

**Esercizio n°1 (punti 5)**

Una pompa  $P1$ , avente diametro della girante  $D_1 = 350$  mm, viene provata alla velocità di rotazione  $n_1$  pari a 14 giri/s, fornendo i seguenti valori della portata  $Q_1$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ], della prevalenza  $h_1$  [m di colonna d'acqua] e del rendimento totale  $\eta_1$ :

$Q_1$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$h_1$ [m]	28	27	26	24	22	19	14	7	0
$\eta_1$	0	0.48	0.66	0.74	0.75	0.64	0.45	0.25	0

- Ricavare le caratteristiche di una seconda pompa  $P2$  appartenente alla stessa famiglia, avente un diametro  $D_2$  di 400 mm e rotante ad una velocità  $n_2$  di 16 giri/s e tracciare le curve caratteristiche  $h = f(Q)$  e  $\eta = f(Q)$  delle due pompe;
- Calcolare i coefficienti adimensionali di portata  $\Phi$  e di pressione  $\Psi$  per le due pompe  $P1$  e  $P2$  e tracciare le caratteristiche adimensionali  $\Psi = f(\Phi)$  e  $\eta = f(\Phi)$  delle due pompe.
- Se le due pompe  $P1$  e  $P2$  di cui sopra, ovvero appartenenti alla stessa famiglia, lavorassero in parallelo, le portate sollevate da ciascuna delle due pompe sarebbero le stesse o no? Giustificare la risposta.
- Se le due pompe  $P1$  e  $P2$  di cui sopra, ovvero appartenenti alla stessa famiglia, lavorassero in serie, le portate sollevate da ciascuna delle due pompe sarebbero le stesse o no? Giustificare la risposta.

**Esercizio n°2 (punti 5)**

Un tratto di una fognatura mista lungo 500 m e con pendenza pari 0.3% è al servizio di un'area in via di sviluppo di 2.5 ha attualmente urbanizzata per il 50% della sua superficie.

A fronte di una scabrezza della condotta  $K_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , di un coefficiente di afflusso per le aree non urbanizzate  $\phi_{PERM} = 0.1$  e per le aree urbanizzate  $\phi_{IMP} = 0.8$ , di un tempo di accesso in rete di 5 min, di parametri della curva di possibilità climatica  $h = a\theta^n$   $a = 36 \text{ mm/ora}^n$  e  $n = 0.49$ , di un numero di abitanti equivalenti serviti pari a 3000, di una dotazione idrica  $q = 380 \text{ l/ab.d}$ , di un coefficiente di afflusso in rete per le acque nere  $\Phi = 0.85$  e di un coefficiente di punta orario  $k_h = 1.5$ , è stato assunto per il collettore (sovradimensionandolo) un diametro di 0.7 m.

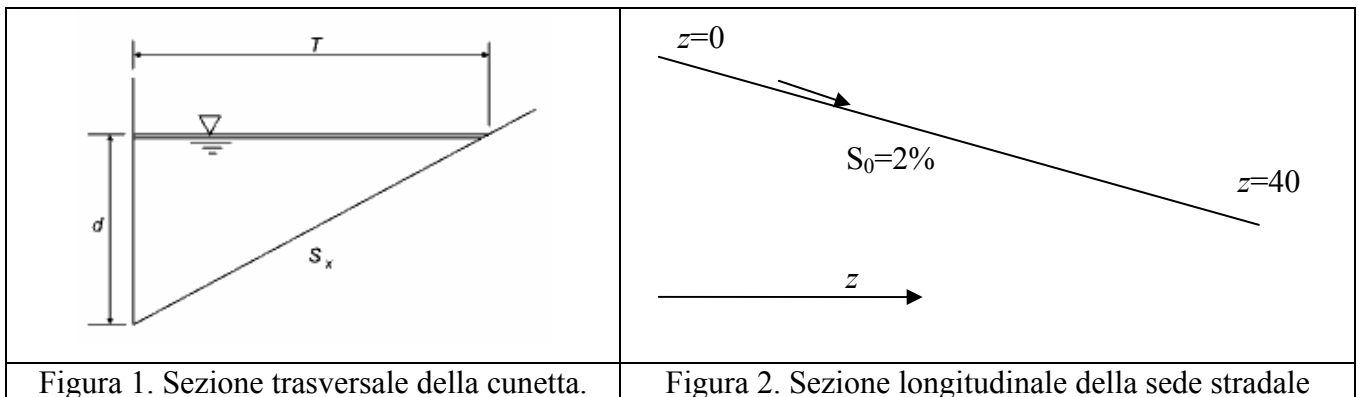
- Valutare di quanto potrebbe essere incrementata la percentuale di superficie urbanizzata garantendo il funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale.
- Valutare inoltre di quanto potrebbe essere incrementata la percentuale di superficie urbanizzata garantendo il funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale se si avesse contemporaneamente un raddoppio del numero di abitanti equivalenti serviti.

$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$	$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$
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

**Esercizio n°3 (punti 5)**

Una serie di caditoie a grata di larghezza  $W=0.4$  m e lunghezza  $L=0.4$  m deve essere posizionata in una cunetta triangolare semplice (vedi figura 1) posta a lato di una strada asfaltata (coefficiente di scabrezza di Strickler  $K=66$  m<sup>1/3</sup>/s) lunga 40 m, con pendenza longitudinale  $S_0=2\%$  e pendenza trasversale  $S_x=1.7\%$ . La portata da smaltire cresce linearmente con l'ascissa  $z$  (espressa in metri) secondo la relazione  $Q_z = z \cdot 0.0003$  [m<sup>3</sup>/s] (vedi figura 2) .

Determinare l'interasse a cui dovrebbero essere opzionate le caditoie al fine di garantire un allagamento della sede stradale inferiore a  $T=1$  m (Calcolare le portate intercettate dalle caditoie).



Equazioni:

$$Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2} \quad C_f=0.376;$$

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

$$v_0 = 2.54 L^{0.51}$$

$$R_f = \begin{cases} I - K_f (V - v_0) & V \geq v_0 \\ I & V \leq v_0 \end{cases} \quad \text{essendo } K_f=0.0295;$$

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

**Domande (punti 3 ciascuna)**

1. Che cos'è la cavitazione? Quale è l'accorgimento che bisogna adottare per evitare tale fenomeno?
2. Le curve caratteristiche delle pompe: illustrare perché il legame  $h_u-Q$  presenta generalmente un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.
3. Partendo da una serie di altezze di precipitazione massime annue (ad esempio sulle durate di 1, 3, 6 e 12 ore) descrivere e spiegare la trattazione statistica per ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità climatica  $h = a \cdot t^n$  per assegnato tempo di ritorno.
4. 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.
5. 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.

### **Esercizio n°1**

**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 e prevalenza ottenuti per la pompa *P1* si ottengono le caratteristiche della pompa *P2* tabulate e graficate nella pagina successiva.

**b)** I valori dei coefficienti adimensionali  $\Phi$  e  $\Psi$  si ottengono da:

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

e

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

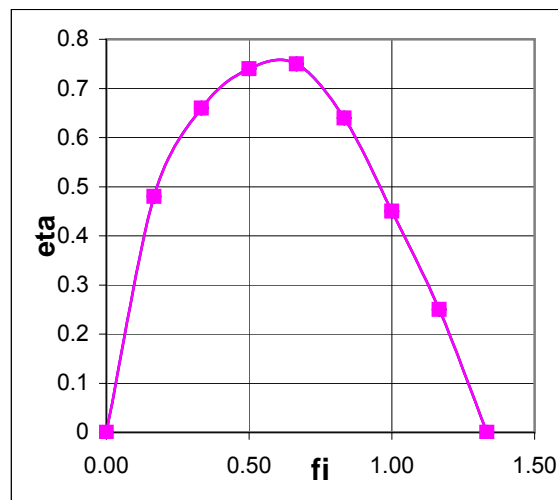
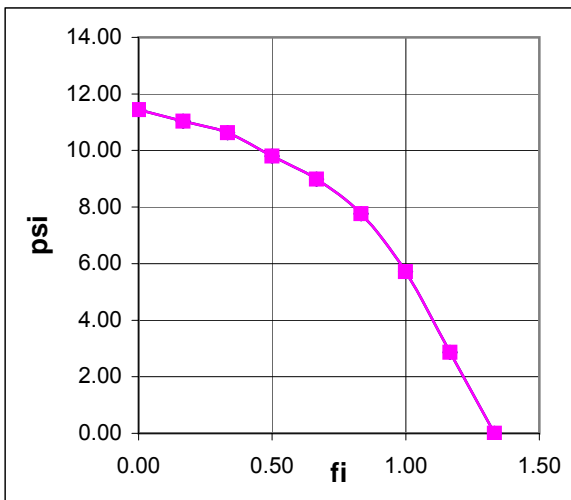
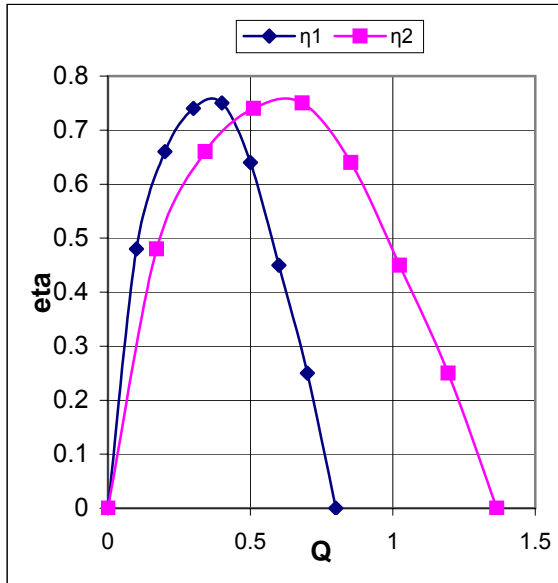
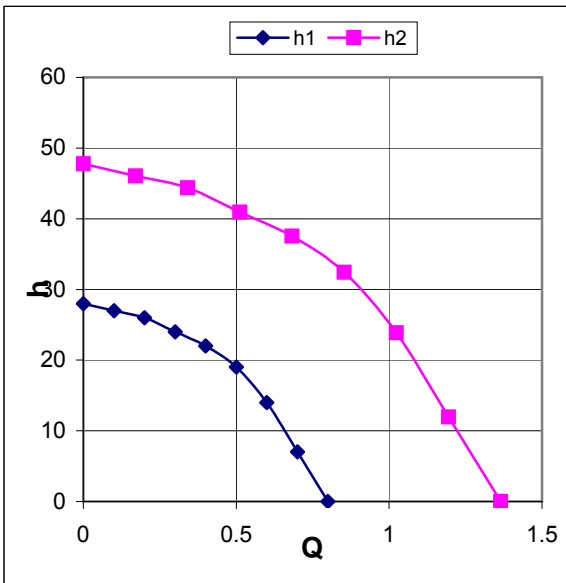
Sostituendo i valori numerici di portata e prevalenza della pompa *P1* e della pompa *P2* si ottengono i valori dei coefficienti dimensionali tabulati e graficati nella pagina successiva.

**c)** Le portate sollevate dalle pompe *P1* e *P2* 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 *P1* e *P2* 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.

$n1$	$D1$		$n2$	$D2$	
14	350		16	400	
$Q1$	$h1$	$\eta1$	$Q2$	$h2$	$\eta2$
0	28	0	0.00	47.77	0
0.1	27	0.48	0.17	46.06	0.48
0.2	26	0.66	0.34	44.35	0.66
0.3	24	0.74	0.51	40.94	0.74
0.4	22	0.75	0.68	37.53	0.75
0.5	19	0.64	0.85	32.41	0.64
0.6	14	0.45	1.02	23.88	0.45
0.7	7	0.25	1.19	11.94	0.25
0.8	0	0	1.36	0.00	0

$\Phi1$	$\Psi1$	$\Phi2$	$\Psi2$
0.00	11.44	0.00	11.44
0.17	11.03	0.17	11.03
0.33	10.62	0.33	10.62
0.50	9.81	0.50	9.81
0.67	8.99	0.67	8.99
0.83	7.76	0.83	7.76
1.00	5.72	1.00	5.72
1.17	2.86	1.17	2.86
1.33	0.00	1.33	0.00



## Esercizio n°2

Nell'ipotesi di grado di riempimento ottimale:

$$\frac{h}{D} = 0.7 \quad \text{da cui:} \quad \frac{Q_{\max}}{Q_p} = 0.837 \Rightarrow Q_{\max} = Q_{cr} + Q_{n,\max} = 0.837 Q_p$$

Quindi si calcola il valore della portata a sezione piena:

$$Q_p = v_p A = 462 \text{ l/s}$$

essendo  $v_p$  la velocità a sezione piena così definita:

$$v_p = k_s \left( \frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} = 1.20 \text{ m/s}$$

Quindi il valore della portata massima è pari a:

$$Q_{\max} = Q_{cr} + Q_{n,\max} = 0.837 \cdot 462 = 386.7 \text{ l/s}$$

e il valore della portata critica è:

$$Q_{cr} = Q_{\max} - Q_{n,\max} = 386.7 - 16.82 = 369.7 \text{ l/s}$$

essendo la portata nera massima pari a 16.82 l/s.

Il valore dell'intensità di precipitazione critica vale:

$$i_{cr} = a(t_{cr})^{n-1} = 91.5 \text{ mm/h}$$

essendo  $t_{cr}$  così definito:

$$t_{cr} = t_a + \frac{t_r}{1.5} = 5 + \frac{L}{v_p \cdot 1.5} = 9.63 \text{ min}$$

Quindi è possibile ricavare il valore di  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{Q_{cr}}{iA} = 0.58$$

Dalla definizione del coefficiente  $\varphi$ :

$$\varphi = \varphi_{\text{imp}} \cdot \text{IMP} + \varphi_{\text{perm}} \cdot (1 - \text{IMP})$$

esplicitando la relazione in funzione della percentuale di superficie urbanizzata, si ottiene che:

$$\text{IMP} = \frac{\varphi - \varphi_{\text{perm}}}{\varphi_{\text{imp}} - \varphi_{\text{perm}}} \cdot 100 = 68.8\%$$

Nel caso di un raddoppio del numero di abitanti equivalenti la portata nera massima sarebbe pari a 33.65 l/s.

e quindi il valore della portata critica sarebbe:

$$Q_{cr} = Q_{\max} - Q_{n,\max} = 386.7 - 33.65 = 353.1 \text{ l/s}$$

Quindi  $\varphi$  varrebbe:

$$\varphi = \frac{Q_{cr}}{iA} = 0.55$$

Dalla definizione del coefficiente  $\varphi$ :

$$\varphi = \varphi_{imp} \cdot IMP + \varphi_{perm} \cdot (1 - IMP)$$

esplicitando la relazione in funzione della percentuale di superficie urbanizzata, si ottiene che:

$$IMP = \frac{\varphi - \varphi_{perm}}{\varphi_{imp} - \varphi_{perm}} \cdot 100 = 65\%$$

### Esercizio n°3

La portata  $Q$  defluente in cunetta per metro lineare di strada è:

$$Q_{z=1} = 0.0003 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (0.3 l/s)}$$

Assumendo che non vi siano caditoie posizionate lungo la strada che intercettino quota parte della portata defluente in cunetta, alla sezione finale della strada ( $z=40$ ) la portata defluente sarebbe quindi pari a  $Q_{z=40} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$  (12 l/s).

Date le caratteristiche geometriche della sede stradale, fissato un allagamento massimo  $T=1$  m la portata massima  $Q$  che può defluire in cunetta è:

$$Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2} = 0.0039 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (3.945 l/s)}$$

Assumendo che le caditoie intercettino tutta la portata in arrivo, l'interasse massimo  $int$  a cui si potrebbero posizionare le caditoie è quindi:

$$int = Q / Q_{z=1} = 13.1 \text{ m}$$

Tuttavia, considerando che quota parte della portata in arrivo a ciascuna caditoia è by-passata è cautelativo adottare in prima battuta un interasse minore.

Assumendo di posizionare le caditoie ad interasse di 10 m si avrebbe la seguente situazione:

Caditoia	1	Progressiva	10
Q	0.003m3/s	3.000l/s	<Qmax= 3.945 l/s
T	0.9024m		$T = (Q / (0.376 \cdot K_s \cdot S_x^{5/3} \cdot S_0^{1/2}))^{3/8}$
Eo	0.7906		$E_o = 1 - (1 - W/T)^{2.67}$
Qw	0.0024m3/s		$Q_w = E_o \cdot Q$
Qs	0.0006m3/s		$Q_s = (1 - E_o) \cdot Q$
A	0.0069m2	d2	0.015m
V	0.4334m/s	v < v0Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1		
Rs	0.1011		
Qint	0.0024m3/s	2.435l/s	
Qb	0.0006m3/s	0.565l/s	

Caditoia	2	Progressiva	20
Q	0.0036m3/s	3.565l/s	<Qmax= 3.945 l/s
T	0.9627m		$T = (Q / (0.376 \cdot K_s \cdot S_x^{5/3} \cdot S_0^{1/2}))^{3/8}$
Eo	0.7616		$E_o = 1 - (1 - W/T)^{2.67}$

Qw	0.0027m <sup>3</sup> /s		Qw=Eo*Q
Qs	0.0008m <sup>3</sup> /s		Qs=(1-Eo)*Q
A	0.0079m <sup>2</sup>	d2	0.016m
V	0.4525m/s	v<v0Rf=1 -->	portata frontale tutta intercettata
Rf	1		
Rs	0.0942		
Qint	0.0028m <sup>3</sup> /s	2.795l/s	
Qb	0.0008m <sup>3</sup> /s	0.770l/s	

Caditoia	<b>3</b>	Progressiva	30	
Q	0.0038m <sup>3</sup> /s	3.770l/s	<Qmax=	3.945 l/s
T	<b>0.9832m</b>		T=(Q/(0.376*Ks*Sx <sup>5</sup> /3*So <sup>1</sup> /2)) <sup>(3/8)</sup>	
Eo	0.7521		Eo=1-(1-W/T) <sup>2.67</sup>	
Qw	0.0028m <sup>3</sup> /s		Qw=Eo*Q	
Qs	0.0009m <sup>3</sup> /s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0082m <sup>2</sup>	d2	0.017m	
V	0.4588m/s	v<v0Rf=1 -->	portata frontale tutta intercettata	
Rf	1			
Rs	0.0921			
Qint	0.0029m <sup>3</sup> /s	2.921l/s		
Qb	0.0008m <sup>3</sup> /s	0.849l/s		

Caditoia	<b>4</b>	Progressiva	40	
Q	0.0038m <sup>3</sup> /s	3.849l/s	<Qmax=	3.945 l/s
T	<b>0.9908m</b>		T=(Q/(0.376*Ks*Sx <sup>5</sup> /3*So <sup>1</sup> /2)) <sup>(3/8)</sup>	
Eo	0.7485		Eo=1-(1-W/T) <sup>2.67</sup>	
Qw	0.0029m <sup>3</sup> /s		Qw=Eo*Q	
Qs	0.001m <sup>3</sup> /s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0083m <sup>2</sup>	d2	0.017m	
V	0.4612m/s	v<v0Rf=1 -->	portata frontale tutta intercettata	
Rf	1			
Rs	0.0913			
Qint	0.003m <sup>3</sup> /s	2.969l/s		
Qb	0.0009m <sup>3</sup> /s	0.879l/s		