

Esercizio n°1 (punti 5)

L'impianto di sollevamento rappresentato in figura 1 è costituito da 2 pompe aventi ciascuna la seguente curva caratteristica a $n=870$ giri/min:

$$H=r-sQ^2 \quad \text{con } r=40 \text{ m e } s=200 \text{ s}^2/\text{m}^5$$

Si assumano due diverse modalità con cui le due pompe possono lavorare: a) entrambe funzionanti a $n=870$ giri/min e b) entrambi funzionanti ad un numero di giri n^* da definirsi.

Come illustrato in figura 1 la condotta di mandata è costituita dai tratti A_1 -B e A_2 -B, ciascuno al servizio di una delle due pompe, e da un tratto B-C, comune a tutte e due le pompe. I tratti A_1 -B, A_2 -B, hanno ciascuno diametro $D=250$ mm e lunghezza $L=10$ m e in essi sono presenti 3 gomiti, 1 valvola di non ritorno ed 1 saracinesca. Il tratto B-C ha diametro $D=400$ mm e lunghezza $L=200$ m. In esso è posizionata una valvola di regolazione V il cui coefficiente di perdita di carico ξ_v è incognito (Per gli altri coefficienti di perdita di carico concentrata vv. Tabella 1).

Per il calcolo delle perdite di carico si consideri un coefficiente di Bazin $\gamma_B = 0.11 \text{ m}^{1/2}$.

$$\beta = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}} \right)^2$$

Si assuma un livello nella vasca dove sono posizionate le due pompe $Z_A=5$ m ed un carico in corrispondenza del punto di recapito C, $Z_C=14$ m. Il nodo B è posizionato alla quota $Z_B=9$ m.

Si determini il grado di chiusura della valvola di regolazione V, ovvero il valore del suo coefficiente di perdita di carico concentrata ξ_v , ed il numero di giri n^* a cui dovrebbero funzionare le 2 pompe, affinché

- a fronte della modalità di lavoro a) (ovvero entrambe le pompe funzionanti a $n=870$ giri/min) la portata complessiva sollevata al serbatoio C sia pari a 400 l/s,
- a fronte della modalità di lavoro b) (ovvero entrambe le pompe funzionanti a n^*) la portata complessiva sollevata al serbatoio C sia pari a 600 l/s.

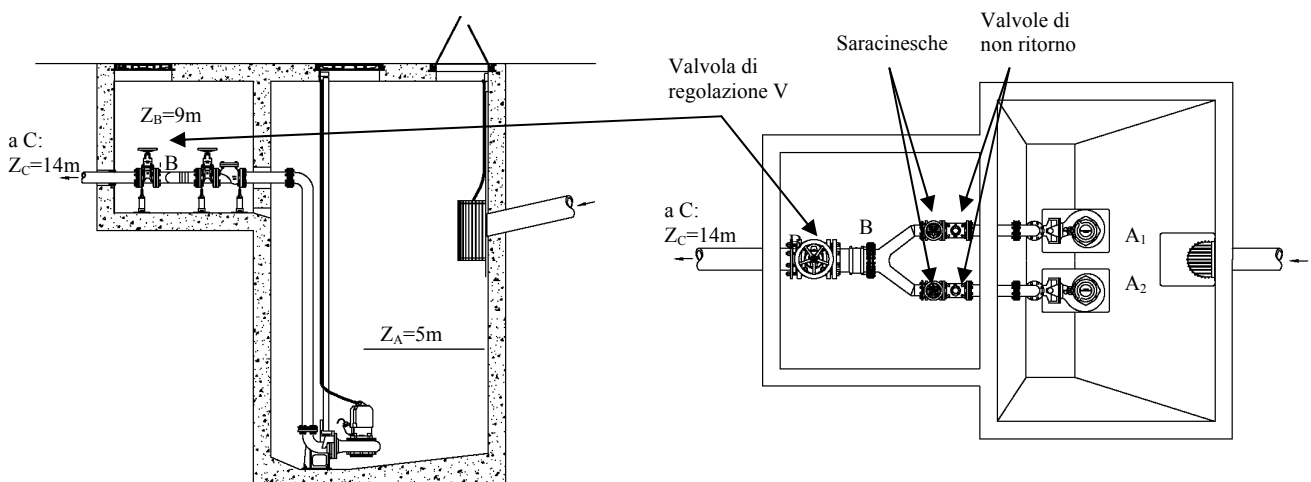


Figura 1. Pianta e sezione dell'impianto

Tabella 1. I coefficienti ξ per il calcolo delle perdite di carico concentrate: $\Delta H = \xi \cdot V^2 / 2g$

Imbocco	0.5
Sbocco	1
Gomito	0.2
Valvola di non ritorno	2.5
Saracinesca	1

Esercizio n°2 (punti 5)

Con riferimento alla rete di drenaggio mista rappresentata in figura 2 si dimensiona il tratto 4 sapendo che i tratti 1, 2 e 3 sono già stati dimensionati.

Le caratteristiche dei tratti sono indicate in tabella.

$\varphi_{IMP}=0.80$; $\varphi_{PERM}=0.10$;

Tempo di accesso in rete: 5 min.

Scabrezza tubazioni: $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Curva di possibilità climatica: $h = a\theta^n$ con $a = 31 \text{ mm/ora}^n$ e $n = 0.36$.

Dotazione idrica $q = 360 \text{ l/ab.d}$;

Coefficiente di afflusso in rete $\Phi=0.85$; coefficiente di punta orario $k_h=1.5$;

Per la portata nera minima si assuma $Q_{n,\min} = 0.67 \cdot \frac{q \cdot N_{ab}}{86400}$.

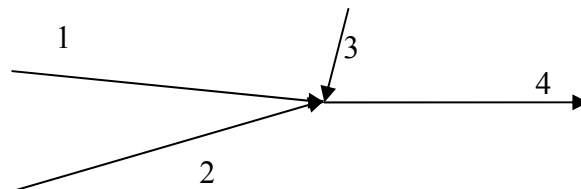


Figura 2. Schema della rete di drenaggio

N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)	D (mm)
1	5	1500	55	450	0.6	800
2	3	1000	40	500	0.5	600
3	4	1000	40	400	0.5	700
4	3	1500	65	500	0.3	

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 $W=0.3$ m e lunghezza $L=0.4$ m deve essere posizionata in una cunetta triangolare semplice (vedi figura 3) posta a lato di una strada asfaltata (coefficiente di scabrezza di Strickler $K=66$ m^{1/3}/s) lunga 80 m, con pendenza longitudinale $S_0=3\%$ e pendenza trasversale $S_x=2.5\%$. La portata da smaltire cresce linearmente con l'ascissa z (espressa in metri) secondo la relazione $Q_z = z \cdot 0.0003$ [m³/s] (vedi figura 4).

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

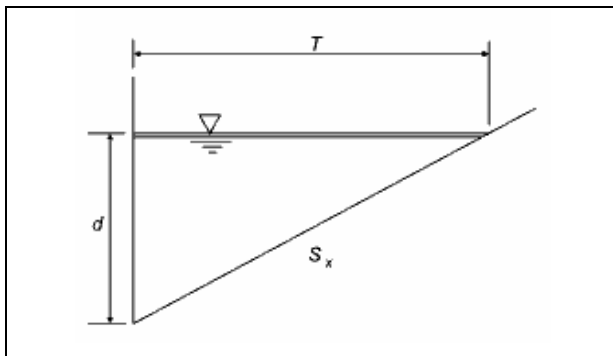


Figura 3. Sezione trasversale della cunetta.

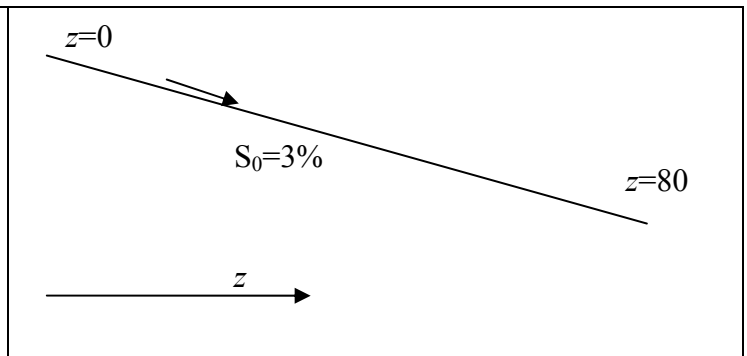


Figura 4. Sezione longitudinale della sede stradale

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. Si definiscano e si descrivano il rendimento idraulico, volumetrico, organico e totale di una turbopompa.
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. Definizione di NPSH. Calcolare la posizione della pompa rispetto al serbatoio di alimentazione una volta noto l' $NPSH_R$.
4. Partendo da una serie di altezze di precipitazione massime annue (ad esempio sulle durate di 1, 3, 6 e 12 ore) descrivere la trattazione statistica per ricavare i parametri a ed n della curva di possibilità climatica $h = a \cdot t^n$.
5. Illustrare i passi relativi al corretto dimensionamento di un pluviale e di un eventuale tratto di raccordo presente fra la grondaia e il pluviale stesso.

Esercizio n°1

Considerando la modalità di funzionamento a) (entrambe le pompe funzionanti a $n=870$ giri/min), a fronte della portata imposta $Q=400$ l/s da recapitare nel serbatoio C si determina il valore del coefficiente di perdita di carico concentrata ξ_v della valvola di regolazione V.

A tal fine si consideri che la curva caratteristica delle pompe P_1 e P_2 , funzionanti a 870 giri/min, è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r - sQ^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{r-H}{s}} \quad (1)$$

Le pompe operano in parallelo dal punto B, quindi supponendo di posizionare ciascuna pompa in corrispondenza del nodo B, la relativa equazione della curva caratteristica assume la seguente forma:

$$H_{P_i} - H_{AB} = H = r - z_B + z_A - \left(s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2} \right) Q^2 \quad (2)$$

dove il termine H_{AB} , definito dalla relazione (3), rappresenta le perdite di carico che il sistema deve vincere per poter sollevare la portata al nodo B.

$$H_{AB} = z_B - z_A + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} Q^2 + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2} Q^2 \quad (3)$$

dove le perdite concentrate ξ_i sono dovute all'imbocco, gomiti, valvole di non ritorno e saracinesca presenti nel tratto AB.

Esplicitando la relazione (2) rispetto la portata si ottiene l'equazione della curva caratteristica della pompa riportata al nodo B, e ponendo le due pompe in parallelo, si ottiene che:

$$Q = 2 \sqrt{\frac{r - z_B + z_A - H}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2}} \quad (4)$$

L'equazione della curva dell'impianto relativo al tratto BC è definita da:

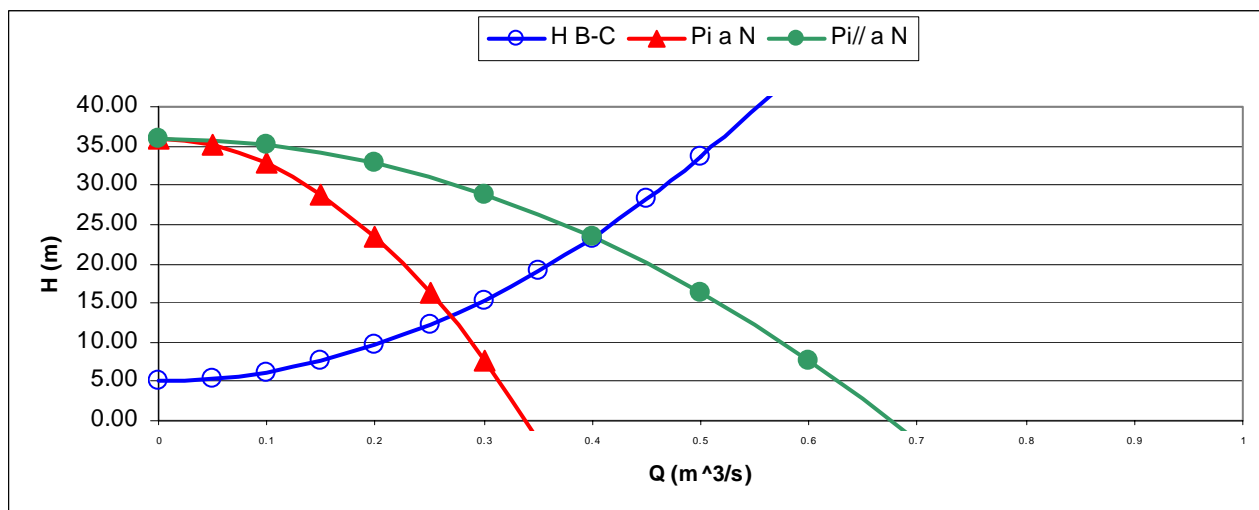
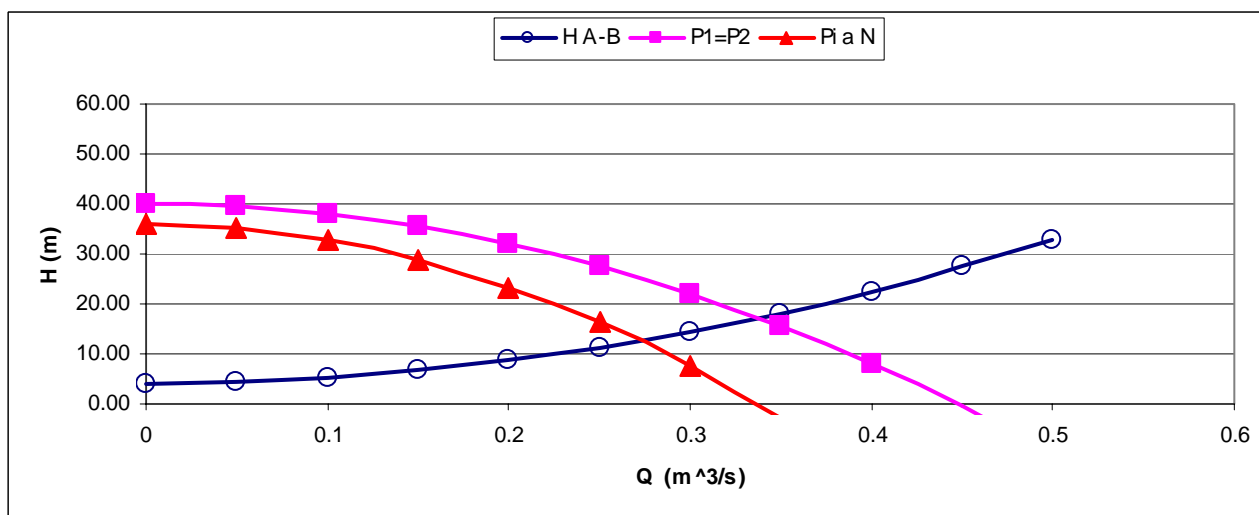
$$H_{BC} = z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\xi_s + \xi_v}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4} \right)^2} Q^2 \quad (5)$$

avendo messo in evidenza nel tratto BC le perdite di carico concentrate ξ_s dovuta allo sbocco e la perdita di carico concentrata ξ_v dovuta alla valvola di regolazione.

Mettendo a sistema le equazioni (4) e (5), si ottiene che:

$$\frac{Q^2}{4} = \frac{r - z_B + z_A - \left(z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\xi_s + \xi_v}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4} \right)^2} Q^2 \right)}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2}}$$

Da cui si, fissata la portata $Q=400$ l/s si ottiene $\xi_v = 25.1$.



Calcolato il valore di ξ_v si determina il numero di giri n^* affinché la portata sollevata al serbatoio C sia pari a 600 l/s.

L'equazione della curva caratteristica delle pompe P_1 e P_2 , ad un numero di giri n^* , si ricava applicando il principio di similitudine fluidodinamica:

$$\begin{cases} \frac{H}{H^*} = \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \\ \frac{Q}{Q^*} = \frac{n}{n^*} \end{cases} \rightarrow H^* \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 = r - s \cdot Q^{*2} \cdot \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \rightarrow H^* = r \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 - s \cdot Q^{*2} \quad (6)$$

Analogamente a quanto visto precedentemente, l'equazione di ciascuna pompa posizionata in corrispondenza del nodo B, risulta essere:

$$H_{P_i} - H_{AB} = H = r \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 - z_B + z_A - \left(s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4}\right)^2} \right) Q^2 \quad (7)$$

Ponendo in parallelo le due pompe si ottiene quindi che:

$$Q = 2 \sqrt{\frac{r \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 - z_B + z_A - H_{BC}}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4}\right)^2}}} \quad (8)$$

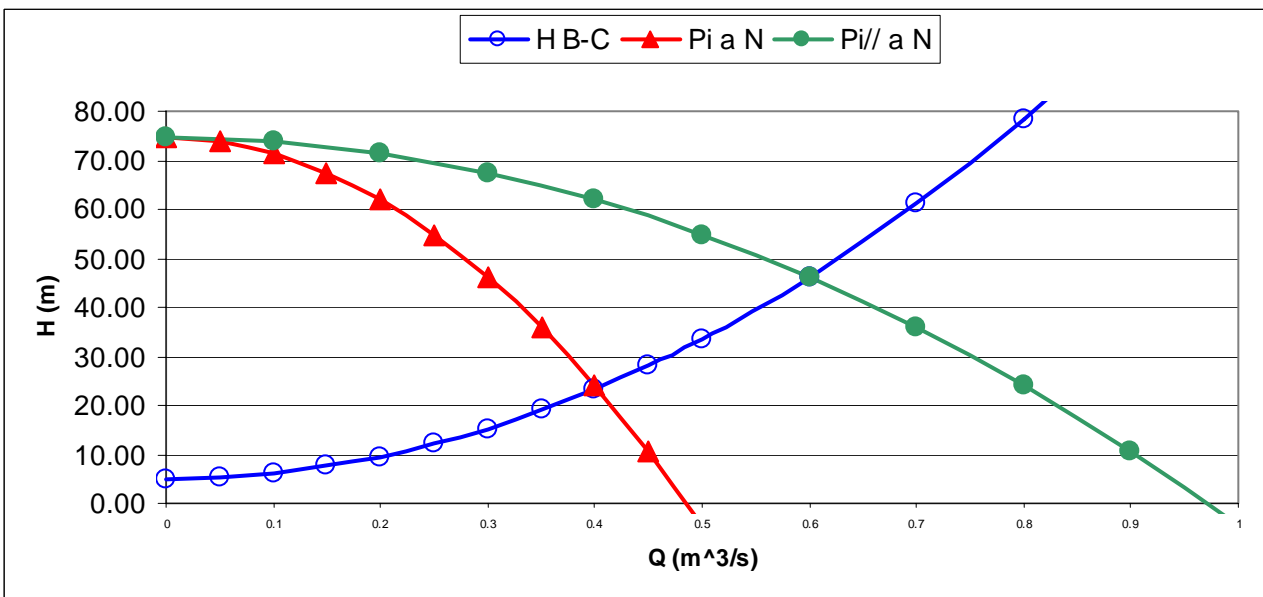
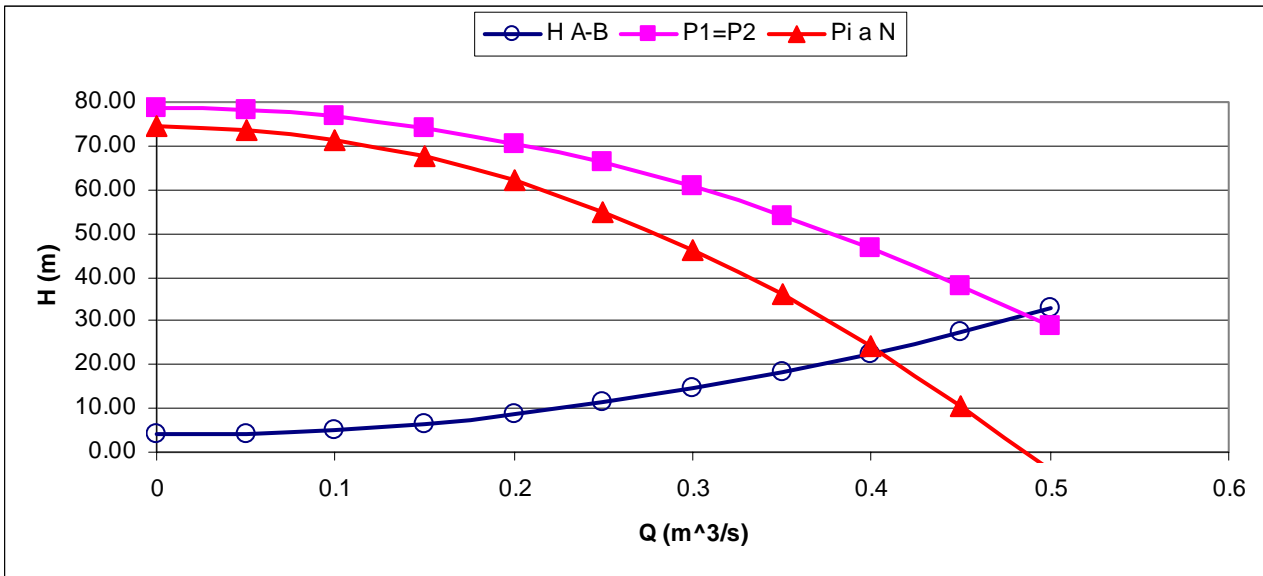
Mettendo a sistema l'equazione (8) con l'equazione (5), si ottiene:

$$\frac{Q^2}{4} = \frac{r \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 - z_B + z_A - \left(z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\xi_s + \xi_v}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4}\right)^2} Q^2 \right)}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4}\right)^2}} \quad (9)$$

da cui:

$$n^* = n \sqrt{\frac{z_B - z_A + \left(z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\xi_s + \xi_v}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4}\right)^2} Q^2 \right) + \frac{Q^2}{4} \left(s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4}\right)^2} \right)}{r}}$$

Fissato un valore della portata pari a 600 l/s, l'unica incognita è n^* che assume un valore pari a 1220 giri/min.



Esercizio 2

Costanti:		D.I. (q)		Coeff. Affl. Nera		Kh		Kmin		ϕ imp		ϕ perm		a		n											
		360 l/ab*di		0.85		1.5		0.67		0.8		0.1		31		0.36											
Tratto condotta	Abitanti	Q nera massima	Q nera minima	Area scolante parziale	Area scolante totale	Impermeabilità	Lunghezza	Diametro ipotizzato	Pendenza	Scabrezza	Velocità a sezione piena	Portata a sezione piena	Tempo di scolo	Tempo di transito	Tempo di corrivazione	Intensità di pioggia	Coefficiente d'afflusso	Portata critica	Portata massima Qc+Qn,max	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Qmax	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Qmin
	N ab	Qnmax l/sec	Qnmin l/sec	Sp ha	Stot ha	IMP %	L m	D m	i %	ks	Vp m/s	Qp l/s	Ta min	Tr min	Tcr min	ic mm/h	ϕ	Qc l/s	Qmax l/s	$\frac{Qmax}{Qp}$	h/d	$\frac{Vmax}{Vp}$	Vmax m/s	$\frac{Qmin}{Qp}$	h/d	$\frac{Vmin}{Vp}$	Vmin m/s
1	1500	7.97	4.19	5.0	5	55	450	0.8	0.6	70	1.85	932	5	4.04	7.70	115.4	0.49	777.3	785	0.84	0.7	1.12	2.08	0.0045	0.06	0.25	0.46
2	1000	5.31	2.79	3.0	3	40	500	0.6	0.5	70	1.40	395	5	5.96	8.98	104.6	0.38	331.1	336	0.85	0.7	1.11	1.55	0.0071	0.07	0.26	0.36
3	1000	5.31	2.79	4.0	4	40	400	0.7	0.5	70	1.55	596	5	4.30	7.87	113.8	0.38	480.3	486	0.81	0.7	1.11	1.72	0.0047	0.06	0.25	0.39
4	1500	7.97	4.19	3.0	15	65	500	1.2	0.3	70	1.72	1943	5	10.81	12.21	85.9	0.45	1610.3	1637	0.84	0.72	1.12	1.92	0.0072	0.08	0.27	0.46

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=80) la portata defluente sarebbe quindi pari a $Q_{z=80} = 0.024 \text{ m}^3/\text{s}$ (24 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:

$$Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2} = 0.0092 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (9.2 l/s)}$$

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

$$int = Q / Q_{z=1} = 30.6 \text{ m}$$

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 20 m si avrebbe la seguente situazione:

Caditoia	1	Progressiva	20
Q	0.006m ³ /s	6.000l/s	<Qmax= 9.187 l/s
T	0.8523 m		$T = (Q / (0.376 * K_s * S_x^{5/3} * S_0^{1/2}))^{3/8}$
Eo	0.686		$Eo = 1 - (1 - W/T)^{2.67}$
Qw	0.0041m ³ /s		$Qw = Eo * Q$
Qs	0.0019m ³ /s		$Qs = (1 - Eo) * Q$
A	0.0091m ²	d2	0.021m
V	0.6607m/s	v < v _{0Rf} =1 --> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1		
Rs	0.0718		
Qint	0.0043m ³ /s	4.251l/s	
Qb	0.0017m ³ /s	1.749l/s	

Caditoia	2	Progressiva	40
Q	0.0077m ³ /s	7.749l/s	<Qmax= 9.187 l/s
T	0.9381 m		$T = (Q / (0.376 * K_s * S_x^{5/3} * S_0^{1/2}))^{3/8}$
Eo	0.6426		$Eo = 1 - (1 - W/T)^{2.67}$
Qw	0.005m ³ /s		$Qw = Eo * Q$
Qs	0.0028m ³ /s		$Qs = (1 - Eo) * Q$
A	0.011m ²	d2	0.023m
V	0.7044m/s	v < v _{0Rf} =1 --> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1		
Rs	0.0645		
Qint	0.0052m ³ /s	5.158l/s	
Qb	0.0026m ³ /s	2.591l/s	

Caditoia	3	Progressiva	60
Q	0.0086m ³ /s	8.591l/s	<Qmax= 9.187 l/s
T	0.9751 m		$T = (Q / (0.376 * K_s * S_x^{5/3} * S_0^{1/2}))^{3/8}$

Eo	0.6253		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$
Qw	0.0054m ³ /s		$Qw=Eo*Q$
Qs	0.0032m ³ /s		$Qs=(1-Eo)*Q$
A	0.0119m ²	d2	0.024m
V	0.7228m/s	v<v0Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1		
Rs	0.0618		
Qint	0.0056m ³ /s	5.571l/s	
Qb	0.003m ³ /s	3.020l/s	

Caditoia	4	Progressiva	80	
Q	0.009m ³ /s	9.020l/s	<Qmax=	9.187 l/s
T	0.9931m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$	
Eo	0.6172		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0056m ³ /s		$Qw=Eo*Q$	
Qs	0.0035m ³ /s		$Qs=(1-Eo)*Q$	
A	0.0123m ²	d2	0.025m	
V	0.7316m/s	v<v0Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata		
Rf	1			
Rs	0.0605			
Qint	0.0058m ³ /s	5.776l/s		
Qb	0.0032m ³ /s	3.244l/s		