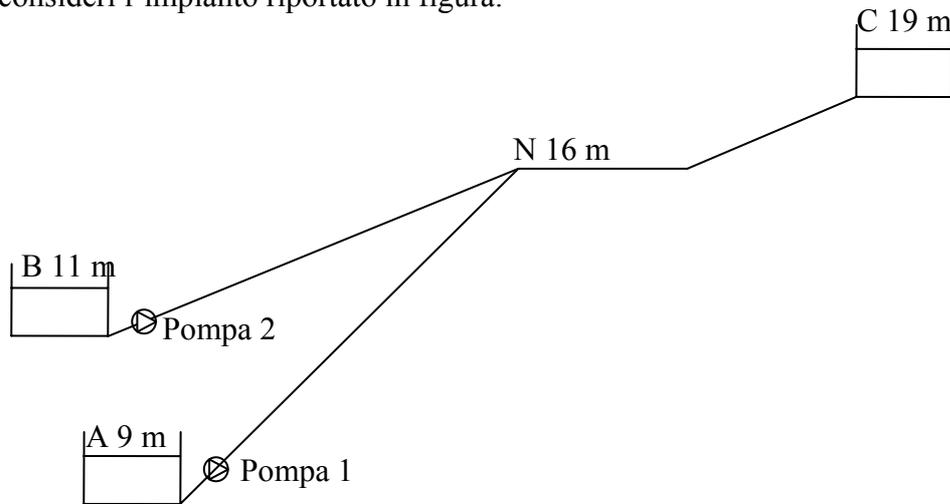


Esercizio n°1 (punti 6)

Si consideri l'impianto riportato in figura.



Le curve caratteristiche delle due pompe sono rappresentate dalle seguenti equazioni:

Pompa 1: $H = \alpha_1 - \beta_1 \cdot Q^2$ con $\alpha_1=40$ m, $\beta_1=0.0015$ m/(l/s)² $n_1=870$ giri/min

Rendimenti:

Q [l/s]	0	10	20	40	50	60	70	80	100
η		0.5	0.62	0.72	0.75	0.75	0.7	0.6	0.4

Pompa 2: $H = \alpha_2 - \beta_2 \cdot Q^2$ con $\alpha_2=35$ m, $\beta_2=0.002$ m/(l/s)² $n_2=870$ giri/min

Rendimenti:

Q [l/s]	0	10	20	40	50	60	70	80	100
η		0.64	0.7	0.76	0.77	0.76	0.73	0.68	0.58

I singoli tratti presentano le seguenti caratteristiche:

Tratto	Lunghezza [m]
AN	4000
BN	6000
NC	3000

e le perdite di possono essere approssimate dalla relazione:

$$\Delta H = \gamma \cdot L \cdot Q^2$$

con $\gamma=6 \cdot 10^{-7}$ (l/s)⁻²

essendo ΔH e L in m, e Q in l/s.

Calcolare i consumi energetici giornalieri per sollevare al serbatoio C 5000 m³ al giorno nelle seguenti configurazioni:

- Pompa 1 funzionante a 870 giri/min e Pompa 2 funzionante a 1170 giri/min;
- Pompa 1 funzionante a 1170 giri/min e Pompa 2 funzionante a 870 giri/min;

Esercizio n°2 (punti 5)

I dati di altezza di pioggia (mm) massima annuale osservati ad una stazione pluviometrica per durate di 15, 30,45 e 60 minuti sono riportati in Tabella 1:

<i>Anno</i>	<i>Durate</i>			
	<i>15'</i>	<i>30'</i>	<i>45'</i>	<i>60'</i>
1971	14.6	16	17.8	18.6
1972	9	19	21	27
1973	18.4	22.4	25	28
1974	26	46	60	80
1975	10.4	18.4	22	27.6
1976	11.8	12.4	14.8	15.4
1977	40	46	60	75.8
1978	21	21.6	23	23.2
1979	22	24	28	30
1980	20	30.8	40.8	41.8
1981	31	41	41.4	41.4
1982	11.8	12	12.8	14
1983	20.8	28.4	31	31
1984	14	20	28	29
1985	29.6	29.6	33.2	35.6
1986	19.8	20.6	22.6	24
1987	16	17	18.6	18.6
1988	10	13.8	17.4	23
1989	11	13.4	14.2	14.2
1990	20	28	30.2	31.5
1991	22.8			23.2
1992	16.4			40.6
1993	17	41	42.8	45

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 10 anni;
- l'altezza di pioggia con tempo di ritorno di 10 anni per una durata di 25 minuti.

Commentare i passaggi effettuati per ricavare i parametri a ed n illustrandone il significato

Formule:

Distribuzione di Gumbel

$$F_x(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x-u)}{\alpha}\right]\right\}; \quad \sigma^2 = 1.645\alpha^2; \quad \mu = u + 0.5772\alpha;$$

Modello lineare

$$y = a + bx; \quad a = \bar{y} - b\bar{x}; \quad b = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2};$$

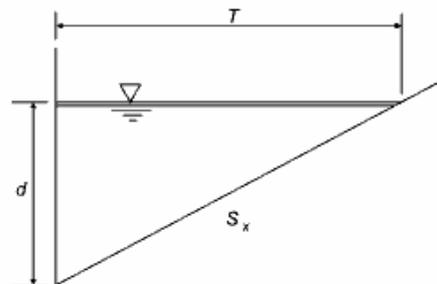
(N.B. costruire la curva di possibilità climatica in modo da avere le altezze di pioggia in mm e le durate in ore)

Esercizio n°3 (punti 4)

Si consideri una caditoia a grata reticoline, di larghezza $W=0.4$ m posizionata in una cunetta triangolare a pendenza trasversale $S_x=1.6\%$ e pendenza longitudinale $S_0=1.2\%$ in cui defluisce una portata $Q=0.003$ m³/s.

Calcolare la lunghezza minima della caditoia a grata, affinché intercetti almeno l'80% della portata defluente nella cunetta.

Calcolare inoltre la lunghezza della caditoia a grata se fosse posizionata nella cunetta, in corrispondenza di un avvallamento. In quest'ultimo caso si assuma $T=1$ m.



Sezione trasversale della cunetta.

Equazioni:

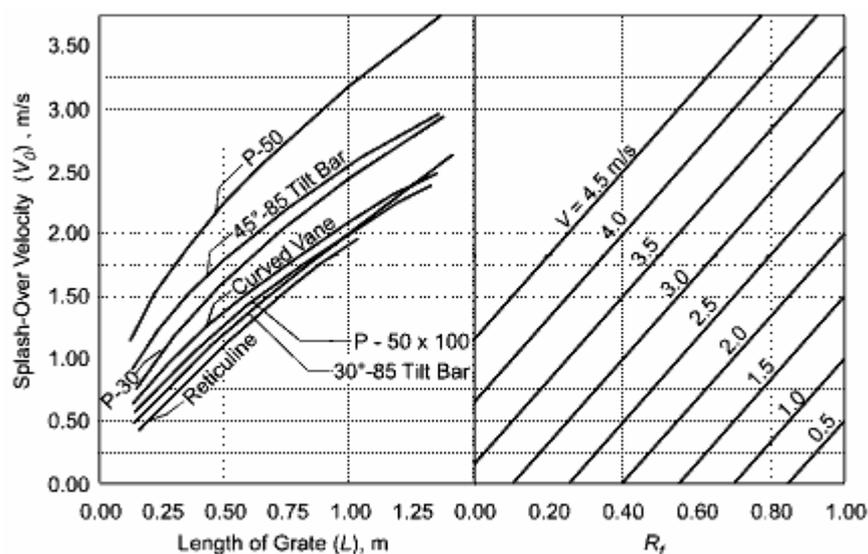
$$Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2} \quad \text{essendo } C_f=0.376, K=66 \text{ m}^{1/3} \text{s}^{-1};$$

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}; \quad Q_s = Q(1 - E_0);$$

$$R_s = \left(1 + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}}\right)^{-1} \quad \text{essendo } K_s=0.0828;$$

$$Q = 1.66(L + 2W)d^{3/2} \quad \text{Stramazzo}$$

$$Q = 0.67WL(2gd)^{1/2} \quad \text{Battente}$$



Domanda (punti 3)

1. Definire la velocità specifica e il diametro specifico di una turbopompa. Introducendo il diagramma di Balje illustrare inoltre come queste grandezze sono relazionate alle diverse tipologie di turbopompe.
2. Si definiscano e si descrivano il rendimento idraulico, volumetrico, organico e totale di una turbopompa.
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? Illustrarne il procedimento.
4. Descrivere il procedimento di calcolo (spiegando ciascun passaggio) relativo al dimensionamento delle tubazioni costituenti un sistema fognario.
5. Descrivere e disegnare gli schemi di ventilazione degli impianti di scarico delle acque nere negli edifici.

Esercizio 1

Le equazioni caratteristiche delle pompe P₁ e P₂ con n pari a 870 giri/min sono così definite:

$$\text{Pompa 1: } H = \alpha_1 - \beta_1 \cdot Q^2 \quad (1) \quad \text{con } \alpha_1=40 \text{ m, } \beta_1=0.0015 \text{ m/(l/s)}^2$$

$$\text{Pompa 2: } H = \alpha_2 - \beta_2 \cdot Q^2 \quad (2) \quad \text{con } \alpha_2=35 \text{ m, } \beta_2=0.002 \text{ m/(l/s)}^2$$

Si considerino le curve caratteristiche dell'impianto, rispettivamente per:

- Tratto AN: $H = z_N - z_A + \gamma L_{AN} Q_{AN}^2 \quad (3)$

- Tratto BN: $H = z_N - z_B + \gamma L_{BN} Q_{BN}^2 \quad (4)$

- Tratto NC: $H = z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q_{CN}^2 \quad (5)$

Soluzione a)

Si ricava la curva caratteristica della pompa P₂ con n₂^{*} pari a 1170 giri/min, applicando il principio della similitudine fluidodinamica:

$$\begin{cases} \frac{H_2}{H_2^*} = \left(\frac{n_2}{n_2^*}\right)^2 \\ \frac{Q_2}{Q_2^*} = \frac{n_2}{n_2^*} \end{cases} \quad (6)$$

Sostituendo le relazioni (6) nell'equazione (2), e semplificando si ottiene l'equazione della curva caratteristica della pompa 2 a n₂^{*}:

$$H_2^* \left(\frac{n_2}{n_2^*}\right)^2 = \alpha_2 - \beta_2 Q_2^{*2} \cdot \left(\frac{n_2}{n_2^*}\right)^2 \rightarrow H_2^* = \alpha_2 \left(\frac{n_2}{n_2^*}\right)^2 - \beta_2 Q_2^{*2} \quad (7)$$

La curva del rendimento della pompa P₂ a 1170 giri/min si ottiene ricavando i valori della portata Q attraverso il principio di similitudine idrodinamica, secondo il quale:

$$\frac{Q_2}{Q_2^*} = \frac{n_2}{n_2^*} \Rightarrow Q_2 = \left(\frac{n_2}{n_2^*}\right) Q_2^*$$

Da cui si ottiene che:

Q [l/s]	0	13.4	26.9	53.8	67.2	80.7	94.1	107.6	134.5
η	-	0.64	0.70	0.76	0.77	0.76	0.73	0.68	0.58

Tab. 1

Nell'ipotesi di posizionare le pompe P₁ e P₂ in corrispondenza del nodo N, si ha che l'equazione della curva caratteristica di ciascuna pompa assume la seguente forma:

$$P_1 \text{ in N: } H = \alpha_1 - \beta_1 Q^2 - (z_N - z_A + \gamma L_{AN} Q^2) \quad (8)$$

$$P_2 \text{ in N: } H = \alpha_2 \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 - \beta_2 Q^2 - (z_N - z_B + \gamma L_{BN} Q^2) \quad (9)$$

In corrispondenza del tratto NC le pompe funzionano in parallelo, quindi a parità di prevalenza si avrà che la portata sollevata è data da:

$$Q = \sqrt{\frac{\alpha_1 - z_N + z_A - H}{\beta_1 + \gamma L_{AN}}} + \sqrt{\frac{\alpha_2 \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 - z_N + z_B - H}{\beta_B + \gamma L_{BN}}} \quad (10)$$

Sostituendo ad H l'equazione (5), si ottiene che:

$$Q = \sqrt{\frac{\alpha_1 - z_N + z_A - (z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q^2)}{\beta_1 + \gamma L_{AN}}} + \sqrt{\frac{\alpha_2 \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 - z_N + z_B - (z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q^2)}{\beta_B + \gamma L_{BN}}} \quad (11)$$

Si procede quindi con la risoluzione dell'equazione (11) rispetto al valore della Q, in quanto unica incognita:

$$Q - \sqrt{\frac{\alpha_1 - z_N + z_A - (z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q^2)}{\beta_1 + \gamma L_{AN}}} - \sqrt{\frac{\alpha_2 \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 - z_N + z_B - (z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q^2)}{\beta_B + \gamma L_{BN}}} = 0 \quad (12)$$

Si ottiene che:

$$Q = 114.95 \text{ l/s}$$

Quindi il valore della prevalenza è pari a :

$$H = z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q^2 = 26.78 \text{ m}$$

La portata sollevata da ciascuna pompa è pari a:

$$\text{Pompa P}_1: \quad Q_1 = \sqrt{\frac{\alpha_1 - z_N + z_A - 26.78}{\beta_1 + \gamma L_{AN}}} = 39.93 \text{ l/s}$$

$$\text{Pompa P}_2: \quad Q_2 = \sqrt{\frac{\alpha_2 \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 - z_N + z_B - 26.78}{\beta_B + \gamma L_{BN}}} = 75.02 \text{ l/s}$$

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

$$\text{Pompa P}_1: H = \alpha_1 - \beta_1 Q^2 = 37.609m$$

$$\text{Pompa P}_2: H = \alpha_2 \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 - \beta_2 Q^2 = 52.044m$$

Si determinano i rendimenti specifici per ciascuna pompa:

$$\text{Pompa P}_1: \begin{cases} Q_1 = 39.93l/s \\ \eta_1 = 0.72 \text{ (vedi Tab. testo)} \end{cases}$$

$$\text{Pompa P}_2: \begin{cases} Q_1 = 75.02l/s \\ \eta_1 = 0.77 \text{ (vedi Tab.1)} \end{cases}$$

Dato il volume medio giornaliero da sollevare al serbatoio C, si ricava il n° di ore di lavoro di ciascuna pompa:

$$N_{ore} = \frac{V}{Q} = \frac{5000}{115 \cdot 3.6} = 12.1h$$

La potenza assorbita P_a da ciascuna pompa è pari a:

$$P_a = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} = \begin{cases} P_{a1} : 20.46 \text{ kW} \\ P_{a2} : 49.7 \text{ kW} \end{cases}$$

Il consumo energetico è pari a:

$$P_{a,die} = P_{a1} \cdot N_{ore} + P_{a2} \cdot N_{ore} = 849 \text{ kW} / die$$

Soluzione b)

A differenza di quanto visto per la **soluzione a)**, il principio di similitudine fluidodinamica verrà applicato alla pompa P₁, allo scopo di ricavare la curva caratteristica della pompa P₁ con n_1^* pari a 1170 giri/min.

Il procedimento sarà analogo a quello proposto per la soluzione a).

Si ottiene quindi che:

$$Q - \sqrt{\frac{\alpha_1 \left(\frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 - z_N + z_A - (z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q^2)}{\beta_1 + \gamma L_{AN}}} - \sqrt{\frac{\alpha_2 - z_N + z_B - (z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q^2)}{\beta_B + \gamma L_{BN}}} = 0$$

$$Q = 117.539 \text{ l/s}$$

Quindi il valore della prevalenza è pari a :

$$H = z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q_{CN}^2 = 27.87m$$

La portata sollevata da ciascuna pompa è pari a:

$$\text{Pompa P}_1: \quad Q_1 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 - z_N + z_A - 27.87}{\beta_1 + \gamma L_{AN}}} = 98.022l/s$$

$$\text{Pompa P}_2: \quad Q_2 = \sqrt{\frac{\alpha_2 - z_N + z_B - 27.87}{\beta_B + \gamma L_{BN}}} = 19.513l/s$$

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

$$\text{Pompa P}_1: \quad H = \alpha_1 \left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 - \beta_1 Q^2 = 57.93m$$

$$\text{Pompa P}_2: \quad H = \alpha_2 - \beta_2 Q^2 = 34.238m$$

Si determinano i rendimenti specifici per ciascuna pompa:

$$\text{Pompa P}_1: \quad \begin{cases} Q_1 = 98.022l/s \\ \eta_1 = 0.68 \end{cases}$$

$$\text{Pompa P}_2: \quad \begin{cases} Q_2 = 19.513l/s \\ \eta_2 = 0.7 \end{cases}$$

Dato il volume medio giornaliero da sollevare al serbatoio C, si ricava il n° di ore di lavoro di ciascuna pompa:

$$N_{ore} = \frac{V}{Q} = \frac{5000}{117.5 \cdot 3.6} = 11.8h$$

La potenza assorbita P_a da ciascuna pompa in un'ora è pari a:

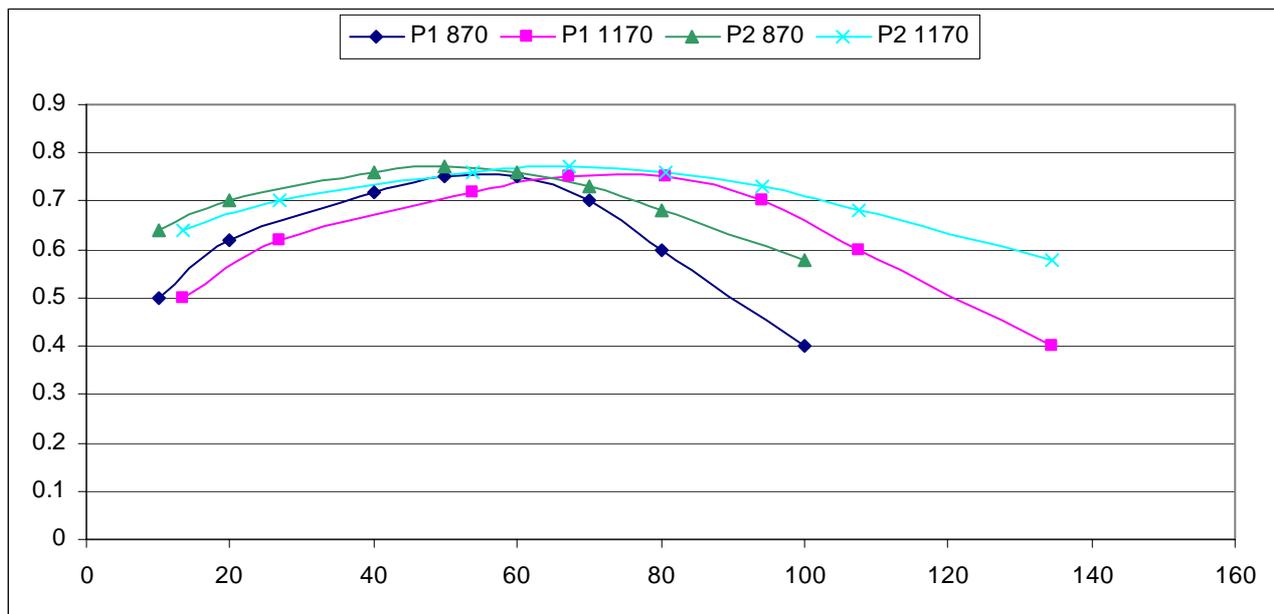
$$P_a = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} = \begin{cases} P_{a1} : 81.92 \text{ kW} \\ P_{a2} : 9.36 \text{ kW} \end{cases}$$

Il consumo energetico è pari a:

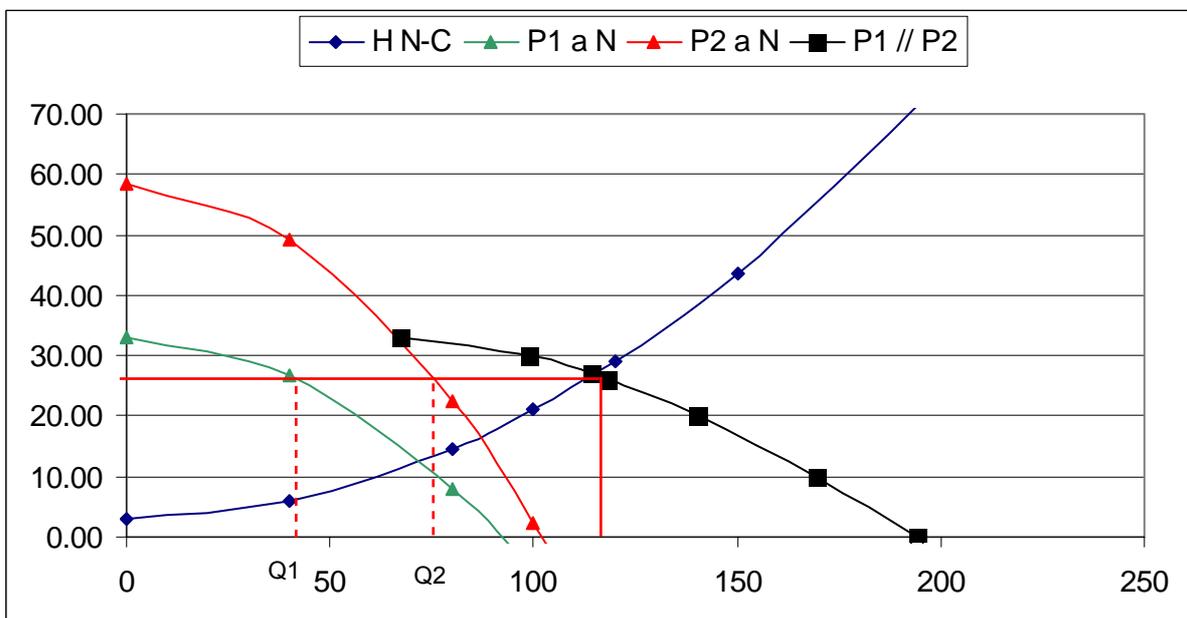
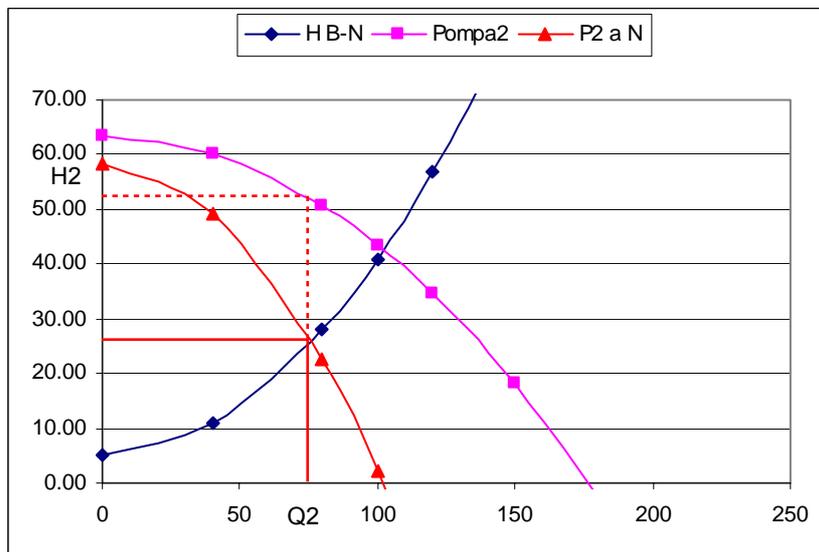
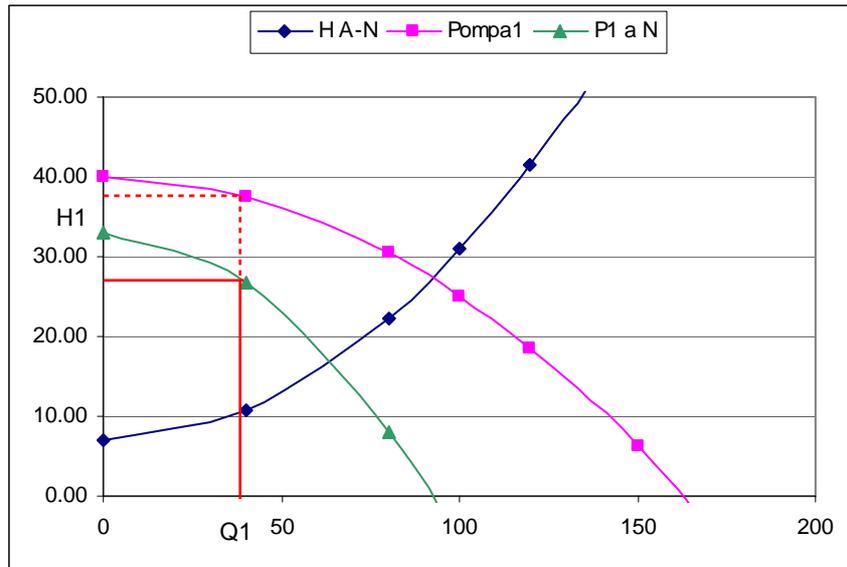
$$P_{a,die} = P_{a1} \cdot N_{ore} + P_{a2} \cdot N_{ore} = 1077 \text{ kW} / die$$

Si riportano di seguito i valori dei rendimenti di entrambe le pompe e le relative curve, per entrambe le soluzioni:

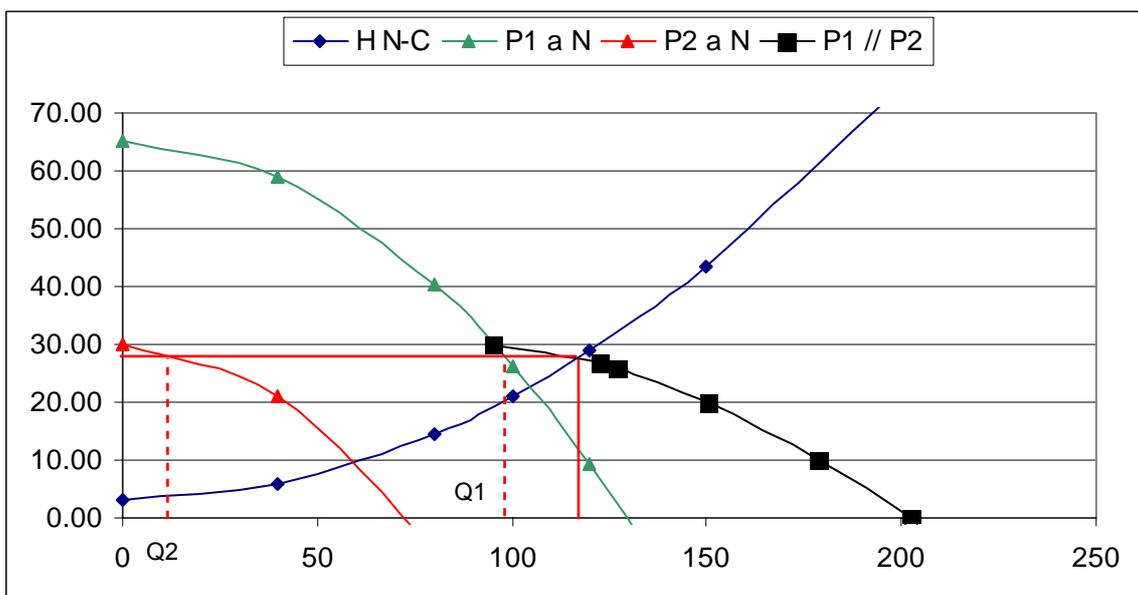
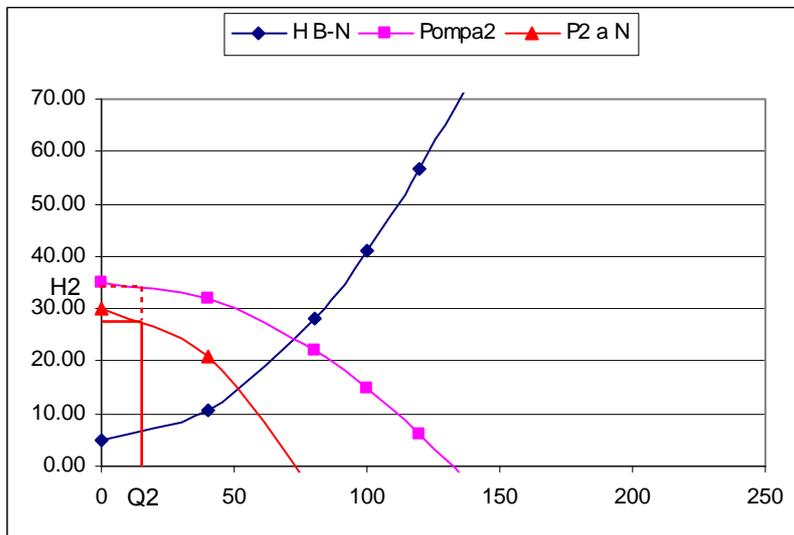
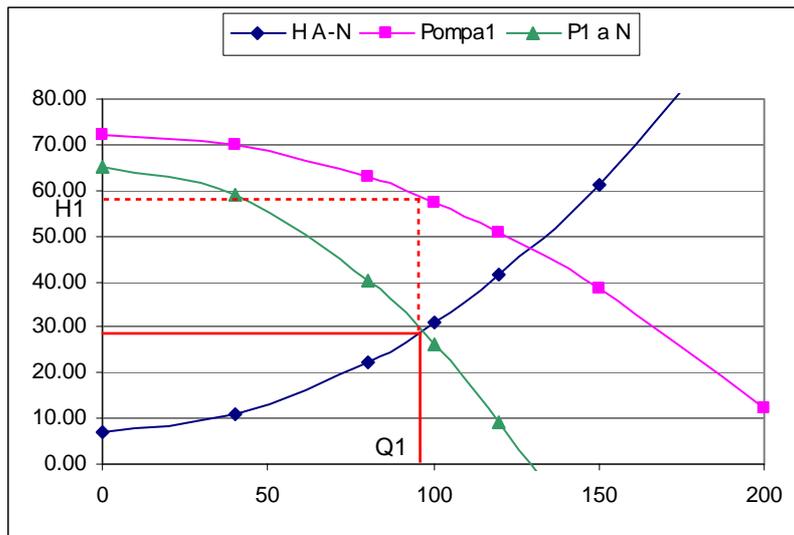
RENDIMENTI							
<i>Pompa 1</i>				<i>Pompa 2</i>			
Q 870	η_1	Q 1170	η_1	Q 870	η_1	Q 1170	η_1
0		0		0		0	
10	0.5	13.4	0.5	10	0.64	13.4	0.64
20	0.62	26.9	0.62	20	0.7	26.9	0.7
40	0.72	53.8	0.72	40	0.76	53.8	0.76
50	0.75	67.2	0.75	50	0.77	67.2	0.77
60	0.75	80.7	0.75	60	0.76	80.7	0.76
70	0.7	94.1	0.7	70	0.73	94.1	0.73
80	0.6	107.6	0.6	80	0.68	107.6	0.68
100	0.4	134.5	0.4	100	0.58	134.5	0.58



Grafici Soluzione a)



Grafici Soluzione b)



	15	30	45	60				
	14.6	16	17.8	18.6				
	9	19	21	27				
	18.4	22.4	25	28				
	26	46	60	80				
	10.4	18.4	22	27.6				
	11.8	12.4	14.8	15.4				
	40	46	60	75.8				
	21	21.6	23	23.2				
	22	24	28	30				
	20	30.8	40.8	41.8				
	31	41	41.4	41.4				
	11.8	12	12.8	14				
	20.8	28.4	31	31				
	14	20	28	29				
	29.6	29.6	33.2	35.6				
	19.8	20.6	22.6	24				
	16	17	18.6	18.6				
	10	13.8	17.4	23				
	11	13.4	14.2	14.2				
	20	28	30.2	31.5				
	22.8			23.2				
	16.4			40.6				
	17	41	42.8	45				
Media	18.84	24.83	28.79	32.11				
var	57.56	117.24	184.34	286.93				
u	15.43	19.96	22.68	24.49				
alfa	5.915	8.442	10.586	13.207				
T	10.000	10.000	10.000	10.000				
h	28.740	38.954	46.503	54.206				
t	0.250	0.500	0.750	1.000				
logh	3.358	3.662	3.840	3.993	ymedio	3.713	xymedio	-2.197
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000	xmedio	-0.592	n	4.000
xiyi	-4.656	-2.539	-1.105	0.000	Sommaxiyi	-8.299		
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000	Sommaxi2	2.485		
B=n	0.453							
A	3.981							
a	53.583							
hcalc	28.60	39.15	47.04	53.58				
h25'	36.05	mm						

Esercizio 3

Si calcola il valore di T dalla seguente relazione:

$$Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2} \rightarrow T = \left(\frac{Q}{C_f K S_x^{5/3} S_0^{1/2}} \right)^{3/8} = 1.0315m$$

Si calcola inoltre:

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{T} \right)^{2.67} = 0.7302$$

Quindi si ottiene che:

$$Q_w = Q \cdot E_0 = 0.00219 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_s = Q(1 - E_0) = 0.00081 \text{ m}^3/\text{s}$$

La sezione è pari a:

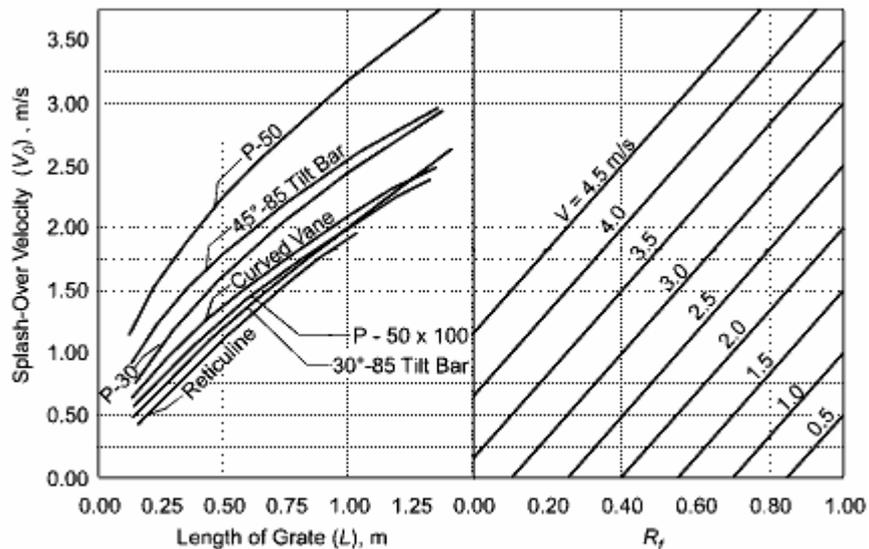
$$A = \frac{T^2 \cdot S_x}{2} = 0.0085 \text{ m}^2$$

quindi la velocità è:

$$v = \frac{Q}{A} = 0.3524 \text{ m/s}$$

Assumo una lunghezza maggiore o uguale a 0.5 m, quindi dal grafico si ottiene che per una caditoia reticuline v_0 è maggiore di 1 m/s; dal momento che $v \leq v_0 \rightarrow R_f = 1$.

Successivamente è necessario verificare che tale assunzione sia corretta.



Se $R_f = 1$ significa che tutta la Q_w è stata intercettata, ed è pari a 2.2 l/s.

La portata da intercettare è data da:

$$Q_{da \text{ int}} = 0.8 Q = 2.4 \text{ l/s}$$

Quindi la frazione di Q_s da intercettare deve essere \geq di $(Q_{da\ int} - Q_{w\ int}) = 0.2l / s$

Quindi:

$$R_s \geq \frac{Q_{da\ int}}{Q_s} = \frac{0.2}{0.8} = 0.25$$

A questo punto dalla seguente relazione, si ricava il valore di L, essendo $K_s=0.0828$:

$$R_s = \left(I + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}} \right)^{-1} \rightarrow L = \left(\frac{K_s V^{1.8}}{\left(\frac{I}{R_s} - I \right) S_x} \right)^{\frac{1}{2.3}} = 0.5717m$$

Si procede con il dimensionamento della caditoia a grata posta nell'avvallamento:

$$d_1 = (T - W) S_x = 0.0096m$$

$$d_2 = T S_x = 0.016m$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = 0.0128m$$

Si assume un *funzionamento a stramazzo* per cui si ha che la portata è definita come:

$$Q = 1.66 P d^{\frac{3}{2}}$$

quindi il perimetro necessario per intercettare la portata è:

$$P = \frac{Q}{1.66 d^{\frac{3}{2}}} = 1.248m$$

Essendo un lato della caditoia a grata, adiacente il marciapiede e quindi non utilizzabile per lo stramazzo, la lunghezza della grata risulta così definita:

$$L = P - 2W = 0.448m$$

Se la caditoia funzionasse *a sottobattente*, la sezione necessaria sarebbe così definita:

$$A_g = \frac{Q}{0.67 (2gd)^{\frac{1}{2}}} = 0.0089m^2$$

La lunghezza L assumerebbe quindi il seguente valore:

$$L = \frac{A_g}{W} = 0.0223m$$

Fra i due valori di L ottenuti per i due differenti funzionamenti si considera la maggiore:

$$L=0.448\ m$$