

Esercizio n°1 (punti 6)

Un impianto di sollevamento (vedi figura 1) è costituito da due pompe uguali P1 e P2 che sollevano acqua, rispettivamente da un serbatoio A posizionato a 20 m s.l.m. e da un serbatoio B posizionato a 18 m s.l.m.. Le tubazioni di mandata in uscita dalle pompe convergono in un punto N (quota 16 m s.l.m.), da cui si dipartono le tubazioni NC e ND che sono rispettivamente collegate al serbatoio C (quota 24 m s.l.m.) e al serbatoio D (quota 23 m s.l.m.). Le tubazioni hanno le caratteristiche riportate in tabella 1.

Calcolare le portate sollevate dalle due pompe e in arrivo ai serbatoi di valle C e D nelle due condizioni di funzionamento sapendo che la curva caratteristica delle pompe a $n=870$ giri/min è rappresentata dall'equazione $H=r-sQ^2$ con $r=30$ m e $s=180$ s²/m⁵, e che le pompe P1 e P2 operano rispettivamente a $n_1=870$ giri/min e $n_2=1170$ giri/min. Calcolare anche la potenza assorbita dalle pompe assumendo per le stesse pompe un rendimento pari a 0.7.

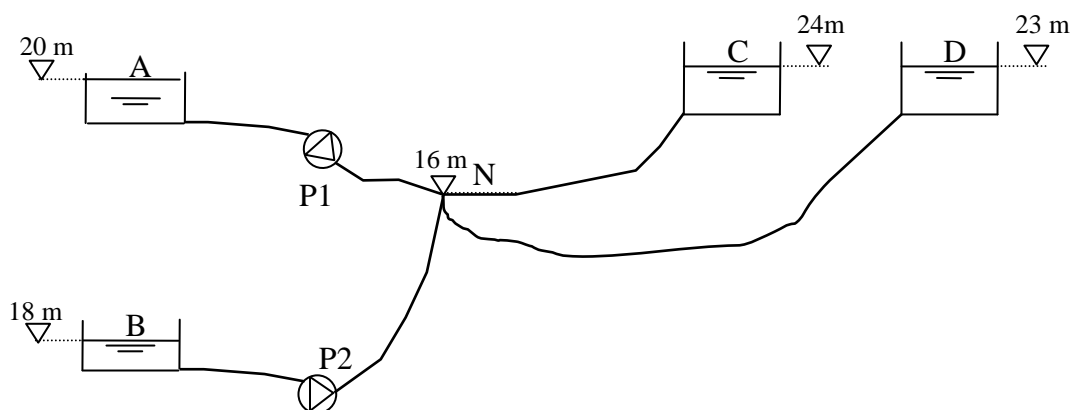


Figura 1. Impianto di sollevamento

Tabella 1. Caratteristiche delle tubazioni

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	γ_B [m ^{1/2}]
A-N	4500	0.4	0.12
B-N	4000	0.5	0.12
N-C	500	0.4	0.12
N-D	400	0.5	0.12

Per il calcolo della cadente J si utilizzi la relazione $J = \beta \frac{Q^2}{D^5}$, con $\beta = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}}\right)^2$.

È possibile modificare l'impianto mediante l'inserimento di valvole di regolazione per fare in modo che le portate transitanti nei vari tronchi dell'impianto siano tutte uguali? In caso affermativo spiegare dove è necessario inserire tali valvole e indicare quale è il valore di portata nella nuova configurazione con saracinesche inserite.

Esercizio n°2 (punti 5)

I dati di altezza di pioggia (mm) massima annuale osservati ad una stazione pluviometrica per durate di 1 h, 3 h, 6h, 12 h, 24 h sono riportati in Tabella 1:

<i>Durate</i>					
<i>Anno</i>	<i>1 h</i>	<i>3 h</i>	<i>6 h</i>	<i>12 h</i>	<i>24 h</i>
1983	48.3	50.25	50.25	50.25	50.25
1984	25.5	29.4	42.9	66.6	80.4
1985	11.7	23.7	36	55.5	94.5
1986	27.6	35.4		86.1	113.7
1987			145.8	146.1	162.6
1988	47.25		76.5	91.5	115.5
1989	34.5	69	87.6	112.8	
1990	16.8	27	48	49.5	
1991	36	81.3	115.5	168	214.5
1992	52.5	66.3	73.5	114.9	177
1993	27	44.1	52.2	52.8	64.8
1994	31.2	43.2	64.5	69.3	69.3
1995	18.6	29.4	34.5	35.1	36.6
1996	49.5	49.5	59.7	69	69.3
1997	33.3	59.7	81	112.8	159
1998	16.8	25.8	42	59.7	61.2
1999	33.9	42.6	48.3	51.3	64.8
2000	23.4	32.7	45.3	60.3	81.6
2001	20.7	34.8	44.7	65.1	78
2002	112.5	160.8	198	227.7	238.8

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 5 anni;
- l'altezza di pioggia con tempo di ritorno di 5 anni per una durata di 1.5 h.

Spiegare la procedura adottata e commentare i passaggi effettuati per ricavare i parametri α 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)

Una pompa avente diametro della girante $D = 0.4$ m, viene provata alla velocità di rotazione n_1 pari a 1000 giri/min, fornendo i seguenti valori della portata Q_1 [l/s], della prevalenza h_1 [m di colonna d'acqua] e del rendimento totale η_1 :

Q_1 [l/s]	0	100	200	300	400	500	600	700
h_1 [m]	35	33	29	23	17	11	5.5	0
η_1	0	0.51	0.66	0.70	0.71	0.70	0.69	0.55

- Ricavare le caratteristiche della pompa quando opera ad una velocità n_2 di 800 giri/min e tracciare le curve caratteristiche $h = f(Q)$ e $\eta = f(Q)$ della pompa operante ai due diversi numeri di giri;
- Calcolare i coefficienti adimensionali di portata Φ e di pressione Ψ per la pompa operante a $n_1 = 1000$ giri/min e $n_2 = 800$ giri/min e tracciare le caratteristiche adimensionali $\Psi = f(\Phi)$ e $\eta = f(\Phi)$ delle due pompe;
- Supponendo di mettere in parallelo due pompe uguali ma operanti a due diversi numeri di giri, le portate sollevate da ciascuna delle due pompe sarebbero le stesse o no? Giustificare la risposta.
- Supponendo di mettere in serie due pompe uguali ma operanti a due diversi numeri di giri, le portate sollevate da ciascuna delle due pompe sarebbero le stesse o no? Giustificare la risposta.

Domande (punti 3 ciascuna)

- Definizione di NPSH. Illustrare i passaggi per calcolare la posizione della pompa rispetto al serbatoio di alimentazione una volta noto l'NPSH_R.
- Dopo aver fornito la definizione di scala di deflusso, descrivere la scala di deflusso relativa ad una sezione circolare chiusa. Spiegare infine il motivo per cui è necessario garantire un certo grado di riempimento, indicandone il valore ottimale, oltre che un determinato valore di velocità minima e massima all'interno delle condotte di un sistema fognario, riportando anche in questo caso i valori di riferimento.
- Illustrare l'applicazione del metodo cinematico per il dimensionamento di un collettore di fognatura bianca.
- 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.
- 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 n°1

Tabella caratteristiche tubazioni

Tratto	L (m)	D (m)	γ_B	β	$\alpha = \beta L/D^5$
AN	4500	0.4	0.12	0.00163	716.67
BN	4000	0.5	0.12	0.00154	196.80
NC	500	0.4	0.12	0.00163	79.63
ND	400	0.5	0.12	0.00154	19.68

Curva impianto tratto AN:

$$H = z_N - z_A + \alpha_{AN} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_N + z_A}{\alpha_{AN}}} \quad (1)$$

Curva impianto tratto BN:

$$H = z_N - z_B + \alpha_{BN} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_N + z_B}{\alpha_{BN}}} \quad (2)$$

Curva impianto tratto NC:

$$H = z_C - z_N + \alpha_{NC} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} \quad (3)$$

Curva impianto tratto ND:

$$H = z_D - z_N + \alpha_{ND} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} \quad (4)$$

La curva della pompa P₁ a n=870 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r - sQ^2 = 30 - 180Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{30 - H}{180}} \quad (5)$$

Applicando il Principio di similitudine fluidodinamica, si ricava l'equazione della curva della pompa P₂ a n^{*}=1170 giri/min:

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

essendo:

$$\begin{cases} r^* = \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 r = \left(\frac{1170}{870}\right)^2 30 = 54.26m \\ s^* = s = 180 \text{ s}^2/m^5 \end{cases}$$

Quindi la curva della pompa P₂ a n^{*}=1170 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r^* - s^* Q^2 = 54.26 - 180 Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{54.26 - H}{180}} \quad (6)$$

CONDIZIONE 1

Pompa P1 riportata in N

Si ottiene sottraendo la $H(Q)$ dell'impianto AN (2) alla curva caratteristica $H(Q)$ della pompa (eq. 5):

$$H = r - s Q^2 - z_N + z_A - \alpha_{AN} Q^2 \quad (7)$$

L'eq. (7) può essere riscritta in termini di $Q(H)$ nel seguente modo:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} \quad (8)$$

Pompa P2 riportata in N

Si ottiene sottraendo la $H(Q)$ dell'impianto AN (1) alla curva caratteristica $H(Q)$ della pompa (eq. 6):

$$H = r^* - s^* Q^2 - z_N + z_B - \alpha_{BN} Q^2 \quad (9)$$

L'eq. (9) può essere riscritta in termini di $Q(H)$ nel seguente modo:

$$Q = \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} \quad (10)$$

(P1 in N) // (P2 in N)

Per mettere in parallelo le due pompe riportate in N, si sommano la (8) e la (10); si ottiene in questo modo:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} + \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} \quad (11)$$

(NC)//(ND)

Per mettere in parallelo i due tratti dell'impianto è necessario sommare le relazioni $Q(H)$ riportate nella (3) e nella (4). Si ottiene in questo caso:

$$Q = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} \quad (12)$$

Per risolvere l'impianto di sollevamento è necessario mettere a sistema la (11) e la (12); ciò porta alla seguente equazione, da risolvere rispetto a H :

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} + \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} \quad (13)$$

portata in arrivo al serbatoio C, si mettono a sistema la (11) e la $H(Q)$ di (3). In questo modo si ottiene:

$$\sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} + \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} \quad (14)$$

Andando a sostituire nella (14) i valori numerici si ottiene:

$$\sqrt{\frac{34 - H}{896.67}} + \sqrt{\frac{56.26 - H}{376.80}} = \sqrt{\frac{H - 8}{79.63}} + \sqrt{\frac{H - 7}{19.68}}, \quad (15)$$

che risolta iterativamente porta a $H = 9.70$ m.

Adesso è possibile calcolare le portate che circolano nei diversi tronchi dell'impianto:

$$Q_{AN} = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} = \sqrt{\frac{34 - H}{896.67}} = 0.164 \text{ m}^3/\text{s} \quad (16)$$

$$Q_{BN} = \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} = \sqrt{\frac{56.26 - H}{376.80}} = 0.352 \text{ m}^3/\text{s} \quad (17)$$

$$Q_{NC} = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} = \sqrt{\frac{H - 8}{79.63}} = 0.146 \text{ m}^3/\text{s} \quad (18)$$

$$Q_{ND} = \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} = \sqrt{\frac{H - 7}{19.68}} = 0.370 \text{ m}^3/\text{s} \quad (19)$$

Entrando con la $Q_1 = Q_{AN}$ e la $Q_2 = Q_{BN}$ rispettivamente nelle curve caratteristiche delle pompe $H(Q)$ di (5) e (6), si ottengono le prevalenze H_1 e H_2 :

$$H_1 = 30 - 180Q_1^2 = 25.122 \text{ m} \quad (20)$$

$$H_2 = 54.26 - 180Q_2^2 = 32.017 \text{ m} \quad (21)$$

Ricordando la formula $P = \gamma QH / \eta$, si ottengono le potenze assorbite dalle pompe:

$$P_1 = \gamma Q_1 H_1 / \eta = 57.9 \text{ KW} \quad (22)$$

$$P_2 = \gamma Q_2 H_2 / \eta = 157.7 \text{ KW} \quad (23)$$

CONDIZIONE 2

Per rendere uguali tutte le portate bisogna inserire saracinesche nei tratti BN e ND, facendo in modo che le curve degli impianti relativi a questi tratti siano rispettivamente uguali a quelle dei tratti AN e NC. In questo caso, l'eqq. (14) e (15) diventeranno:

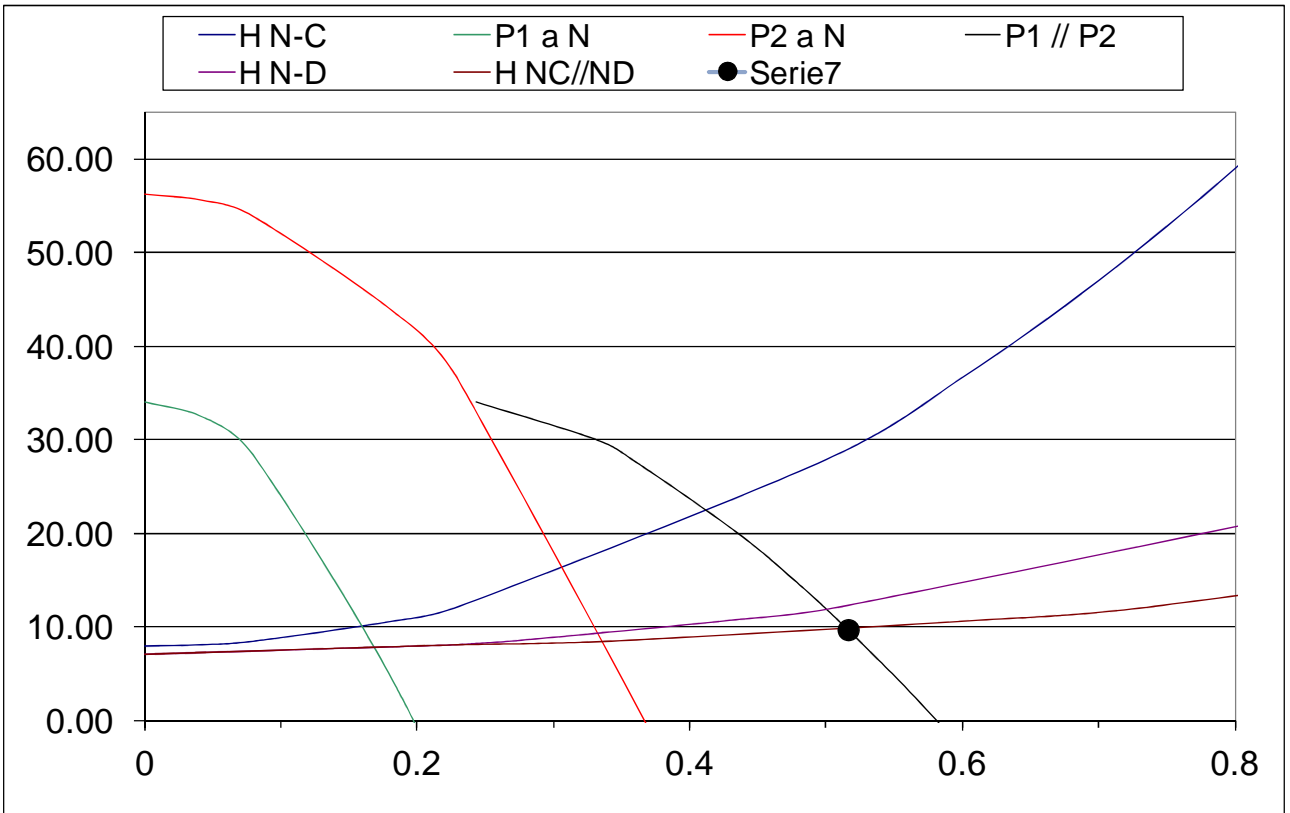
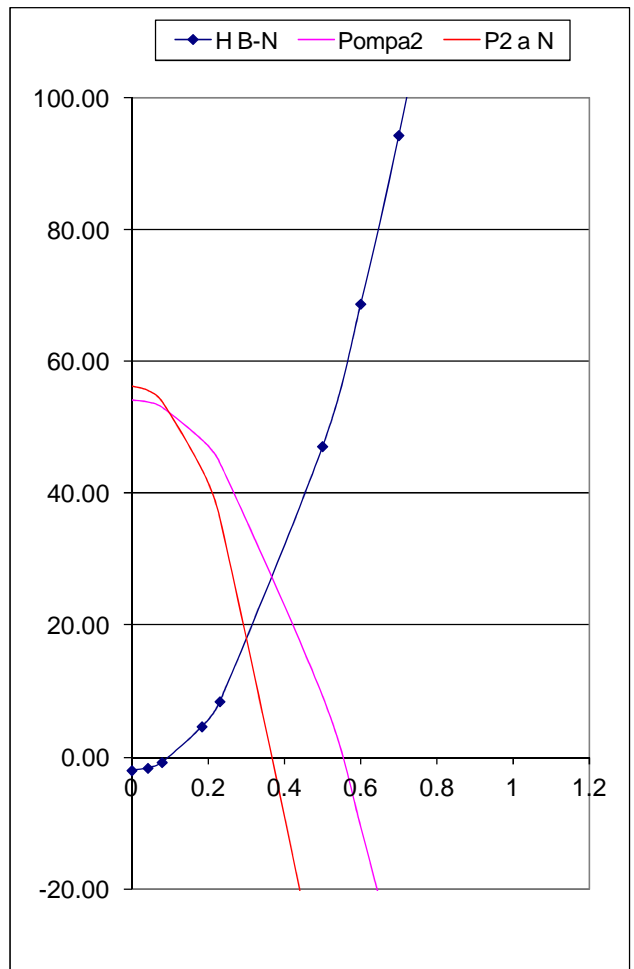
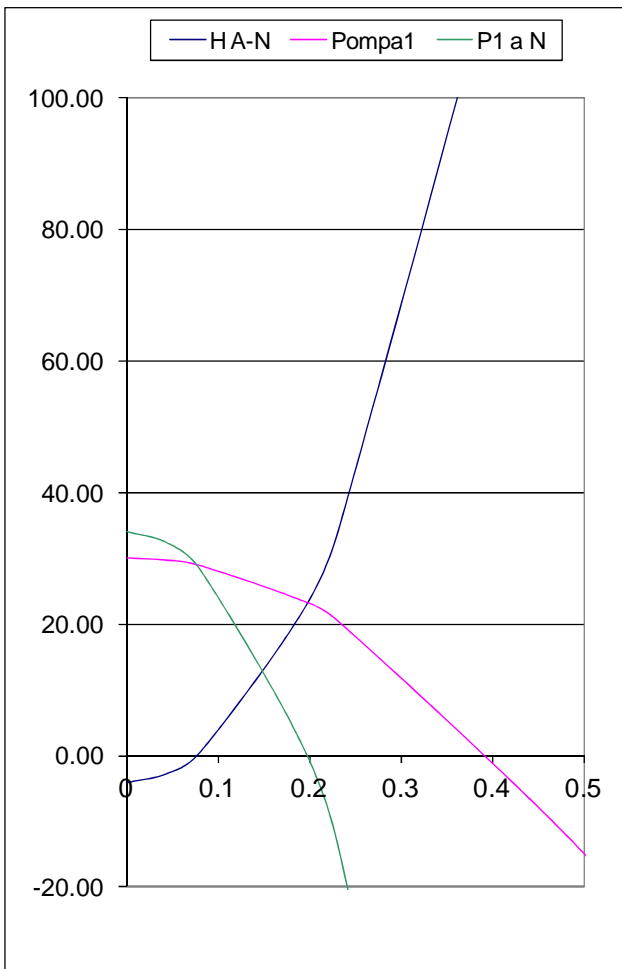
$$2\sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} = 2\sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} \quad (24)$$

Andando a sostituire nella (14) i valori numerici si ottiene:

$$2\sqrt{\frac{34 - H}{896.67}} = 2\sqrt{\frac{H - 8}{79.63}}, \quad (25)$$

da cui risulta $H = 10.12$ m. La portata che transita in uno qualunque di questi tratti è pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{34 - H}{896.67}} = \sqrt{\frac{H - 8}{79.63}} = 0.163 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (26)$$



Esercizio n°2

	1	3	6	12	24				
	48.3	50.25	50.25	50.25	50.25				
	25.5	29.4	42.9	66.6	80.4				
	11.7	23.7	36	55.5	94.5				
	27.6	35.4		86.1	113.7				
			145.8	146.1	162.6				
	47.25		76.5	91.5	115.5				
	34.5	69	87.6	112.8					
	16.8	27	48	49.5					
	36	81.3	115.5	168	214.5				
	52.5	66.3	73.5	114.9	177				
	27	44.1	52.2	52.8	64.8				
	31.2	43.2	64.5	69.3	69.3				
	18.6	29.4	34.5	35.1	36.6				
	49.5	49.5	59.7	69	69.3				
	33.3	59.7	81	112.8	159				
	16.8	25.8	42	59.7	61.2				
	33.9	42.6	48.3	51.3	64.8				
	23.4	32.7	45.3	60.3	81.6				
	20.7	34.8	44.7	65.1	78				
	112.5	160.8	198	227.7	238.8				
Media	35.11	50.28	70.86	87.22	107.33				
var	493.98	1030.02	1758.57	2308.32	3456.86				
u	25.11	35.83	51.98	65.60	80.87				
alfa	17.329	25.023	32.696	37.460	45.841				
T	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000				
h	51.098	73.365	101.025	121.783	149.625				
t	1.000	3.000	6.000	12.000	24.000				
logh	3.934	4.295	4.615	4.802	5.008	ymedio	4.531	xymedio	7.751
logt	0.000	1.099	1.792	2.485	3.178	xmedio	1.711	n	5.000
xiyi	0.000	4.719	8.270	11.933	15.916	Sommaxiyi	40.838		
xi2	0.000	1.207	3.210	6.175	10.100	Sommaxi2	20.692		
B=n	0.344								
A	3.943								
a	51.575								
hcalc	51.58	75.24	95.47	121.16	153.75				
h(1.5h)	59.29	mm							

Esercizio n°3

a) Le due pompe appartengono alla stessa famiglia quindi si può applicare il Principio di similitudine fluidodinamica:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

da cui

$$Q_2 = \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 Q_1$$

e

$$\frac{h_2}{h_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

da cui

$$h_2 = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 h_1$$

Sostituendo i valori numerici e utilizzando i valori di portata (in m³/s) e prevalenza (in m) ottenuti per la pompa operante al numero di giri n_1 si ottengono le caratteristiche della pompa operante al numero di giri n_2 tabulate e graficate nella pagina successiva.

b) I valori dei coefficienti adimensionali Φ e Ψ si ottengono da:

$$\Phi = \frac{Q}{nD^3}$$

e

$$\Psi = \frac{gh}{n^2 D^2}$$

Sostituendo i valori numerici di portata e prevalenza della pompa operante al numero di giri n_1 e della pompa operante al numero di giri n_2 si ottengono i valori dei coefficienti dimensionali tabulati e graficati nella pagina successiva.

c) Le portate sollevate dalle pompe poste in parallelo sono diverse dal momento che le curve caratteristiche delle due pompe sono diverse come evidenziato dalla figura nella pagina successiva. Due pompe aventi curve caratteristiche diverse poste in parallelo forniscono la stessa prevalenza trattando portate diverse.

d) Le portate sollevate dalle pompe poste in serie sono le stesse indipendentemente dal fatto che le due pompe appartengano alla stessa famiglia o meno. Infatti due pompe anche se hanno curve caratteristiche diverse poste in serie trattano la stessa portata fornendo eventualmente prevalenze diverse.

$n1$ (giri/s)	$n1$ (giri/min)	D (mm)		$n2$ (giri/s)	$n2$ (giri/min)	D (mm)
16.7	1000	400		13.3	800	400
Q1	h1	$\eta1$		Q2	h2	$\eta2$
0	35	0		0.00	22.40	0
0.1	33	0.51		0.08	21.12	0.51
0.2	29	0.66		0.16	18.56	0.66
0.3	23	0.7		0.24	14.72	0.7
0.4	17	0.71		0.32	10.88	0.71
0.5	11	0.7		0.40	7.04	0.7
0.6	5.5	0.69		0.48	3.52	0.69
0.7	0	0.55		0.56	0.00	0.55
$\Phi1$	$\Psi1$	$\Phi2$	$\Psi2$			
0.00	7.73	0.00	7.73			
0.09	7.28	0.09	7.28			
0.19	6.40	0.19	6.40			
0.28	5.08	0.28	5.08			
0.38	3.75	0.38	3.75			
0.47	2.43	0.47	2.43			
0.56	1.21	0.56	1.21			
0.66	0.00	0.66	0.00			

