

Esercizio n°1 (punti 5)

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 22 m s.l.m. e da un serbatoio B posizionato a 12 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 18 m s.l.m., al serbatoio C è in comune.

Le tubazioni hanno le caratteristiche riportate in tabella 1, ed in tabella 2 sono riportati i valori dei coefficienti ξ per il calcolo delle perdite di carico concentrate.

La curva caratteristica delle pompe a $n=870$ giri/min è rappresentata dall'equazione:

$$H=r-sQ^2 \text{ con } r=30 \text{ m e } s=180 \text{ s}^2/\text{m}^5$$

Le pompe P1 e P2 operano rispettivamente a $n_1=870$ giri/min e $n_2=1170$ giri/min.

In tabella 3 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.

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.

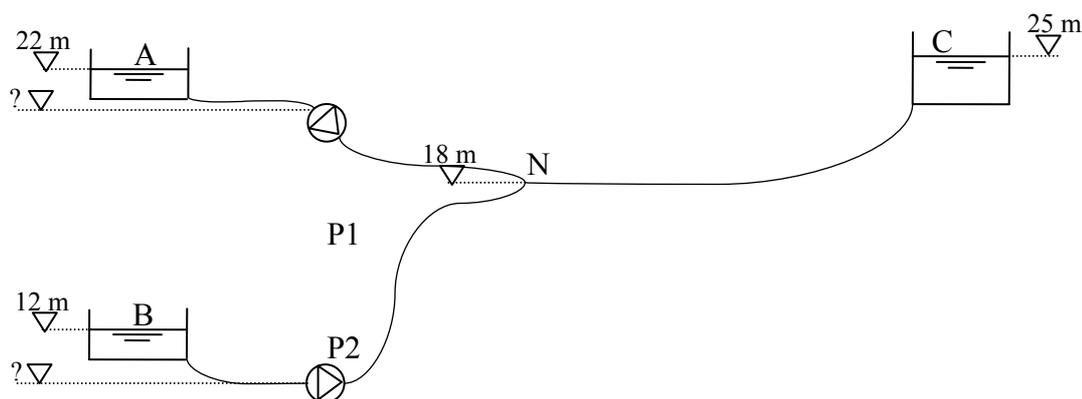


Tabella 1. Caratteristiche delle tubazioni

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	γ_B [$\text{m}^{1/2}$]	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 2. I coefficienti ζ per il calcolo delle perdite di carico concentrate: $\Delta H = \zeta * V^2 / 2g$

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

Tabella 3. Valori del NPSH

$Q [m^3/s]$	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

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:

Anno	Durate			
	15'	30'	45'	60'
1976	13.4	15	17.2	18.2
1977	7.8	18	20.4	26.6
1978	17.2	21.4	24.4	27.6
1979	24.8	45		79.6
1980	9.2	17.4		27.2
1981	10.6		14.2	15
1982	38.8		59.4	75.4
1983	19.8	20.6	22.4	22.8
1984	20.8	23	27.4	29.6
1985	18.8	29.8	40.2	41.4
1986	29.8	40	40.8	41
1987	10.6		12.2	13.6
1988	19.6	27.4	30.4	30.6
1989	12.8	19	27.4	28.6
1990	28.4	28.6		35.2
1991	18.6	19.6		23.6
1992	14.8	16		18.2
1993	8.8	12.8	16.8	22.6
1994	9.8		13.6	13.8
1995	17	41	42.8	45

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 20 minuti.

Spiegare la procedura adottata e 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 5)

Una pompa avente diametro della girante $D = 0.4$ m, viene provata alla velocità di rotazione n_1 pari a 960 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]	42	41.1	38.4	34.0	27.8	19.7	9.9	0
η_1	0	0.5	0.66	0.7	0.72	0.73	0.68	0.58

- Ricavare le caratteristiche della pompa quando opera ad una velocità n_2 di 840 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 $n_1=960$ giri/min e $n_2=840$ 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)

- Illustrare le ipotesi ed il procedimento per il corretto dimensionamento degli angoli in ingresso ed in uscita della palettatura di una pompa assiale.
- Illustrare i passi e le ipotesi per il corretto dimensionamento di una grondaia a sezione rettangolare.
- 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.
- Che cosa si intende per sistema di ventilazione parallela diretta? In quale circostanza questo sistema può essere impiegato? Fornire uno schema di un impianto di ventilazione parallela diretta.
- 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

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

$$H = 30 - 180Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{30 - H}{180}} \quad (1)$$

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

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

essendo:

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

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

$$H = 54.26 - 180Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{54.26 - H}{180}} \quad (3)$$

Dal momento che nel tratto N-C le pompe P₁ e P₂ 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:

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

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

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

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 dopo alcune semplificazioni che:

$$H = 34 - 889Q^2 \quad \text{oppure che} \quad Q = \sqrt{\frac{34 - H}{889}} \quad (7)$$

Pompa P2

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

$$H_{B-N} = z_N - z_B + \left[\frac{\beta_{BP1} Q^2}{D_{BP1}^5} L_{BP1} + \sum_{i=1}^{n_{BP1}} \zeta_i \frac{Q^2}{2g \left(\frac{\pi D_{BP1}^2}{4} \right)^2} + \frac{\beta_{P2N} Q^2}{D_{P2N}^5} L_{P2N} + \sum_{i=1}^{n_{P2N}} \zeta_i \frac{Q^2}{2g \left(\frac{\pi D_{P2N}^2}{4} \right)^2} \right] \quad (8)$$

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

$$H = r^* - s^* Q^2 - H_{B-N} \quad (9)$$

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

$$H = 48.26 - 534Q^2 \quad \text{oppure che} \quad Q = \sqrt{\frac{48.26 - H}{534}} \quad (10)$$

Pompe P₁ e P₂ in parallelo

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

$$Q = \sqrt{\frac{34 - H}{889}} + \sqrt{\frac{48.26 - H}{534}} \quad (11)$$

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

$$H_{N-C} = z_C - z_N + \left(\frac{\beta_{NC} Q^2}{D_{NC}^5} L_{NC} + \sum_{i=1}^{n_{NC}} \xi_i \frac{Q^2}{2g \left(\frac{\pi D_{NC}}{4} \right)^2} \right) \quad (12)$$

La portata sollevata al serbatoio C si ottiene mettendo a sistema le equazioni (11) e (12), in particolare sostituendo l'equazione (12) in (11) e risolvendo tale equazione per tentativi si ottiene che:

$$\begin{cases} Q = 0.334 \text{ m}^3/\text{s} \\ H = 18.72 \text{ m} \end{cases} \quad (13)$$

Noto il valore di H_{NC} , andandolo a sostituire in (7) e (10), è possibile ottenere il valore della portata sollevata rispettivamente dalla pompa P_1 in N e dalla pompa P_2 in N:

$$P_1 \text{ in N: } Q = \sqrt{\frac{34 - H}{889}} = 0.131 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_2 \text{ in N: } Q = \sqrt{\frac{48.26 - H}{534}} = 0.203 \text{ m}^3/\text{s}$$

NPSH pompa P_1

Considerando per P_1 $Q = 0.131 \text{ m}^3/\text{s}$, si ottiene $NPSH_{rich} = 10.4 \text{ m}$ interpolando i dati riportati nella tabella del testo dell'esercizio.

Se y_a sono le perdite di carico nel tratto di condotta tra il serbatoio e la pompa, date dalla relazione

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

la massima quota δz a cui è possibile porre la pompa al di sotto del pelo libero del serbatoio è ottenibile mediante la formula:

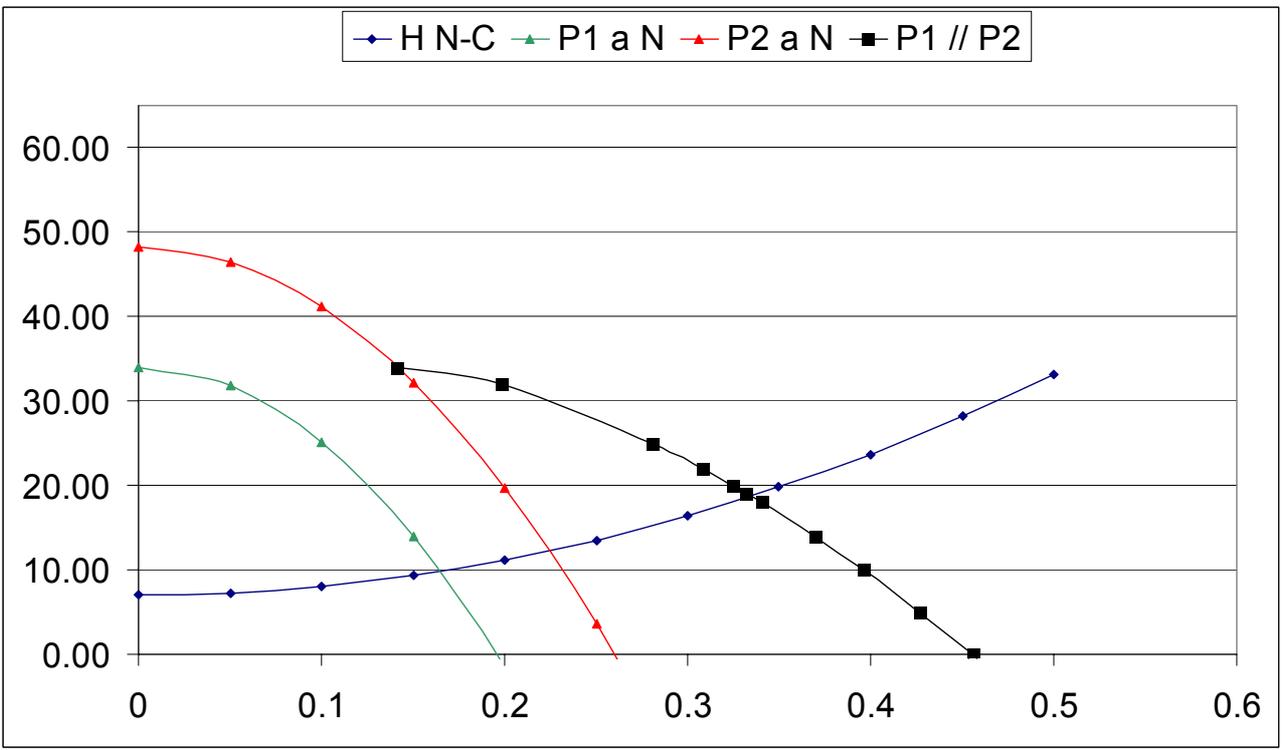
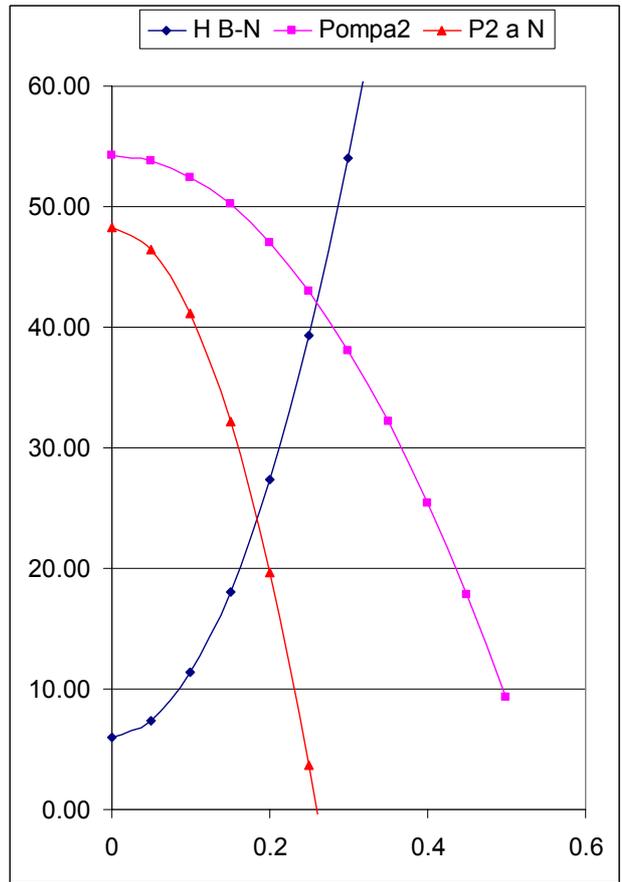
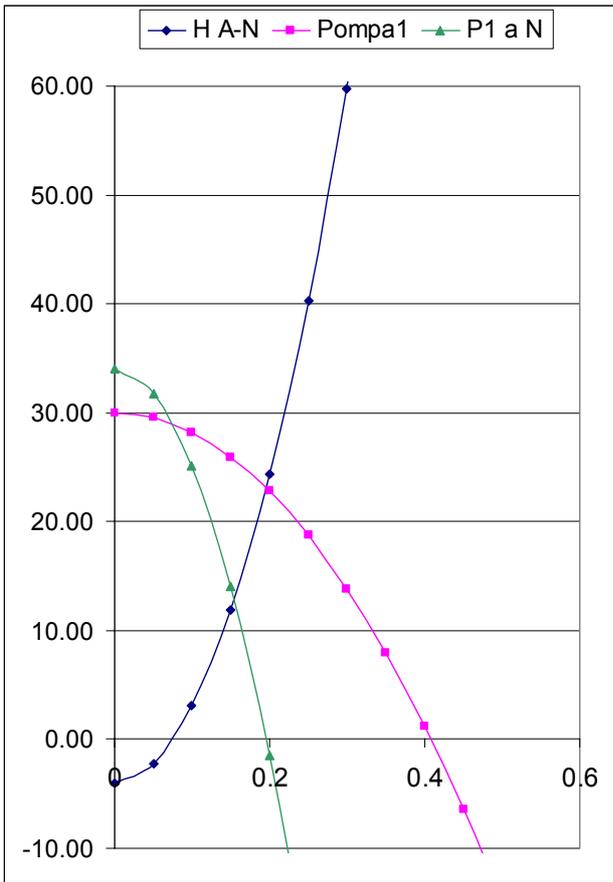
$$\Delta z = NPSH_{rich} - \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{P_{vap}}{\gamma} + y_a$$

Per la pompa P_1 si ha $y_a = 0.56 \text{ m}$ e $\delta z = 0.81 \text{ m}$.

NPSH pompa P_2

Considerando per P_2 $Q = 0.203 \text{ m}^3/\text{s}$, si ottiene $NPSH_{rich} = 10.765 \text{ m}$ interpolando i dati riportati nella tabella nel testo dell'esercizio.

Ripetendo per la pompa P_2 il ragionamento fatto per la pompa P_1 si ha $y_a = 1.02 \text{ m}$ e $\delta z = 1.63 \text{ m}$.



Esercizio 2

	15	30	45	60				
	13.4	15	17.2	18.2				
	7.8	18	20.4	26.6				
	17.2	21.4	24.4	27.6				
	24.8	45		79.6				
	9.2	17.4		27.2				
	10.6		14.2	15				
	38.8		59.4	75.4				
	19.8	20.6	22.4	22.8				
	20.8	23	27.4	29.6				
	18.8	29.8	40.2	41.4				
	29.8	40	40.8	41				
	10.6		12.2	13.6				
	19.6	27.4	30.4	30.6				
	12.8	19	27.4	28.6				
	28.4	28.6		35.2				
	18.6	19.6		23.6				
	14.8	16		18.2				
	8.8	12.8	16.8	22.6				
	9.8		13.6	13.8				
	17	41	42.8	45				
Media	17.57	24.66	27.31	31.78				
var	65.27	97.27	179.18	324.79				
u	13.93	20.22	21.28	23.67				
alfa	6.299	7.690	10.437	14.051				
T	5.000	5.000	5.000	5.000				
h	23.382	31.758	36.937	44.746				
t	0.250	0.500	0.750	1.000				
logh	3.152	3.458	3.609	3.801	ymedio	3.505	xymedio	-2.074
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000	xmedio	-0.592	n	4.000
xiyi	-4.370	-2.397	-1.038	0.000	Sommaxiyi	-7.805		
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000	Sommaxi2	2.485		
B=n	0.454							
A	3.774							
a	43.540							
hcalc	23.21	31.79	38.21	43.54				
h20'	26.44	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	960	400	14	840	400
Q1	h1	$\eta1$	Q2	h2	$\eta2$
0	42	0	0.00	32.16	0
0.1	41.11	0.5	0.09	31.47	0.5
0.2	38.44	0.66	0.18	29.43	0.66
0.3	33.99	0.7	0.26	26.02	0.7
0.4	27.76	0.72	0.35	21.25	0.72
0.5	19.75	0.73	0.44	15.12	0.73
0.6	9.96	0.68	0.53	7.63	0.68
0.7	0	0.58	0.61	0.00	0.58
$\Phi1$	$\Psi1$	$\Phi2$	$\Psi2$		
0.00	10.06	0.00	10.06		
0.10	9.85	0.10	9.85		
0.20	9.21	0.20	9.21		
0.29	8.14	0.29	8.14		
0.39	6.65	0.39	6.65		
0.49	4.73	0.49	4.73		
0.59	2.39	0.59	2.39		
0.68	0.00	0.68	0.00		

