

Esercizio n°1 (punti 6)

Si consideri l'impianto di sollevamento al servizio di una rete di drenaggio urbana rappresentato in figura 1. L'impianto è costituito da 4 pompe posizionate all'interno di una vasca di raccolta aventi ciascuna la seguente curva caratteristica a $n=870$ giri/min:

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

Come illustrato in figura 1 la condotta di mandata è costituita dai tratti A_1 -B, A_2 -B, A_3 -B A_4 -B, ciascuno al servizio di una delle quattro pompe, e da un tratto B-C, comune a tutte e quattro le pompe. I tratti A_1 -B, A_2 -B, A_3 -B A_4 -B hanno ciascuno diametro $D=0.2$ m e lunghezza $L=10$ m e in essi sono presenti 3 gomiti, 1 valvola ed 1 saracinesca. Il tratto B-C ha diametro $D=0.5$ m e lunghezza $L=300$ m. (Per i coefficienti di perdita di carico concentrata vv. Tabella 1). Per il calcolo delle perdite di carico si consideri un coefficiente di Bazin $\gamma_B = 0.12 \text{ m}^{1/2}$.

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

Si assuma un livello nella vasca dove sono posizionate le quattro pompe $Z_A=15$ m ed un carico in corrispondenza del punto di recapito C, $Z_C=27$ m. Il nodo B è posizionato alla quota $Z_B=19$ m.

Si calcoli:

- la portata sollevata dall'impianto a C assumendo che tutte e 4 le pompe lavorino a $n=870$ giri/min
- il numero di giri n^* a cui dovrebbero funzionare le 4 pompe affinché la portata sollevata dall'impianto a C sia pari a $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

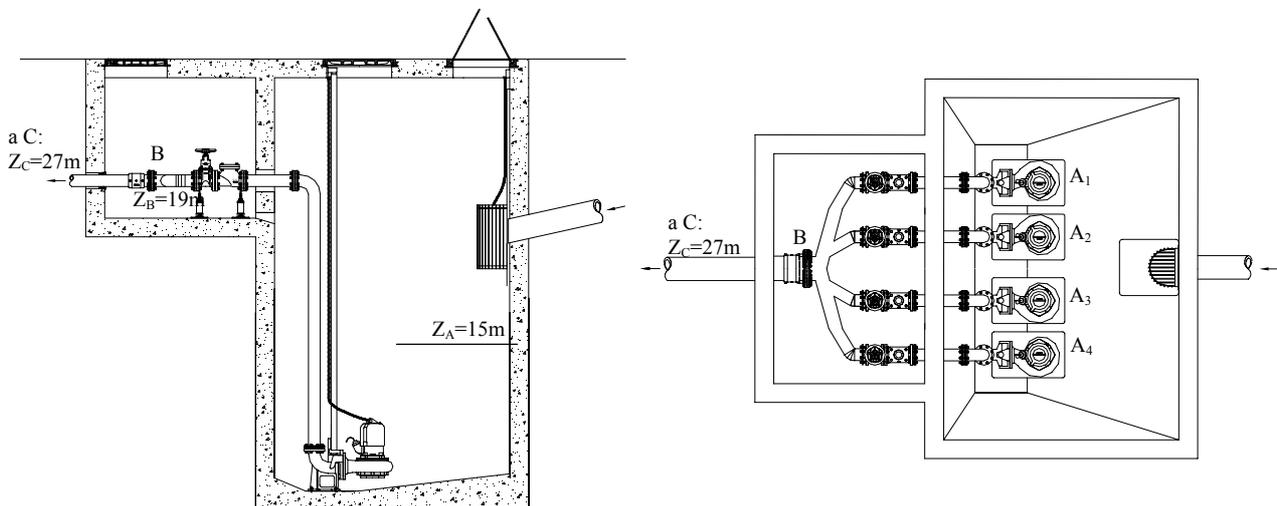


Figura 1. Pianta e sezione dell'impianto

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

Imbocco	0.5
Sbocco	1
Gomito	0.2
Valvola	2.5
Saracinesca	1

Esercizio n°2 (punti 5)

Si consideri il sistema di drenaggio urbano misto rappresentato in figura 2. Si dimensionino i due tratti della rete sulla base dei seguenti dati:

Curva di possibilità climatica: $h = a\theta^n$ con $a = 51 \text{ mm/ora}^n$ e $n = 0.48$.

Tempo di accesso in rete: 5 min.

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

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

Dotazione idrica $q = 350 \text{ l/ab.d}$;

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 1. Schema del sistema di drenaggio misto

N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)
1	2	2700	40	500	0.4
2	2	2500	50	400	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 4)

La copertura di un edificio è costituita da un'unica falda di lunghezza $L=20$ m e larghezza $B=14$ m. Si progetti il sistema di scolo delle acque meteoriche costituito da una grondaia a sezione rettangolare posizionata in corrispondenza di uno dei due lati L dell'edificio e da 2 pluviali (vedi figura 3) assumendo un evento di precipitazione di durata 5 minuti e una curva di possibilità climatica $h = at^n$ essendo $a=52$ [mm/oraⁿ] e $n=0.47$. Si assuma un coefficiente di deflusso $\varphi=1$ e un coefficiente di scabrezza di Strickler della grondaia $K_s=70$ m^{1/3}/s. Giustificare se si adotta o meno una pendenza nulla del fondo della grondaia e calcolare il minimo e massimo tirante idrico nella grondaia in funzione della scelta progettuale effettuata.

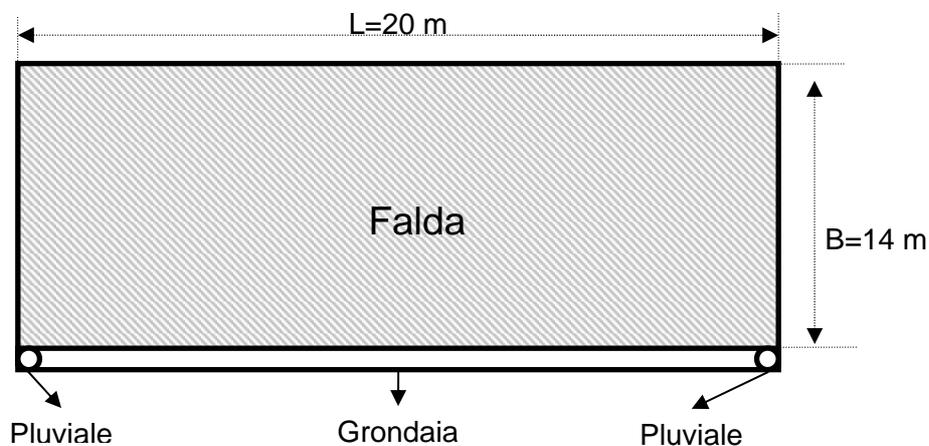


Figura 3. Pianta della copertura e posizione della grondaia e dei pluviali.

Domande (punti 3 ciascuna)

1. Le curve caratteristiche delle pompe: illustrare il motivo per cui il legame h_u-Q presenta generalmente un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.
2. Che cos'è la cavitazione? Quale è l'accorgimento che bisogna adottare per evitare tale fenomeno?
3. Si definiscano e si descrivano accuratamente il rendimento idraulico, volumetrico, organico e totale di una turbopompa.
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. Disegnare e descrivere gli schemi di ventilazione degli impianti di scarico delle acque nere negli edifici.

Esercizio n°1

Parte A)

La curva caratteristica delle pompe P₁, P₂, P₃ e P₄, 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.

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

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

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

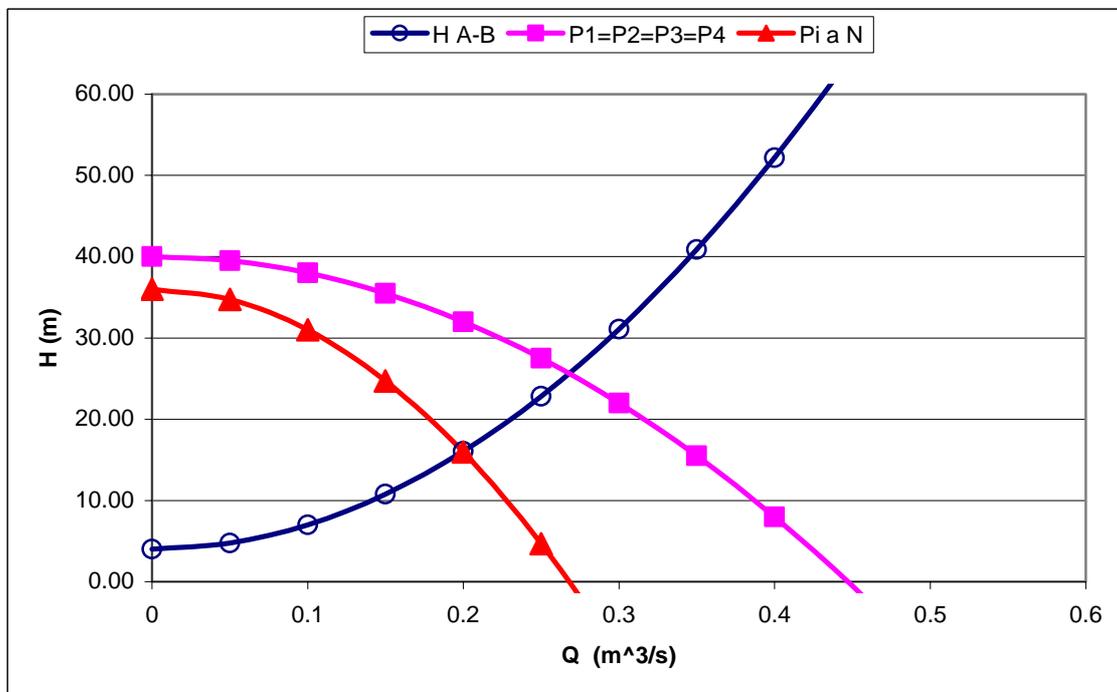
L'equazione della curva dell'impianto relativo al tratto BC è definita da:

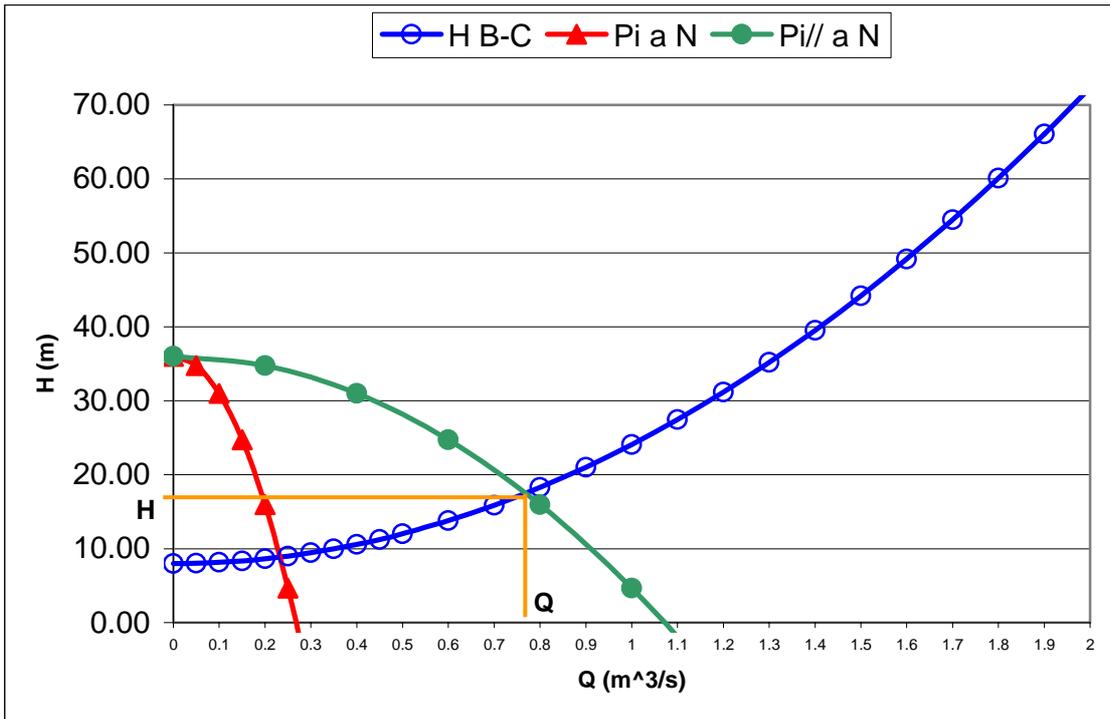
$$H_{BC} = z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4} \right)^2} Q^2 \quad (5)$$

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

$$\frac{Q^2}{16} = \frac{r - z_B + z_A - \left(z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4} \right)^2} \right)}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2}}$$

Da cui si ottiene che la portata sollevata dall'impianto di pompaggio a C è pari a 0.77 m³/s.





Parte B)

L'equazione della curva caratteristica delle pompe P_1 , P_2 , P_3 e P_4 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 per la soluzione A), 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 quattro pompe si ottiene quindi che:

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

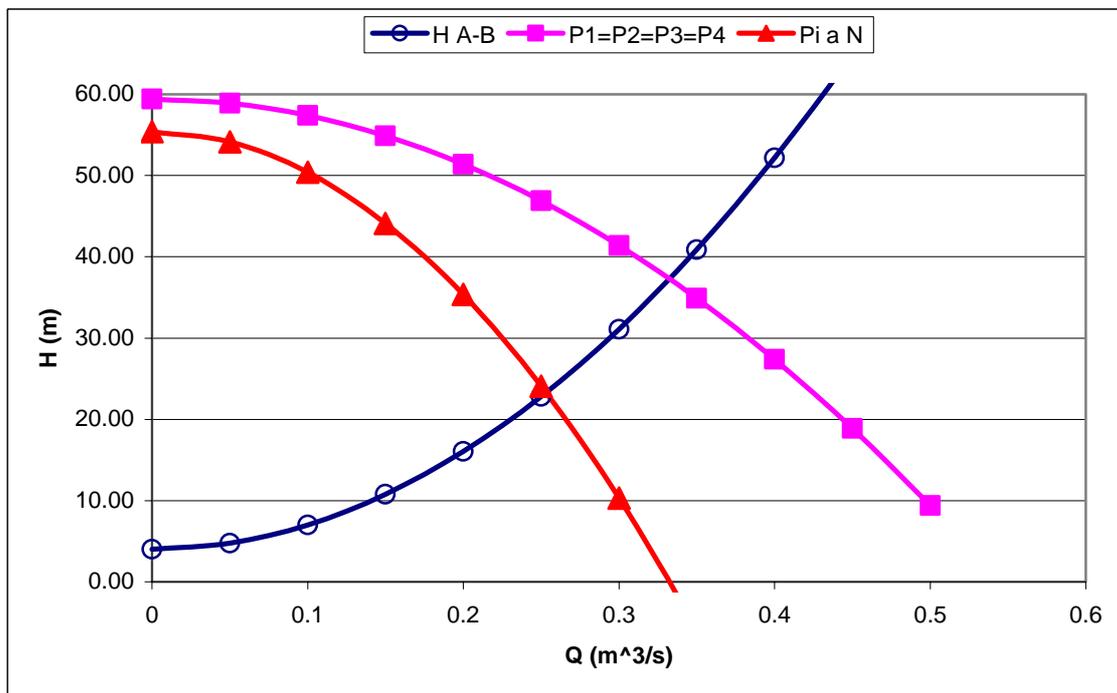
Mettendo a sistema l'equazione (8) con l'equazione (5), si ottiene:

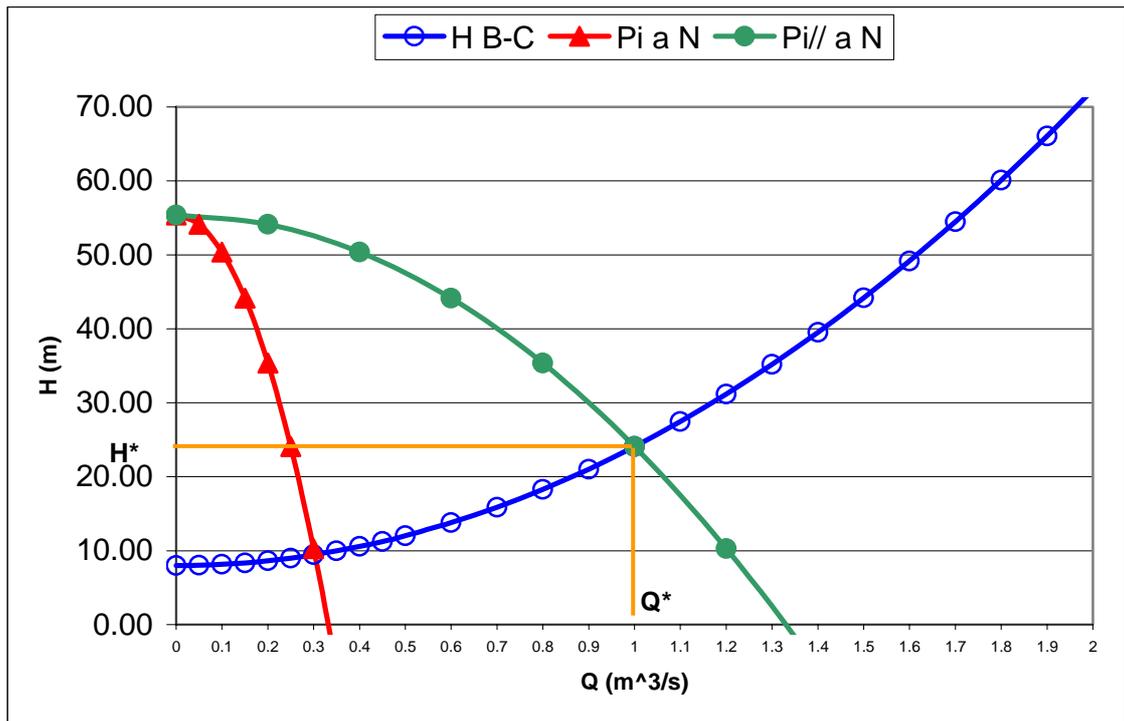
$$\frac{Q^2}{16} = \frac{r \left(\frac{n^*}{n} \right)^2 - z_B + z_A - \left(z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4} \right)^2} Q^2 \right)}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2}} \quad (9)$$

da cui:

$$n^* = n \sqrt{\frac{z_B - z_A + \left(z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left(\frac{\pi D_{BC}^2}{4} \right)^2} Q^2 \right) + \frac{Q^2}{16} \left(s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2} \right)}{r}}$$

Fissato un valore della portata pari a 1 m³/s, l'unica incognita è n* che assume un valore pari a 1060 giri/min.





Esercizio n°2

Costanti:				D.I. (q)		Coeff. Affl. Nera			Kh		Kmin		φ imp		φ perm		a			n							
				350		l/ab*di			0.85		1.5		0.67		0.8		0.1		51			0.48					
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	2700	13.95	7.33	2.0	2	40	500	0.6	0.4	70	1.25	353	5	6.67	9.45	133.4	0.38	281.6	295.5	0.836	0.7	1.12	1.40	0.0207	0.10	0.4	0.501
2	2500	26.86	14.11	2.0	4.0	50	400	0.8	0.3	70	1.31	659	5	11.75	12.83	113.7	0.42	524.4	551.3	0.836	0.7	1.12	1.47	0.0214	0.10	0.4	0.524

Esercizio n°3

Si determina la Q scolante relativa all'intera falda:

$$Q_{falda} = \varphi i A = 15.09 l / s$$

essendo:

$$\begin{cases} \varphi = 1 \\ t_p = 5 \text{ min} \\ i = a t_p^{n-1} = 194.07 \text{ mm} / h \\ A = L \times B = 280 \text{ m}^2 \end{cases}$$

Si assume di posizionare due pluviali nella sezione finale, che dovranno quindi smaltire una portata pari a:

$$Q_{pl} = \frac{Q_{falda}}{N^{\circ}_{pluviali}} = 7.547 l / s$$

Si assume una grondaia di sezione rettangolare avente le seguenti dimensioni:

$$\begin{cases} b = 20 \text{ cm} \\ h = 20 \text{ cm} \end{cases}$$

Nella sezione di valle la corrente defluisce con un'altezza critica y_c pari a:

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = 0.0526 \text{ m} \rightarrow 5.26 \text{ cm}$$

Nell'ipotesi di pendenza nulla ($i=0$) e perdite trascurabili, oppure di $i=j$, l'altezza della corrente di monte (y_m) assume un valore pari a:

$$y_m = \sqrt{3} y_c = 0.091 \text{ m} \rightarrow 9.1 \text{ cm}$$

Il valore della pendenza media calcolata tenendo conto delle perdite di carico in corrispondenza della y_m , è dato da:

$$J_{medio} = 0.85 \frac{g}{k_s^2 y_c^3} = 0.004543 \text{ m}$$

Le perdite di carico sono quindi:

$$\Delta H = \frac{J_{medio} L}{2} = 0.04543 \text{ m} \rightarrow 4.543 \text{ cm}$$

Quindi essendo:

$$\Delta H = 4.543 \text{ cm} > 0.23 y_c = 1.21 \text{ cm}$$

Assumendo una pendenza nulla, il tirante sarebbe:

$$Y_m = y_m + \Delta H = 13.65 \text{ cm}$$

Dimensionamento del pluviale

Si assume un pluviale di diametro pari a 0.15 m e a fronte di tale valore si verifica il funzionamento del pluviale sia a soglia sfiorante che sottobattente.

1. Funzionamento a soglia sfiorante

$$Q = C_q y_c \pi D \sqrt{2gy_c} = 8.81l/s > 7.547l/s$$

con C_q pari a 0.35.

2. Funzionamento sottobattente

$$Q = C_q A \sqrt{2gy_c} = 10.77l/s > 7.547l/s$$

con C_q pari a 0.6.

Dal momento che entrambe le condizioni sono verificate, il diametro del pluviale ipotizzato pari a 0.15 m è corretto.