quad (2)$$

Supponendo di posizionare il sistema di pompe P_1 - P_2 in corrispondenza del nodo N, tenendo conto delle perdite di carico H_{AN} che è necessario vincere per poter sollevare la portata al nodo N l'equazione della curva caratteristica delle due pompe poste in serie assume la seguente forma:

$$H_{P_1 P_2} - H_{AN} = H = t \left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 - u \cdot Q^2 + t - u \cdot Q^2 - z_N + z_A - \gamma_{AN} \cdot L_{AN} \cdot Q^2 \quad (3)$$

ovvero

$$H = t \left(\left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 + 1 \right) - z_N + z_A - (\gamma_{AN} \cdot L_{AN} + 2u) \cdot Q^2 \quad (4)$$

da cui:

$$Q = \sqrt{\frac{t \left(\left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 + 1 \right) - z_N + z_A - H}{\gamma_{AN} \cdot L_{AN} + 2u}} \quad (5)$$

La curva caratteristica delle pompe P_3 funzionante a 870 giri/min, è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r - sQ^2 \quad (6)$$

Supponendo di posizionare la pompa P_3 in corrispondenza del nodo N, l'equazione della curva caratteristica della pompa assume la seguente forma:

$$H_{P_3} - H_{BN} = H = r - z_N + z_B - (s + \gamma_{BN} L_{BN}) Q^2 \quad (7)$$

Esplicitando la relazione (7) rispetto la portata si ottiene:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_B - H}{s + \gamma_{BN} L_{BN}}} \quad (8)$$

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:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_B - H}{s + \gamma_{BN} L_{BN}}} + \sqrt{\frac{t \left(\left(\frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 + 1 \right) - z_N + z_A - H}{\gamma_{AN} \cdot L_{AN} + 2u}} \quad (9)$$

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

$$H = z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2 \quad (10)$$

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

$$Q - \sqrt{\frac{r - z_N + z_B - (z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2)}{s + \gamma_{BN} L_{BN}}} - \sqrt{\frac{t \left(\left(\frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 + 1 \right) - z_N + z_A - (z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2)}{\gamma_{AN} \cdot L_{AN} + 2u}} = 0 \quad (12)$$

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

Si ottiene che:

$$Q = 129.49 \text{ l/s}$$

ed il valore della prevalenza relativo al tratto NC è:

$$H = z_C - z_N + \gamma_{CN} L_{CN} Q_{CN}^2 = 24.80 \text{ m}$$

Il sistema P1serieP2 solleva una portata pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{t \left(\left(\frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 + 1 \right) - z_N + z_A - H}{\gamma_{AN} \cdot L_{AN} + 2u}} = 79.26 \text{ l/s}$$

ed essendo le due pompe in serie ciascuna di esse solleverà Q=79.26 l/s

Le prevalenze effettive fornite da ciascuna pompa sono:

$$\text{Pompa P1: } H = t \left(\frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 - u \cdot Q^2 = 23.47 \text{ m}$$

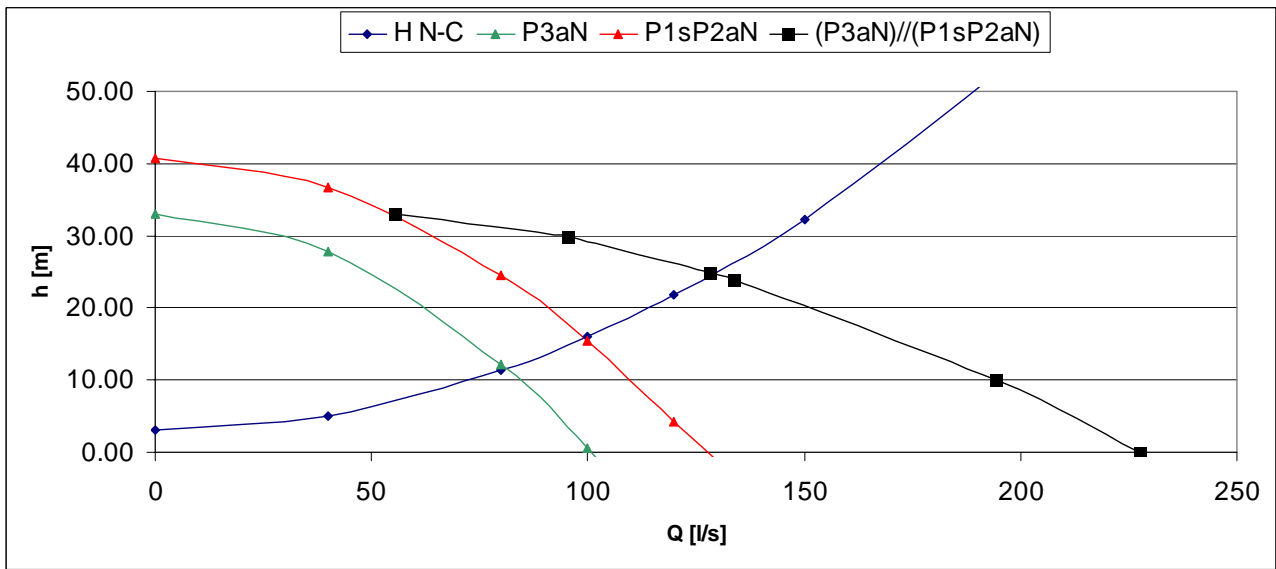
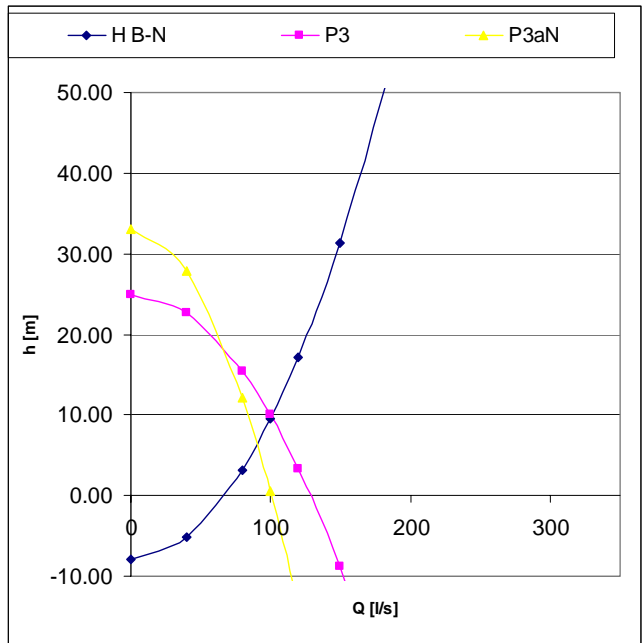
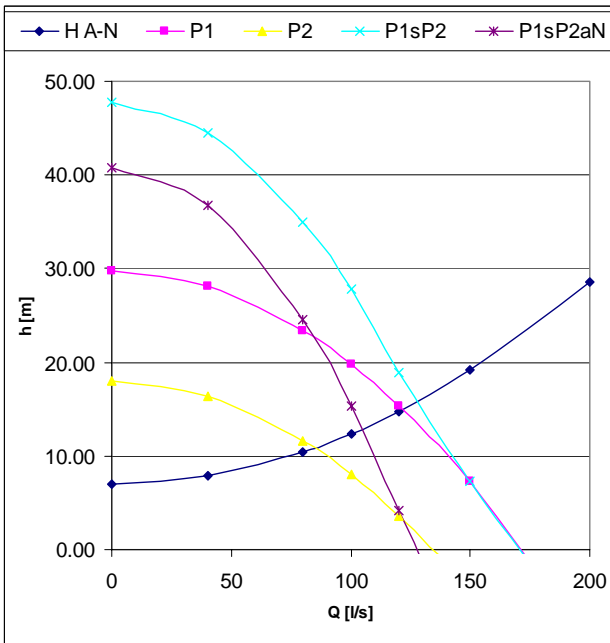
$$\text{Pompa P2: } H = t - uQ^2 = 11.72 \text{ m}$$

La pompa P3 solleva una portata pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_B - H}{s + \gamma_{BN} L_{BN}}} = 50.23 \text{ l/s}$$

La prevalenza effettiva fornita dalla pompa è:

$$\text{Pompa P3: } H = r - s \cdot Q^2 = 21.21 \text{ m}$$



Esercizio 2

Costanti:		D.I. (q)		Coeff. Affl. Nera			Kh	Kmin	ϕ imp	ϕ perm	a	n															
		360	l/ab*di	0.85			1.5	0.67	0.8	0.1	31	0.36															
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	1300	6.91	3.63	2.5	2.5	55	250	0.7	0.4	70	1.39	533	5	3.01	7.01	122.5	0.49	412.7	420	0.79	0.67	1.11	1.54	0.0068	0.06	0.29	0.40
2	1000	5.31	2.79	1.8	1.8	55	200	0.6	0.4	70	1.25	353	5	2.67	6.78	125.2	0.49	303.5	309	0.87	0.72	1.125	1.41	0.0079	0.07	0.3	0.37
3	800	4.25	2.23	1.5	3.3	30	180	0.7	0.3	70	1.20	462	5	5.17	8.45	108.7	0.41	404.1	414	0.90	0.75	1.13	1.36	0.0109	0.08	0.32	0.38
4	1500	7.97	4.19	2.0	7.8	65	150	1.0	0.3	70	1.52	1195	5	6.81	9.54	100.6	0.47	1022.6	1047	0.88	0.72	1.12	1.70	0.0107	0.08	0.32	0.49

Esercizio 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:

$$V_K = t_c \cdot \frac{Q_K}{4}$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 300 \text{ l s}^{-1} = 0.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \Rightarrow$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 600 \cdot \frac{0.3}{4} = 45 \text{ m}^3$$

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

$$V_{tot} = \sum_{k=1}^4 V_k + V_{ris} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_{ris} = (180 + V_{ris}) \text{ m}^3$$

Sequenza I con sovrapposizione dei volumi

Assumendo un'area di base A_b del bacino di pescaggio pari a 50 m^2 ed una differenza di quota tra i livelli di attacco delle diverse pompe $\Delta h = 0.2 \text{ m}$ per contenere gli effetti delle turbolenze superficiali, si ha che il volume totale V_{tot} è dato da:

$$V_{tot} = V_k + (n-1) \cdot \Delta h \cdot A_b + V_{ris} = 45 + (4-1) \cdot 0.2 \cdot 50 + V_{ris} = (75 + V_{ris}) \text{ m}^3$$

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:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = 45 \text{ m}^3 \\ V_2 = 18 \text{ m}^3 \\ V_3 = 12 \text{ m}^3 \\ V_4 = 10 \text{ m}^3 \end{array} \right. \Rightarrow V_{tot} = \sum_{k=1}^4 V_k + V_{ris} = (85 + V_{ris}) \text{ m}^3$$

