

**Esercizio n°1 (punti 5)**

Un impianto di sollevamento è costituito da due pompe in parallelo operanti ad un numero di giri variabile.

Le curve caratteristiche delle due pompe sono rappresentate dalle equazioni:

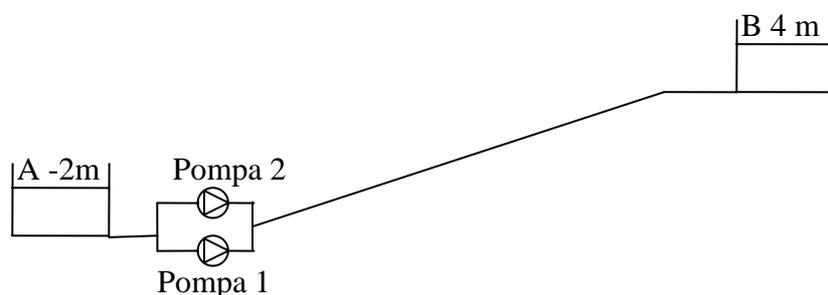
$$\text{Pompa 1: } H = r_1 - s_1 \cdot Q^2 \quad \text{con } r_1=25 \text{ m, } s_1=0.0015 \text{ m/(l/s)}^2 \quad \text{a } n_1=1170 \text{ giri/min}$$

$$\text{Pompa 2: } H = r_2 - s_2 \cdot Q^2 \quad \text{con } r_2=23 \text{ m, } s_2=0.0015 \text{ m/(l/s)}^2 \quad \text{a } n_2=1170 \text{ giri/min}$$

Determinare i numeri di giri  $n_1^*$  e  $n_2^*$  a cui dovrebbero operare rispettivamente la pompa 1 e la pompa 2 affinché complessivamente la portata sollevata dall'impianto dal serbatoio A, posto alla quota di -2 m, al serbatoio B, posto alla quota di 4 m, sia  $Q=200 \text{ l/s}$  e la portata sollevata dalla pompa 1 sia il doppio di quella sollevata dalla pompa 2.

Le perdite di carico del sistema possono essere approssimate dalla relazione:

$$\Delta H = \gamma \cdot Q^2 \quad \text{con } \gamma = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m/(l/s)}^2 \quad \text{essendo } \Delta H \text{ in m, e } Q \text{ in l/s.}$$

**Esercizio n°2 (punti 6)**

Ad una stazione pluviometrica sono state registrate le seguenti altezze di pioggia massime annuali (mm) per le durate di 15, 30, 45 e 60 minuti:

Anno	Durate			
	15'	30'	45'	60'
1962	11.80	20.00	20.80	22.80
1967		24.80		47.40
1968	3.20			14.40
1969	2.40	6.20		17.00
1970				16.00
1971	8.00	10.80	20.00	27.30
1972		5.60	12.80	20.40
1973	3.20	5.20	6.20	8.00
1985			11.60	12.60
1986	9.00	16.00	20.60	27.90
1987	23.00			28.40
1989	2.00	12.80	30.40	32.80
1990	16.40	25.40	26.20	27.60
1994	14.00	29.80	51.40	53.40

1. Si valutino i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 10 e 50 anni (Commentare i passaggi effettuati per ricavare i parametri a ed n illustrandone il significato)
2. si disegni l'andamento dell'intensità di precipitazione per i tempi di ritorno di 10 e 50 anni;

3. si dimensioni, per un tempo di ritorno  $T=10$  anni, un collettore di fognatura bianca al servizio di un'area di 2 ha con coefficiente di afflusso  $\varphi=0.57$ , tempo di corrivazione  $t_c=20$  minuti, pendenza  $i_f=0.2\%$  e scabrezza  $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

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

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

<i>h/D</i>	<i>P/D</i>	<i>A/D<sup>2</sup></i>	<i>R/D</i>	<i>V/V<sub>r</sub></i>	<i>Q/Q<sub>r</sub></i>	<i>h/D</i>	<i>P/D</i>	<i>A/D<sup>2</sup></i>	<i>R/D</i>	<i>V/V<sub>r</sub></i>	<i>Q/Q<sub>r</sub></i>
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 la colonna di scarico al servizio di un edificio costituito da 7 piani. Ad ogni piano alla colonna sono allacciati un bagno, costituito da WC, lavabo, bidet e vasca, ed un vano lavanderia, costituito da un lavatoio doppio, un WC ed una lavatrice da 15 kg. Si assuma un sistema di ventilazione parallele diretta.

Si dimensioni inoltre il collettore ai piedi della colonna assumendo una pendenza di 0.5% e una scabrezza  $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

<i>Tipo di apparecchio</i>	<i>Portata di scarico in l/s</i>
bacinella a uso domestico	0.25
lavabo	0.5
bidet	0.5
piatto doccia	0.5
vasca da bagno	1
lavello da cucina doppio	1
lavastoviglie	1
lavatoio per lavanderia	1
lavatoio doppio per lavanderia	1.5
w.c.	2.5
Lavatrice da 13 a 40 kg	2.5

**Domande (punti 3 ciascuna)**

1. Le curve caratteristiche delle pompe: illustrare perché il legame  $h_u-Q$  presenta generalmente un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.
2. Definizione di NPSH. Come si calcolare la posizione della pompa rispetto al serbatoio di alimentazione una volta noto l' $NPSH_R$ . Che cosa è il parametro di Thoma?
3. Si consideri il bacino di pescaggio di 4 pompe la cui sequenza di avvio è riportata nella figura a lato.

Si dimostri la relazione:

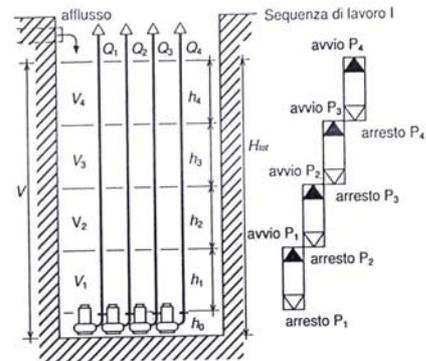
$$V_k = T_{c_k} \frac{Q_k}{4}$$

dove:

$V_k$  - volume associato alla k-ma pompa;

$T_{c_k}$  - tempo di ciclo della k-ma pompa;

$Q_k$  - portata sollevata dalla k-ma pompa.



4. Definire il concetto di tempo di corrivazione. Mostrare qual'è la durata di precipitazione critica nell'ipotesi di area contribuyente lineare.
5. Illustrare i passi e le ipotesi per il corretto dimensionamento di una grondaia a sezione rettangolare.

### Esercizio n°1

Si considerino le equazioni delle curve caratteristiche delle due pompe a  $n_1 = n_2 = 1170 \text{ giri/min}$  :

$$\text{Pompa 1: } H = r_1 - s_1 \cdot Q^2 \quad (1)$$

$$\text{Pompa 2: } H = r_2 - s_2 \cdot Q^2 \quad (2)$$

Entrambe le pompe operano ad un numero di giri variabile. Con riferimento alla pompa 1, applicando il principio della similitudine fluidodinamica si ottiene:

$$\begin{cases} \frac{H_1}{H_1^*} = \left( \frac{n_1}{n_1^*} \right)^2 \\ \frac{Q_1}{Q_1^*} = \frac{n_1}{n_1^*} \end{cases} \quad (3)$$

Sostituendo le relazioni (3) nell'equazione (1), e semplificando si ottiene l'equazione della curva caratteristica della pompa 1 a  $n_1^*$  :

$$H_1^* \cdot \left( \frac{n_1}{n_1^*} \right)^2 = r_1 - s_1 \cdot Q_1^{*2} \cdot \left( \frac{n_1}{n_1^*} \right)^2 \quad (4)$$

Analogamente per la pompa 2.

Quindi le equazioni delle curve caratteristiche delle pompe 1 e 2 sono rispettivamente:

$$H = \left( \frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 r_1 - s_1 \cdot Q^2 \quad \text{a } n_1^* \quad (5)$$

$$H = \left( \frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 r_2 - s_2 \cdot Q^2 \quad \text{a } n_2^* \quad (6)$$

Esplicitando entrambe le equazioni delle curve caratteristiche in funzione della portata, si ottiene che:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{\left( \frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 r_1 - H}{s_1}} \quad (7)$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{\left( \frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 r_2 - H}{s_2}} \quad (8)$$

Dal momento che le due pompe operano in parallelo, si ha che:

$$Q = \sqrt{\frac{\left( \frac{n_1^*}{n_1} \right)^2 r_1 - H}{s_1}} + \sqrt{\frac{\left( \frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 r_2 - H}{s_2}} \quad (9)$$

Mettendo a sistema la relazione appena ottenuta (9) con l'equazione che definisce la curva dell'impianto  $H = H_g + \gamma \cdot Q^2$ , si ottiene:

$$Q = \sqrt{\frac{\left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 r_1 - (H_g + \gamma \cdot Q^2)}{s_1}} + \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2}\right)^2 r_2 - (H_g + \gamma \cdot Q^2)}{s_2}} \quad (10)$$

Inoltre, per quanto richiesto dal problema si ha che  $Q_1 = 2Q_2$  per cui:

$$\sqrt{\frac{\left(\frac{n_1^*}{n_1}\right)^2 r_1 - (H_g + \gamma \cdot Q^2)}{s_1}} = 2 \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2}\right)^2 r_2 - (H_g + \gamma \cdot Q^2)}{s_2}} \quad (11)$$

Mettendo a sistema le eqq. (10) e (11) e fissato il valore di portata da sollevare  $Q$  pari a 200 l/s, si ha un sistema di 2 equazioni nelle due incognite  $n_1^*$  e  $n_2^*$ .

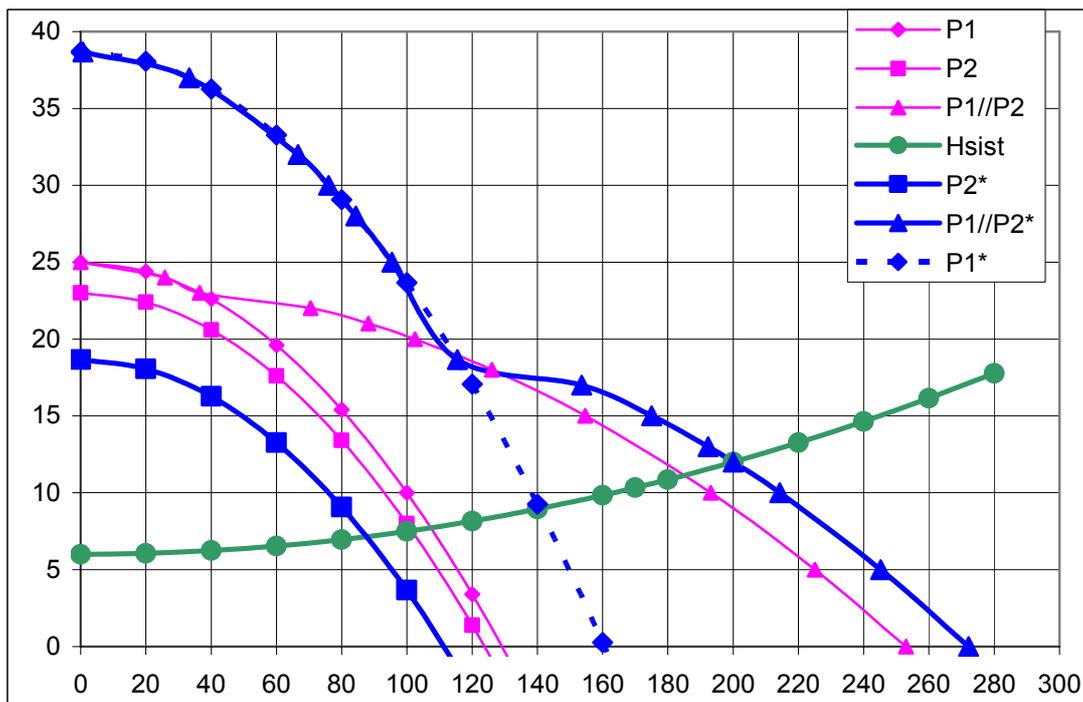
Risolvendo il sistema si ottiene:

$$n_2^* = n_2 \sqrt{\frac{\left(\frac{Q}{3}\right)^2 s_2 + (H_g + \gamma \cdot Q^2)}{r_2}} \quad (12)$$

da cui  $n_2^* = 1054$  giri/min e  $n_1^* = 1455$  giri/min.

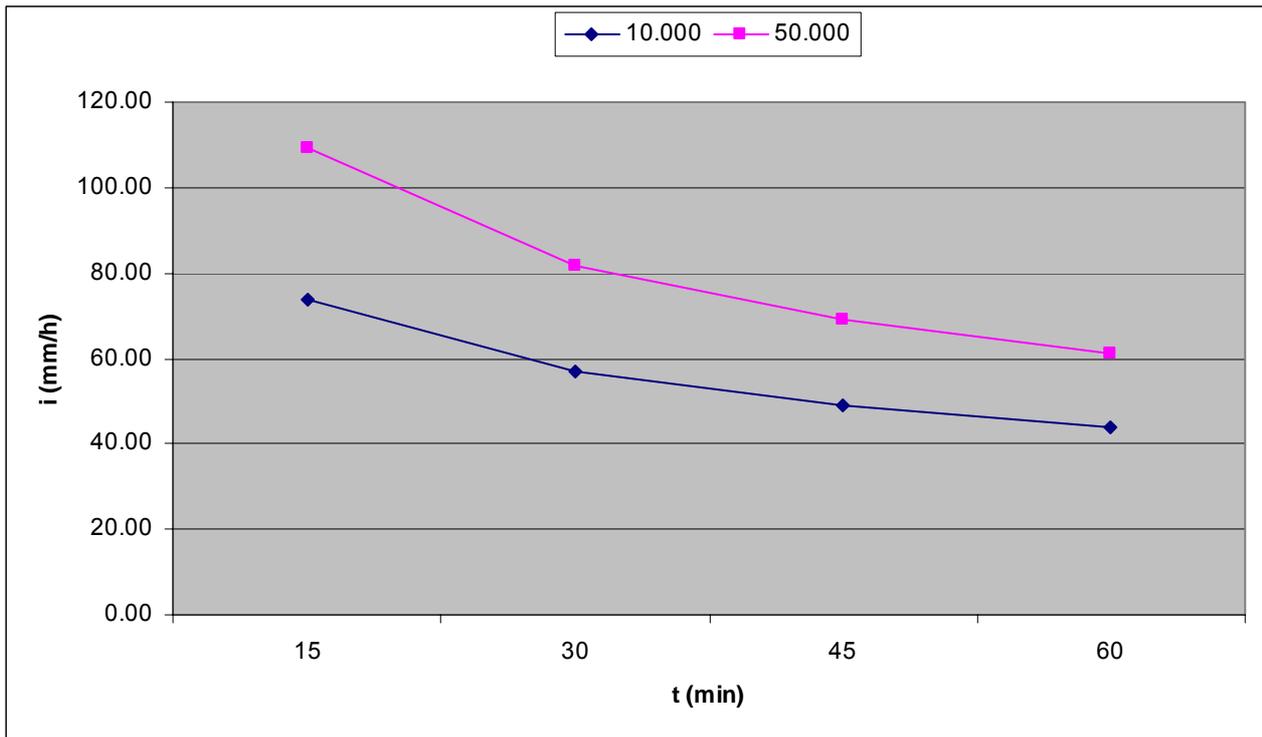
La portata sollevata quindi da ciascuna pompa è rispettivamente di:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 133.3 \text{ l/s} \\ Q_2 &= 66.7 \text{ l/s} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad H = 12 \text{ m}$$



**Esercizio n°2**

	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>			
	11.80	20.00	20.80	22.80			
		24.80		47.40			
	3.20			14.40			
	2.40	6.20		17.00			
				16.00			
	8.00	10.80	20.00	27.30			
		5.60	12.80	20.40			
	3.20	5.20	6.20	8.00			
			11.60	12.60			
	9.00	16.00	20.60	27.90			
	23.00			28.40			
	2.00	12.80	30.40	32.80			
	16.40	25.40	26.20	27.60			
	14.00	29.80	51.40	53.40			
<b>Media</b>	<b>9.30</b>	<b>15.66</b>	<b>22.22</b>	<b>25.43</b>			
<b>var</b>	<b>49.28</b>	<b>81.02</b>	<b>175.24</b>	<b>163.44</b>			
u	6.14	11.61	16.26	19.68			
alfa	5.473	7.018	10.321	9.968			
T	10.000	10.000	10.000	10.000			
h	18.458	27.402	39.492	42.106			
t	0.250	0.500	0.750	1.000			
logh	2.915	3.311	3.676	3.740	ymedio	3.411	xymedio -2.018
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000	xmedio	-0.592	n 4
xiyi	-4.042	-2.295	-1.058	0.000	Sommaxiyi	-7.394	
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000	Sommaxi2	2.485	
<b>B=n</b>	<b>0.627</b>						
A	3.781						
<b>a</b>	<b>43.876</b>						
icalc	73.63	56.84	48.85	43.88			
T	50.000	50.000	50.000	50.000			
h	27.498	38.993	56.538	58.569			
t	0.250	0.500	0.750	1.000			
logh	3.314	3.663	4.035	4.070	ymedio	3.771	xymedio -2.231
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000	xmedio	-0.592	n 4
xiyi	-4.594	-2.539	-1.161	0.000	Sommaxiyi	-8.294	
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000	Sommaxi2	2.485	
<b>B=n</b>	<b>0.582</b>						
A	4.115						
<b>a</b>	<b>61.264</b>						
icalc	109.33	81.84	69.09	61.26			



Tratto condotta	Area scolante parziale	Diametro ipotizzato	Pendenza	Scabrezza	Velocità a sezione piena	Portata a sezione piena	Tempo di corrivazione	Intensità di pioggia	Coefficiente d'afflusso	Portata critica	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Qmax
	Sp ha	D m	i %	ks	Vp m/s	Qp l/s	Tcr min	ic mm/h	φ	Qc l/s	$\frac{Q_{max}}{Q_p}$	h/d	$\frac{V_{max}}{V_p}$	Vmax m/s
1	2.0	0.6	0.2	70	0.88	250	20.00	66.1	0.57	209.4	0.838	0.7	1.12	0.99

### Esercizio n°3

Ogni bagno e lavanderia insieme danno luogo a uno scarico, in condizioni di contemporaneità, di 11 l/s. La somma delle portate scaricabili al piede della colonna è  $Q_t = 7 \cdot 11 = 77$  l/s

La portata ridotta al piede della colonna è:

$$Q_p = 0.5 \sqrt{Q_t} = 4.39 \text{ l/s}$$

#### *Dimensionamento della colonna di scarico*

La massima velocità per un impianto con ventilazione primaria sarebbe:

$$v = 0.47 + 0.6D \cong 0.5 \text{ m/s}$$

Considerando che il sistema di ventilazione utilizzato è del tipo parallelo diretto, la velocità va moltiplicata per un fattore 1.4, ovvero  $v = 0.7$  m/s.

La sezione richiesta sarebbe quindi  $A = Q_p / v = 0.0063 \text{ m}^2$  e quindi il diametro richiesto sarebbe  $D = 89.3$  mm. Dal momento però che alla colonna sono allacciati dei WC si deve adottare il diametro minimo  $D = 110$  mm

#### *Dimensionamento del collettore*

Considerando un grado di riempimento ottimale  $y/D = 0.7$  dalla scala di deflusso si avrebbe  $Q/Q_0 = 0.837$ .

Quindi, affinché  $Q_p = 0.5 \sqrt{Q_t} = 4.39$  l/s defluisca con grado di riempimento ottimale  $y/D = 0.7$  la portata a sezione piena  $Q_0$  dovrebbe essere:

$$Q_0 = Q_p / 0.837 = 5.24 \text{ l/s.}$$

Utilizzando l'eq. di moto uniforme:

$$Q = k_s R^{2/3} i^{1/2} A$$

e ricordando che  $R = D/4$  per una sezione circolare piena, a fronte dei dati del problema esplicitando il diametro si otterrebbe  $D = 118.6$  mm, ovvero, con riferimento ai diametri commerciali, si dovrebbe adottare un collettore di diametro  $D = 125$  mm.