

Esercizio n°1 (punti 5)

La pompa centrifuga A , che ha un diametro della girante $D_A = 450$ mm, viene provata alla velocità di rotazione n_A pari a 17.5 giri/s, fornendo i seguenti valori della portata Q_A [m^3/s], della prevalenza h_A [m di colonna d'acqua] e del rendimento totale η_A :

| Q_A | h_A | η_A |
|-------|-------|----------|
| 0 | 27 | 0 |
| 0.1 | 28.6 | 0.45 |
| 0.2 | 28.9 | 0.64 |
| 0.3 | 28 | 0.72 |
| 0.4 | 25 | 0.73 |
| 0.5 | 19 | 0.6 |
| 0.6 | 10 | 0.35 |
| 0.7 | 0 | 0 |

Si chiede di:

- ricavare le caratteristiche di una seconda pompa B appartenente alla stessa famiglia, avente un diametro D_B di 550 mm e rotante ad una velocità n_B di 15 giri/s e tracciare le curve caratteristiche $h = f(Q)$ e $\eta = f(Q)$ delle due pompe;
- calcolare i coefficienti adimensionali di portata Φ e di pressione Ψ per le due pompe A e B ; e tracciare le caratteristiche adimensionali $\Psi = f(\Phi)$ e $\eta = f(\Phi)$ delle due pompe.

Si supponga inoltre che ciascuna delle due pompe lavori in un impianto la cui curva caratteristica è:

| Q | h |
|-----|-------|
| 0 | 15 |
| 0.1 | 15.15 |
| 0.2 | 15.6 |
| 0.3 | 16.35 |
| 0.4 | 17.4 |
| 0.5 | 18.75 |
| 0.6 | 20.4 |
| 0.7 | 22.35 |
| 0.9 | 27.15 |
| 1 | 30 |
| 1.1 | 33.15 |

Si chiede:

- se le portate sollevate dalla pompa A funzionante a $n_A=17.5$ giri/s e dalla pompa B funzionante a $n_B=15$ giri/s sono o no le stesse e calcolarle;
- nel caso la portata sollevata dalla pompa A funzionante a $n_A=17.5$ giri/s sia diversa dalla portata sollevata dalla pompa B funzionante a $n_B=15$ giri/s, calcolare il numero di giri n_A a cui dovrebbe funzionare la pompa A affinché sollevi una portata uguale a quella sollevata dalla pompa B .

Esercizio n°2 (punti 5)

Ad una stazione pluviometrica sono state registrate le seguenti altezze di pioggia massime annuali (mm) per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore:

| Anno | Durate | | | | |
|------|--------|------|-------|-------|-------|
| | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| 1956 | 19.8 | 27 | 29.2 | 39.6 | 68.6 |
| 1957 | 31.4 | 39.6 | 39.8 | 42.2 | 57.2 |
| 1958 | 56 | 71.8 | 75 | 79.6 | 82.8 |
| 1959 | 23 | 32.2 | 36.4 | 37.4 | 50.2 |
| 1960 | 25.6 | 31 | 36.2 | 50.4 | 52.6 |
| 1961 | 24.6 | 28.4 | 36.6 | 38.6 | 53.8 |
| 1962 | 12 | 21.8 | 29.2 | 37.8 | 55.4 |
| 1963 | 38.4 | 40.2 | 41.4 | 44.8 | 48.6 |
| 1964 | 26.4 | 27.6 | 41.2 | | 42.4 |
| 1965 | 27 | | 42.2 | 48.4 | 52 |
| 1966 | 22.8 | | 46.4 | 60 | 81.5 |
| 1967 | 35.9 | 87 | 112.6 | 116.2 | 116.2 |
| 1968 | 30.4 | 48.8 | | 77 | 77.6 |
| 1969 | 46.8 | 73.4 | 75.6 | 76.4 | 87 |
| 1970 | 32.8 | 38.8 | 39 | 39.2 | 39.2 |
| 1971 | 35 | 38 | 38 | 38 | 49 |
| 1972 | 29 | 43.6 | 47.6 | 48.8 | 48.8 |
| 1973 | 16.6 | 24 | 30 | 40.8 | 54.8 |
| 1985 | 21.2 | 21.2 | 28 | 45 | 70 |
| 1986 | 36.5 | 40.4 | 44.5 | 59.8 | 87.5 |
| 1987 | 37 | 50 | 70 | | 96.6 |
| 1989 | 41.4 | 43 | 62.4 | 76 | 97 |
| 1990 | 36.2 | 36.4 | 38 | 65 | 68.6 |
| 1994 | 62 | 77 | | | 88.8 |
| 1995 | 29 | 43.2 | 49 | 49.4 | 80.8 |

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 50 anni;
- l'intensità (mm/h) di una precipitazione di durata 1 ora e 15 minuti con tempo di ritorno di 50 anni.

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

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

Esercizio n°3 (punti 5)

Un condotto di fognatura mista lungo $L=250$ m deve essere dimensionato per servire un'area $A=1$ ha di cui il 60% impermeabile ($\phi_{IMP}=0.80$) ed il rimanente 40% permeabile ($\phi_{PERM}=0.10$).

Il numero di abitanti equivalenti serviti è $N_{ab}=1200$ e le portate nera massima e minima sono rispettivamente:

$$Q_{n,max} = 1.2 \cdot \frac{D.I. \cdot N_{ab}}{86400}, \quad Q_{n,min} = 0.7 \cdot \frac{D.I. \cdot N_{ab}}{86400}$$

essendi $D.I.$ la dotazione idrica pari a 300 l/ab.giorno

Il materiale della tubazione è cls. con scabrezza $K_s=70$ m^{1/3}/s.

Si assuma un tempo di accesso in rete di 10 min ed i seguenti parametri della curva di possibilità climatica $h = a\theta^n$: $a = 34$ mm/oraⁿ e $n = 0.48$.

In corrispondenza della portata massima deve essere garantito un grado di riempimento $h/D = 0.70$.

Nel caso della portata nera minima si vuole un grado di riempimento $h/D = 0.10$.

Calcolare il diametro e la pendenza della condotta.

| 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 |

Domande (punti 3 ciascuna)

1. Prendendo in considerazione le curve caratteristiche di una generica pompa ($h-Q$, $P-Q$, $\eta-Q$), determinare graficamente l'intervallo di funzionamento ottimale e specificare i vantaggi che si ottengono operando all'interno di questo intervallo.
2. Che cos'è la cavitazione? Quale è l'accorgimento che bisogna adottare per evitare tale fenomeno?
3. Partendo dalla definizione di scala di deflusso, spiegare 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.
4. 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.
5. Appoggiandosi all'equazione per il calcolo delle portate defluenti nelle cunette, e delle portate intercettate e by-passate dalle caditoie a bocca di lupo, illustrare i vantaggi di una cunetta a sezione triangolare ribassata rispetto ad una cunetta a sezione triangolare normale.

Esercizio n°1

a)

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

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{n_B}{n_A} \left(\frac{D_B}{D_A} \right)^3$$

da cui

$$Q_B = \frac{n_B}{n_A} \left(\frac{D_B}{D_A} \right)^3 Q_A$$

e

$$\frac{h_B}{h_A} = \left(\frac{n_B}{n_A} \right)^2 \left(\frac{D_B}{D_A} \right)^2$$

da cui

$$h_B = \left(\frac{n_B}{n_A} \right)^2 \left(\frac{D_B}{D_A} \right)^2 h_A$$

Sostituendo i valori numerici e utilizzando i valori di portata e prevalenza ottenuti per la pompa A si ottengono le caratteristiche della pompa B tabulate e graficate nella pagina successiva.

b)

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

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

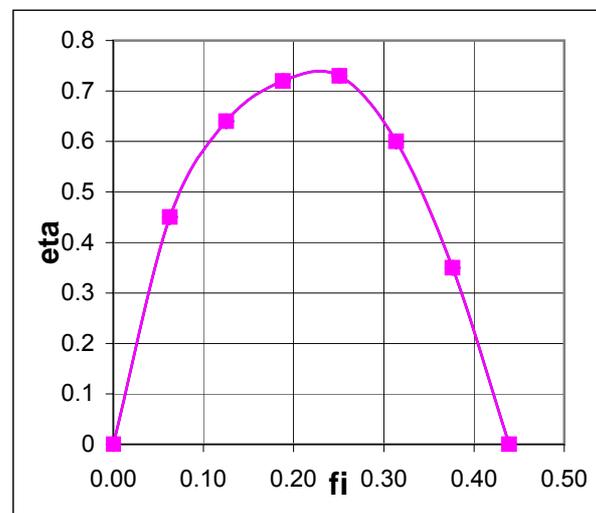
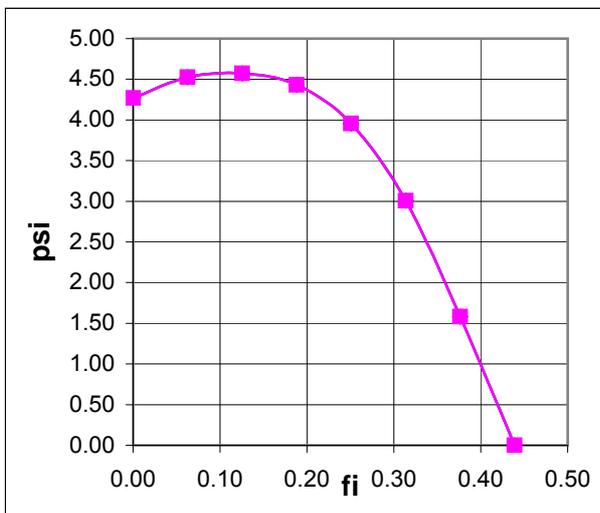
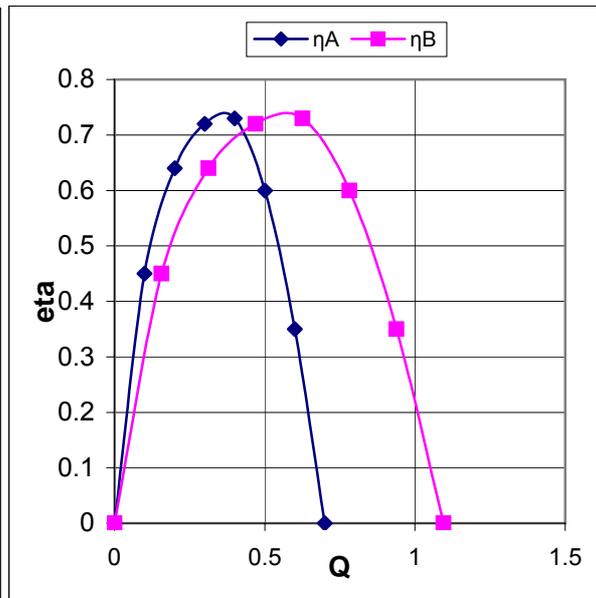
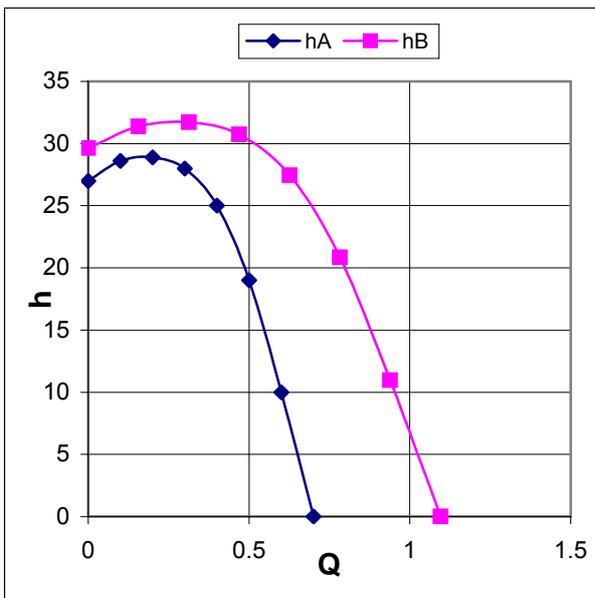
e

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

Sostituendo i valori numerici di portata e prevalenza della pompa A e della pompa B si ottengono i valori dei coefficienti dimensionali tabulati e graficati nella pagina successiva.

| nA | DA | | nB | DB | |
|------|------|----------|------|-------|----------|
| 17.5 | 450 | | 15 | 550 | |
| QA | hA | ηA | QB | hB | ηB |
| 0 | 27 | 0 | 0.00 | 29.63 | 0 |
| 0.1 | 28.6 | 0.45 | 0.16 | 31.39 | 0.45 |
| 0.2 | 28.9 | 0.64 | 0.31 | 31.72 | 0.64 |
| 0.3 | 28 | 0.72 | 0.47 | 30.73 | 0.72 |
| 0.4 | 25 | 0.73 | 0.63 | 27.44 | 0.73 |
| 0.5 | 19 | 0.6 | 0.78 | 20.85 | 0.6 |
| 0.6 | 10 | 0.35 | 0.94 | 10.98 | 0.35 |
| 0.7 | 0 | 0 | 1.10 | 0.00 | 0 |

| ΦA | ΨA | ΦB | ΨB |
|----------|----------|----------|----------|
| 0.00 | 4.27 | 0.00 | 4.27 |
| 0.06 | 4.52 | 0.06 | 4.52 |
| 0.13 | 4.57 | 0.13 | 4.57 |
| 0.19 | 4.43 | 0.19 | 4.43 |
| 0.25 | 3.95 | 0.25 | 3.95 |
| 0.31 | 3.01 | 0.31 | 3.01 |
| 0.38 | 1.58 | 0.38 | 1.58 |
| 0.44 | 0.00 | 0.44 | 0.00 |



c)

Le portate sollevate dalle pompe A e B sono diverse ed i valori, ricavati per via grafica sono rispettivamente:

$$Q_A=0.51 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{cui corrisponde} \quad h_A=18.9 \text{ m}$$

e

$$Q_B=0.73 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{cui corrisponde} \quad h_B=23.1 \text{ m}$$

d)

Per ricavare il numero di giri $n_{A'}$ a cui dovrebbe funzionare la pompa A affinché sollevi una portata uguale a quella sollevata della pompa B si costruisce il luogo dei punti idraulicamente equivalenti al punto B ($Q_B=0.73 \text{ m}^3/\text{s}$, $h_B=23.1 \text{ m}$)

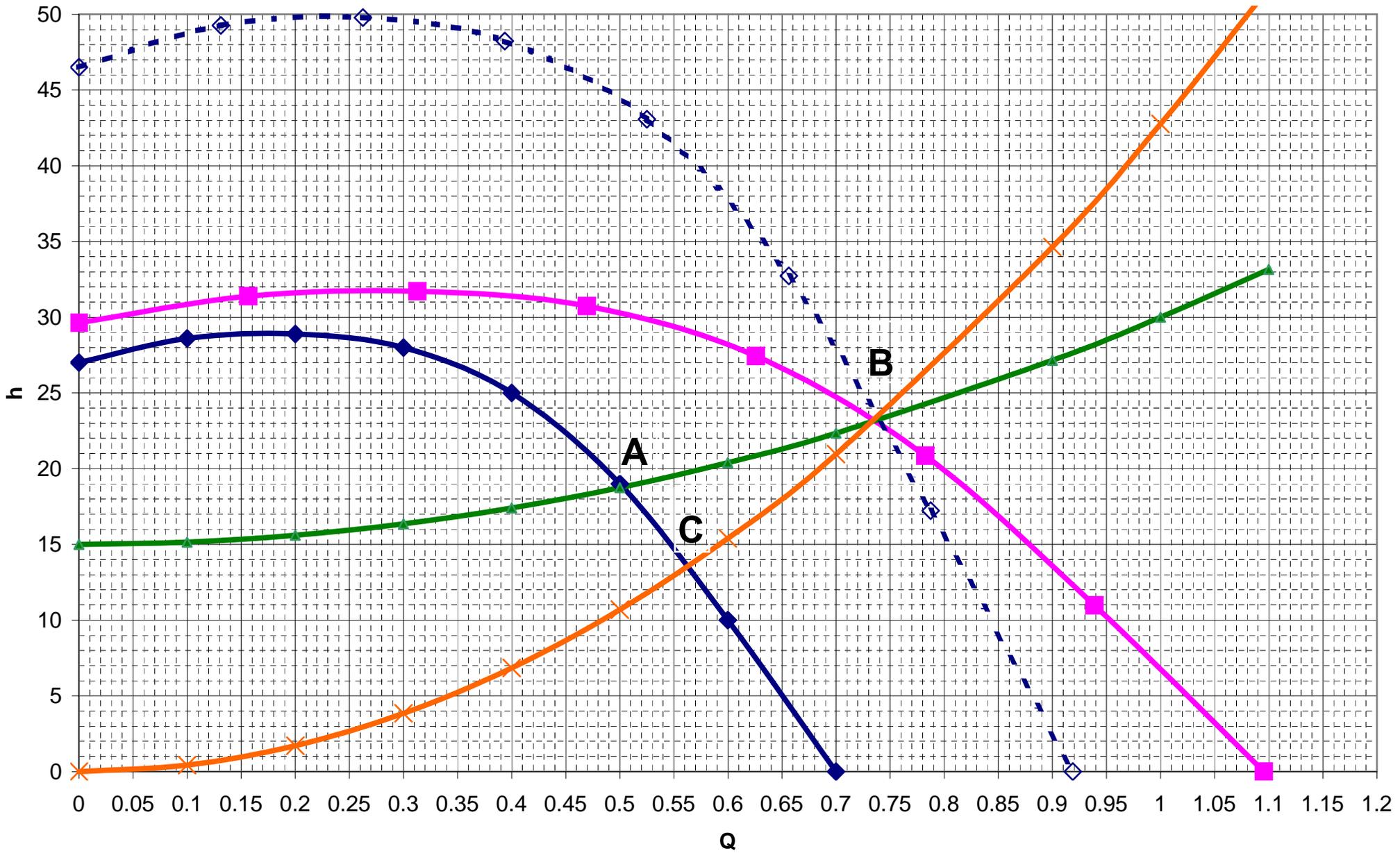
$$\begin{cases} \frac{h_B}{h} = \left(\frac{n_{A'}}{n} \right)^2 \\ \frac{Q_B}{Q} = \frac{n_{A'}}{n} \end{cases} \rightarrow h = \frac{h_B}{Q_B^2} Q^2$$

Quindi.

| Q | h |
|-----|-------|
| 0 | 0.00 |
| 0.1 | 0.43 |
| 0.2 | 1.71 |
| 0.3 | 3.85 |
| 0.4 | 6.84 |
| 0.5 | 10.69 |
| 0.6 | 15.39 |
| 0.7 | 20.95 |
| 0.9 | 34.64 |
| 1 | 42.76 |
| 1.1 | 51.74 |

Intersecando il luogo dei punti idraulicamente equivalenti al punto B con la curva della pompa A al numero di giri n_A si individua il punto C ($Q_C=0.56 \text{ m}^3/\text{s}$, $h_C=13.4 \text{ m}$)

Per ricavare il numero di giri $n_{A'}$ si applica la similitudine fluidodinamica tra il punto C ed il punto B ottenendo $n_{A'}=22.98 \text{ giri/s}$



Esercizio n°2

| | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | | | | |
|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-----------|--------|---------|-------|
| 1956 | 19.8 | 27 | 29.2 | 39.6 | 68.6 | | | | |
| 1957 | 31.4 | 39.6 | 39.8 | 42.2 | 57.2 | | | | |
| 1958 | 56 | 71.8 | 75 | 79.6 | 82.8 | | | | |
| 1959 | 23 | 32.2 | 36.4 | 37.4 | 50.2 | | | | |
| 1960 | 25.6 | 31 | 36.2 | 50.4 | 52.6 | | | | |
| 1961 | 24.6 | 28.4 | 36.6 | 38.6 | 53.8 | | | | |
| 1962 | 12 | 21.8 | 29.2 | 37.8 | 55.4 | | | | |
| 1963 | 38.4 | 40.2 | 41.4 | 44.8 | 48.6 | | | | |
| 1964 | 26.4 | 27.6 | 41.2 | | 42.4 | | | | |
| 1965 | 27 | | 42.2 | 48.4 | 52 | | | | |
| 1966 | 22.8 | | 46.4 | 60 | 81.5 | | | | |
| 1967 | 35.9 | 87 | 112.6 | 116.2 | 116.2 | | | | |
| 1968 | 30.4 | 48.8 | | 77 | 77.6 | | | | |
| 1969 | 46.8 | 73.4 | 75.6 | 76.4 | 87 | | | | |
| 1970 | 32.8 | 38.8 | 39 | 39.2 | 39.2 | | | | |
| 1971 | 35 | 38 | 38 | 38 | 49 | | | | |
| 1972 | 29 | 43.6 | 47.6 | 48.8 | 48.8 | | | | |
| 1973 | 16.6 | 24 | 30 | 40.8 | 54.8 | | | | |
| 1985 | 21.2 | 21.2 | 28 | 45 | 70 | | | | |
| 1986 | 36.5 | 40.4 | 44.5 | 59.8 | 87.5 | | | | |
| 1987 | 37 | 50 | 70 | | 96.6 | | | | |
| 1989 | 41.4 | 43 | 62.4 | 76 | 97 | | | | |
| 1990 | 36.2 | 36.4 | 38 | 65 | 68.6 | | | | |
| 1994 | 62 | 77 | | | 88.8 | | | | |
| 1995 | 29 | 43.2 | 49 | 49.4 | 80.8 | | | | |
| Media | 31.87 | 42.80 | 47.32 | 55.02 | 68.28 | | | | |
| var | 131.37 | 331.49 | 393.95 | 392.19 | 411.18 | | | | |
| u | 26.71 | 34.61 | 38.39 | 46.11 | 59.15 | | | | |
| alfa | 8.937 | 14.195 | 15.475 | 15.441 | 15.810 | | | | |
| T | 50.000 | 50.000 | 50.000 | 50.000 | 50.000 | | | | |
| h | 61.584 | 89.996 | 98.768 | 106.354 | 120.844 | | | | |
| t | 1.000 | 3.000 | 6.000 | 12.000 | 24.000 | | | | |
| logh | 4.120 | 4.500 | 4.593 | 4.667 | 4.795 | ymedio | 4.535 | xymedio | 7.758 |
| logt | 0.000 | 1.099 | 1.792 | 2.485 | 3.178 | xmedio | 1.711 | n | 5.000 |
| xiyi | 0.000 | 4.944 | 8.229 | 11.597 | 15.237 | Sommaxiyi | 40.006 | | |
| xi2 | 0.000 | 1.207 | 3.210 | 6.175 | 10.100 | Sommaxi2 | 20.692 | | |
| B=n | 0.201 | | | | | | | | |
| A | 4.191 | | | | | | | | |
| a | 66.085 | | | | | | | | |
| hcalc | 66.09 | 82.42 | 94.74 | 108.91 | 125.19 | | | | |
| h 1 ora e 1/4 | | 69.1172 | | | | | | | |

Esercizio n°3

Per la portata massima si ha:

$$\frac{h}{D} = 0.7 \quad \text{quindi} \quad \frac{Q_{\max}}{Q_p} = 0.837 \quad (1)$$

essendo:

$$Q_p = V_p \Omega \quad (2)$$

$$V_p = K_s R^{2/3} i_f^{1/2} \quad (3)$$

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

$$Q_{\max} = \varphi i A + Q_{n,\max} \quad (5)$$

$$Q_{n,\max} = 1.2 \frac{D \cdot I \cdot N_{ab}}{86400} \quad (6)$$

$$i = a T_c^{n-1} \quad (7)$$

$$T_c = T_a + \frac{T_r}{1.5} = T_a + \frac{L}{V_p} \frac{1}{1.5} \quad (8)$$

Inoltre, per la portata nera minima è richiesto che:

$$\frac{h}{D} = 0.1 \quad \text{quindi} \quad \frac{Q_{n,\min}}{Q_p} = 0.021 \quad (9)$$

essendo:

$$Q_{n,\min} = 0.7 \frac{D \cdot I \cdot N_{ab}}{86400} \quad (10)$$

Quindi:

Da (10) si calcola $Q_{n,\min} = 2.9$ l/s e da (9) si calcola $Q_p = 138.9$ l/s.

Da (1) si calcola $Q_{\max} = 116.25$ l/s

Essendo da (6) $Q_{n,\max} = 5$ l/s, da (5) si ricava che $i = 77.02$ mm/h, da (7) che $T_c = 12.45$ min e quindi

da (8) che $V_p = 1.13$ m/s

Da (2) si calcola $\Omega = 0.123$ m² e da (4) si calcola $D = 0.395$ m

Infine da (3) si calcola $i_f = 0.0056$, pari al 0.56%