

Esercizio n°1 (punti 6)

Si consideri l'impianto di figura 1 costituito da una pompa in spinta che collega il serbatoio A posto alla quota di 18 m al serbatoio B posto alla quota di 7 m.

La tubazione di chiamata ha un diametro di 400 mm, una lunghezza di 200 m e vi sono una valvola e 1 gomito a 45°; la tubazione di mandata ha un diametro di 400 mm ed una lunghezza di 1200 m e vi sono 2 gomiti a 45° (per i coefficienti di perdita di carico concentrata vv. Tabella 1). Per il calcolo delle perdite di carico si consideri un coefficiente di Bazin $\gamma_B = 0.13 \text{ m}^{1/2}$.

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

La curva caratteristica della pompa a $n_1=870$ giri/min è rappresentata dall'equazione $H=r-sQ^2$ con $r=25$ m e $s=100 \text{ s}^2/\text{m}^5$ ed i rendimenti sono riportati in Tabella 2.

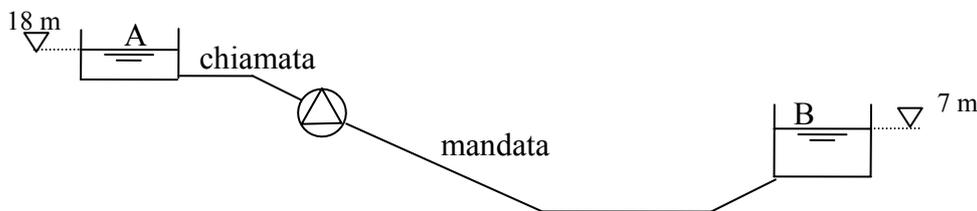


Figura 1. Schema dell'impianto

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 45°	0.2
Valvola	2.5

Tabella 2. Rendimenti della pompa funzionante a $n_1=870$ giri/min

Q [m ³ /s]	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45
η %	0.6	0.65	0.68	0.7	0.71	0.71	0.705	0.69	0.67

Si calcoli

- la portata defluente dal serbatoio A al serbatoio B in assenza della pompa;
- il numero di giri n_2 a cui dovrebbe essere fatta funzionare la pompa al fine di far defluire dal serbatoio A al serbatoio B una portata pari a $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$.
- la variazione di consumo energetico giornaliero per pompare $V=7000 \text{ m}^3$ nel serbatoio B utilizzando la pompa a n_1 giri o utilizzando la pompa a n_2 giri.

Esercizio n°2 (punti 4)

Un collettore di fognatura bianca del diametro di 0.7 m, lunghezza 500 m, pendenza 0.5% e scabrezza $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ è al servizio di un'area in via di sviluppo di 3 ha attualmente urbanizzata per il 53% della sua superficie.

Il dimensionamento del collettore è stato effettuato assumendo un tempo di ritorno T di 5 anni (i parametri della curva di possibilità climatica $h = a\theta^n$ sono riportati in Tabella 1) e sovradimensionando il diametro al fine di consentirne l'utilizzo anche a fronte di un incremento della superficie urbanizzata.

a) Valutare di quanto potrebbe essere incrementata la percentuale di superficie urbanizzata garantendo il funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale per un tempo di ritorno di 5 anni.

b) Con un tempo di ritorno di 10 anni quale sarebbe la percentuale di superficie urbanizzata che comporterebbe il funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale?

(Si assuma un coefficiente di afflusso per le aree non urbanizzate $\varphi_{PERM}= 0.1$ e per le aree urbanizzate $\varphi_{IMP}= 0.8$.)

Tabella 1. Parametri della curva di possibilità climatica.

T [anni]	5	10
a [mm/ora ⁿ]	46	54
n	0.58	0.61

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)

Si consideri un tratto di carreggiata lungo 50 m, largo 8 m, asfaltato (coefficiente di afflusso $\phi=1$, coefficiente di scabrezza di Strickler $K=66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). La pendenza longitudinale è $S_0=0.9\%$ e la pendenza trasversale è $S_x=1.2\%$ (vedi figura 1).

Lungo un lato della carreggiata sono posizionate in una cunetta a sezione triangolare (vedi figura 2), caditoie a grata tipo P-50 di larghezza $W=0.4 \text{ m}$ e lunghezza $L=0.4 \text{ m}$.

Calcolare l'interasse a cui dovrebbero essere posizionate le caditoie affinché a fronte di una precipitazione di intensità 70 mm/h , l'allagamento T della sede stradale sia inferiore a 1 m .

N.B. Si calcoli la portata intercettata e by-passata dalle caditoie e si disegni l'andamento dell'area allagata in funzione della progressiva e si commenti il risultato.

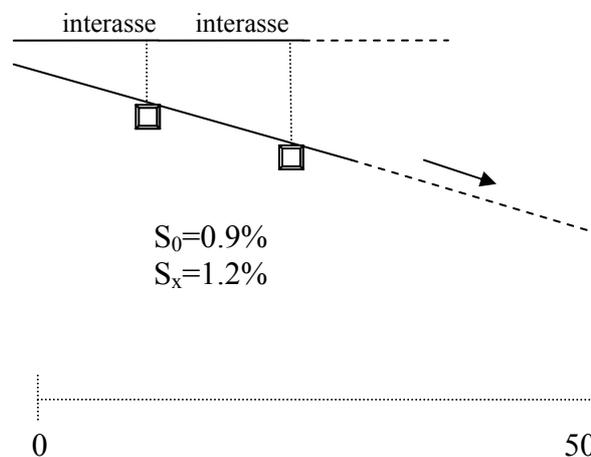


Figura 1. Sezione longitudinale della sede stradale

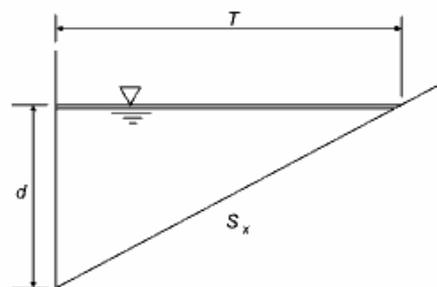


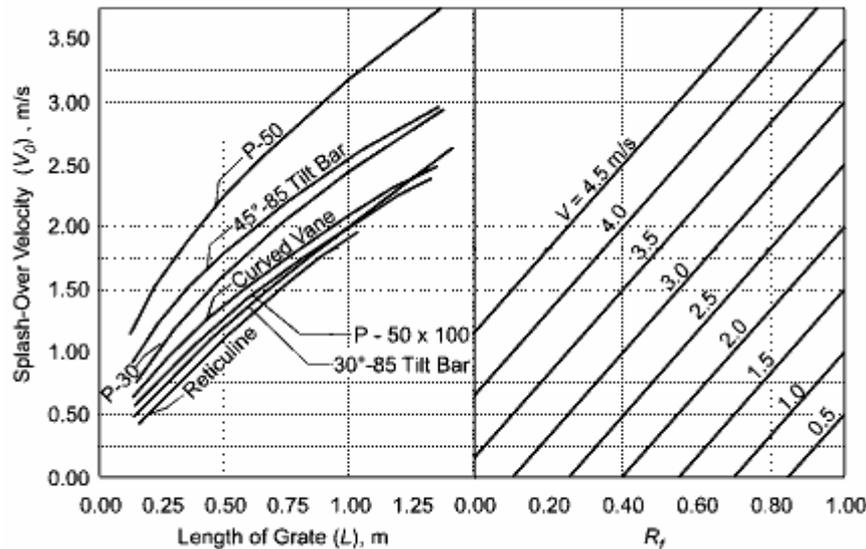
Figura 2. Sezione trasversale della cunetta.

Equazioni:

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

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}; \quad Q_s = Q(1 - E_0);$$

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



Domande (punti 3 ciascuna)

1. Fissate le ipotesi di calcolo di una turbomacchina:
 - a. disegnare i triangoli di velocità all'ingresso e all'uscita di una pompa centrifuga;
 - b. ricavare l'equazione di Eulero in condizioni di progetto, descrivendo i singoli passaggi.
2. Funzionamento in serie ed in parallelo di due turbopompe:
 - a. Si consideri un impianto di sollevamento costituito da due turbopompe aventi diverse curve caratteristiche e funzionanti *in serie*. Descrivere ed illustrare graficamente come si ricava il punto di funzionamento dell'impianto e di ciascuna pompa;
 - b. Si consideri un impianto di sollevamento costituito da due turbopompe aventi diverse curve caratteristiche e funzionanti *in parallelo*. Descrivere ed illustrare graficamente come si ricava il punto di funzionamento dell'impianto e di ciascuna pompa;

Illustrare in base a quali criteri si sceglie di operare secondo una delle due soluzioni sopra indicate.
3. Coefficiente ARF:
 - a. specificare a quale scopo viene utilizzato;
 - b. qual'è il suo andamento rispetto all'area del bacino A e alla durata di precipitazione θ .
 - c. come si definisce l'altezza di pioggia areale?
4. Illustrare i passi relativi al corretto dimensionamento di un pluviale.
5. Che cosa si intende per sistemi di ventilazione parallela diretta? In quale circostanza questi sistemi possono essere impiegati? Fornire uno schema di un impianto di ventilazione parallela diretta.

Esercizio n°1

Per definire la portata defluente dal serbatoio A al serbatoio B in assenza della pompa, è necessario considerare l'equazione del moto per condotte in pressione:

$$z_A - z_B = kQ^2$$

Nello specifico:

$$z_A: 18 \text{ m};$$

$$z_B: 7 \text{ m};$$

$$k = k_{chiam} + k_{mand} = 248 s^2 m^{-5} \quad \text{Coefficiente perdite di carico}$$

essendo:

$$k_{chiam} = k_{c,d} + k_{c,c} = \frac{\beta_c \cdot L_c}{D_c^5} + \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{2 \cdot g \cdot \left(\frac{\pi D_c^2}{4}\right)^2} = 43.65 s^2 m^{-5}$$

$$k_{mand} = k_{m,d} + k_{m,c} = \frac{\beta_m \cdot L_m}{D_m^5} + \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{2 \cdot g \cdot \left(\frac{\pi D_m^2}{4}\right)^2} = 204.44 s^2 m^{-5}$$

$$\beta_c = \beta_m = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D_c}}\right)^2 = 0.001706 \quad \text{con } \gamma_B = 0.13 m^{1/2}$$

Quindi si ottiene che:

$$Q = \sqrt{\frac{z_A - z_B}{k}} = 0.2105 m^3 s^{-1}$$

Per definire invece la portata defluente dal serbatoio A al serbatoio B in presenza della pompa avente numero di giri n_1 pari a 870 giri/min, si considerano le seguenti equazioni:

$$- \text{Equazione della curva caratteristica dell'impianto} \quad H = H_g + kQ^2$$

$$- \text{Equazione della curva caratteristica della pompa} \quad H = r - sQ^2$$

Ponendole a sistema, si ottiene che:

$$\begin{cases} H = H_g + kQ^2 \\ H = r - sQ^2 \end{cases} \Rightarrow r - sQ^2 = H_g + kQ^2 \Rightarrow Q = 0.3216 m^3 s^{-1}$$

Da cui si ottiene che:

$$H = 25 - 100Q^2 = 14.66m$$

Dalla tabella 2 (vedi testo compito) è possibile inoltre ricavare il valore del rendimento:

$$\eta = 70.7\%$$

quindi il valore della potenza assorbita:

$$Pa = \frac{\rho QH}{\eta} = 65.3kW$$

Nell'ipotesi che la pompa sollevi una portata Q_B pari a $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, l'impianto consente di ottenere una prevalenza pari a:

$$H_B = (z_B - z_A) + kQ_B^2 = 28.7m$$

Ad $n_1 = 870$ giri/min la pompa, trattando una portata Q_B pari a $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, fornisce una prevalenza pari a:

$$H_B = r - sQ_B^2 = 25 - 100(0.4)^2 = 9m$$

È necessario quindi individuare il valore di n_2 affinché la pompa, sollevando una portata Q_B di $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, sia in grado di fornire una prevalenza pari a H_B pari a 28.7 m .

Si applica quindi il principio di similitudine fluidodinamica per individuare, sulla curva della pompa ad 870 giri/min, il punto A idraulicamente equivalente a B.

$$\begin{cases} \frac{H_A}{H_B} = \left(\frac{Q_A}{Q_B}\right)^2 \Rightarrow H_A = \left(\frac{Q_A}{Q_B}\right)^2 H_B \Rightarrow \left(\frac{Q_A}{Q_B}\right)^2 H_B = r - sQ^2 \Rightarrow Q_A = 0.299m^3s^{-1} \\ H = r - sQ^2 \end{cases}$$

Dalla seconda equazione del sistema, nota la portata si ottiene che:

$$H_A = 16.05 \text{ m.}$$

Quindi:

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{Q_A}{Q_B} \Rightarrow n_A = \frac{Q_A}{Q_B} n_B = 1163.4 \text{ giri / min}$$

In definitiva il punto di funzionamento della pompa ad $n_2 = 1163.4$ giri/min è così definito:

$$\begin{cases} Q = 0.4 \text{ m}^3/\text{s} \\ H = 28.7m \end{cases} \Rightarrow \text{dalla nuova curva del rendimento } \eta = 71\%$$

Quindi la potenza assorbita in questo caso vale:

$$Pa = \frac{\gamma QH}{\eta} = 158.64kW$$

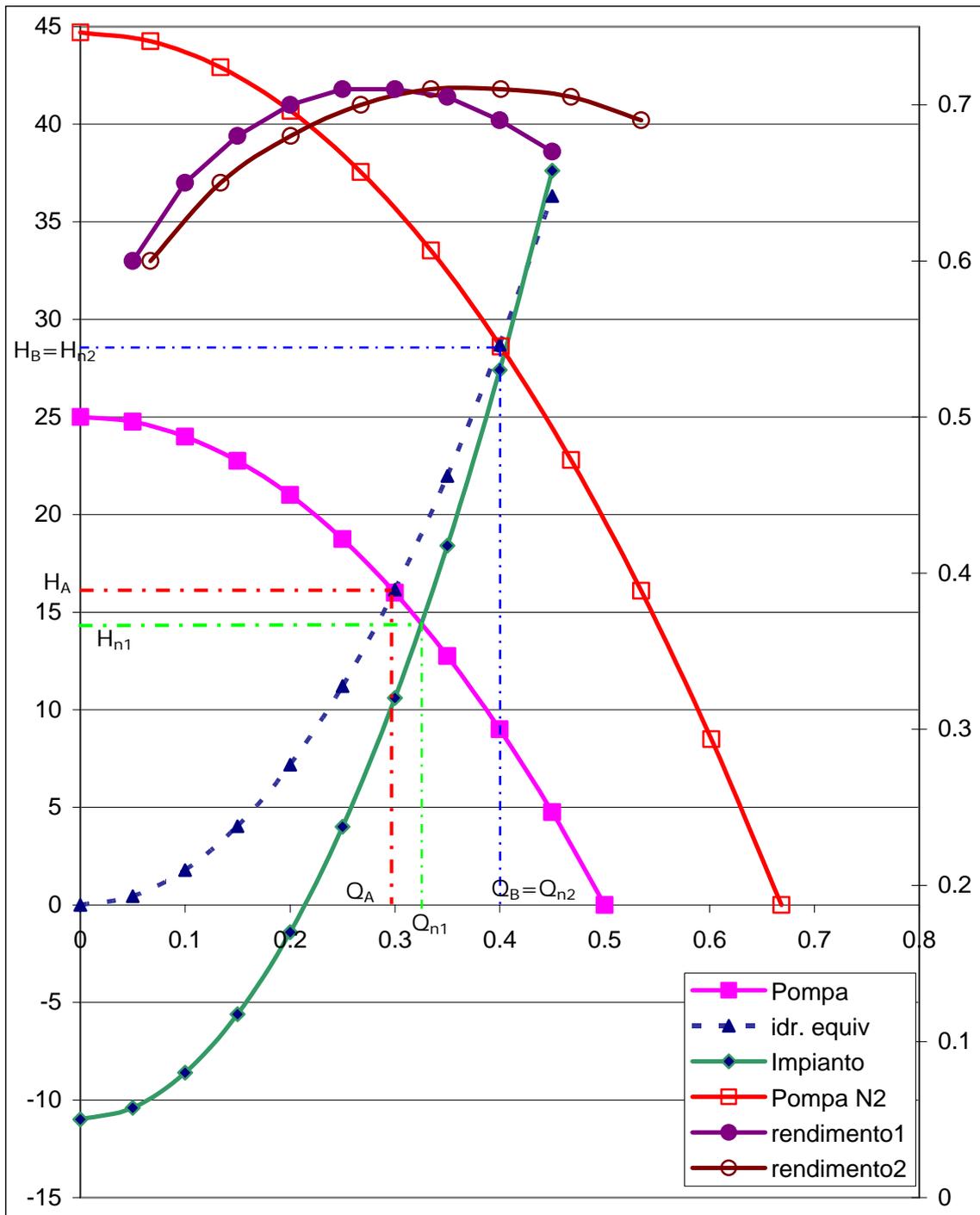
La variazione di consumo energetico giornaliero per pompare un volume di 7000 m³ nel serbatoio B, è pari a:

– pompa ad $n_1=870$ giri/min:

$$N_{ore} = \frac{V}{Q} = \frac{7000}{0.321 \cdot 3600} = 6.05ore \rightarrow Pa_{die} = Pa \cdot N_{ore} = 396kWh/die$$

– pompa ad $n_2=1163.4$ giri/min:

$$N_{ore} = \frac{V}{Q} = \frac{7000}{0.4 \cdot 3600} = 4.86ore \rightarrow Pa_{die} = Pa \cdot N_{ore} = 771kWh/die$$



Esercizio n°2

a) Valutare di quanto potrebbe essere incrementata la percentuale di superficie urbanizzata garantendo il funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale per un tempo di ritorno di 5 anni.

Nell'ipotesi di grado di riempimento ottimale:

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

Quindi si calcola il valore della portata a sezione piena:

$$Q_p = v_p A = 596 l / s$$

essendo:

v_p la velocità a sezione piena così definita:

$$v_p = k_s \left(\frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} = 1.55 m / s$$

Quindi il valore della portata critica è pari a:

$$Q_{\max} = Q_{cr} = 0.837 \cdot 596 = 498.8 l / s$$

Il valore dell'intensità di precipitazione critica vale:

$$i_{cr} = a_{5anni} (t_{cr})^{n_{5anni}-1} = 104.1 mm / h$$

essendo t_{cr} così definito:

$$t_{cr} = t_a + \frac{t_r}{1.5} = 5 + \frac{L}{v_p \cdot 1.5} = 8.58 \text{ min}$$

Quindi è possibile ricavare il valore di φ :

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

Dalla definizione del coefficiente φ :

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

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

$$IMP = \frac{\varphi - \varphi_{perm}}{\varphi_{imp} - \varphi_{perm}} \cdot 100 = 67.9\%$$

b) Con un tempo di ritorno di 10 anni quale sarebbe la percentuale di superficie urbanizzata che comporterebbe il funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale?

Analogamente a quanto visto al punto a):

$$Q_p = v_p A = 596 l / s$$

$$v_p = k_s \left(\frac{D}{4} \right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} = 1.55 m / s$$

$$Q_{\max} = Q_{cr} = 498.8 l / s$$

$$t_{cr} = t_a + \frac{t_r}{1.5} = 5 + \frac{L}{v_p \cdot 1.5} = 8.58 \text{ min}$$

$$i_{cr} = a_{10\text{anni}} (t_{cr})^{n_{10\text{anni}}-1} = 115.24 \text{ mm} / h$$

$$\varphi = \frac{Q_{cr}}{iA} = 0.52$$

$$IMP = \frac{\varphi - \varphi_{perm}}{\varphi_{imp} - \varphi_{perm}} \cdot 100 = 59.9\%$$

Esercizio n°3

1° LIVELLETTA

Sede stradale	ip	70 mm/h	ϕ	1
So	0.9 %	Caditoia P-50		
Sx	1.2 %	Lungh	0.4 m	
Lungh	50 m	Largh W	0.4 m	
Largh	8 m			
Ks	66 m ^{1/3} s ⁻¹	V Sp.Over	2 m/s	
T	1 m			

Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0.0002 m³/s 0.156 l/s

Portata massima che può defluire in cunetta

Qmax 0.0015 m³/s 1.481 l/s $Q=0.376 \cdot K_s \cdot T^{8/3} \cdot S_x^{5/3} \cdot S_o^{1/2}$

Interasse massimo senza by-passato

Inter max 9.52 m

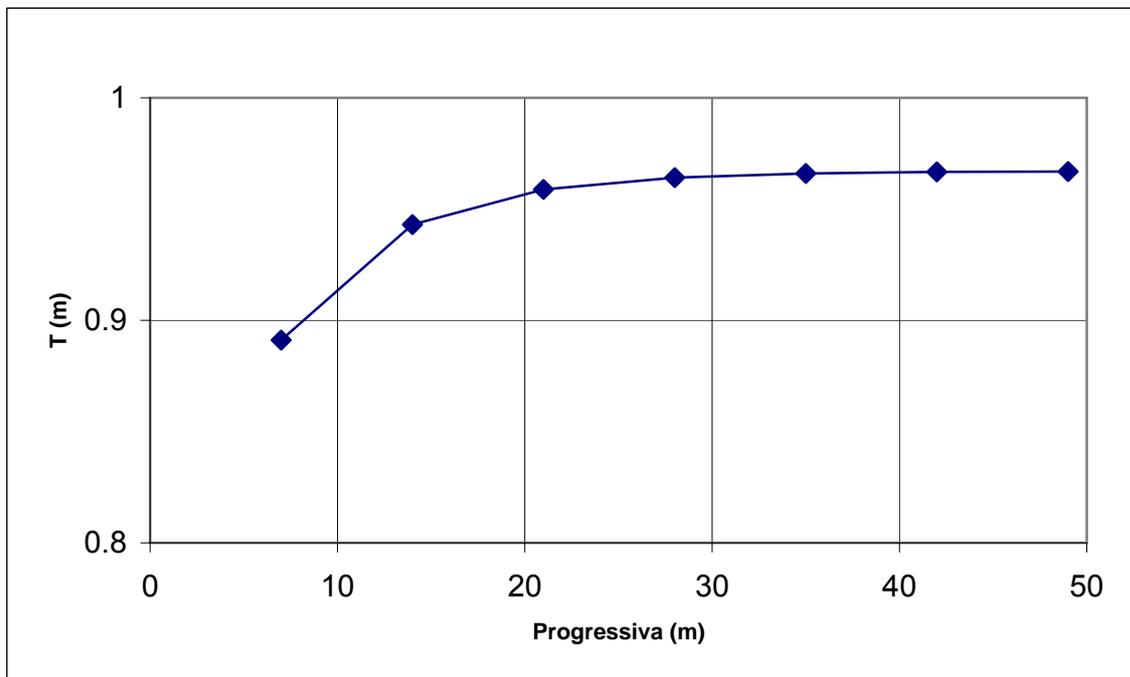
Interasse 7 m

Portata per tratto

Qt 0.0011 m³/s 1.089 l/s < Qmax

Riassunto

Caditoia Progr	T
1 7	0.89
2 14	0.94
3 21	0.96
4 28	0.96
5 35	0.97
6 42	0.97
7 49	0.97



Calcolo delle portate intercettate e by-passate dalle singole caditoie

1° LIVELLETTA

Caditoia	1	Progressiva	7		
Q	0.0011 m ³ /s	1.089 l/s	<Qmax=	1.481	l/s
T	0.8911 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0.7962		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0.0009 m ³ /s		Qw=Eo*Q		
Qs	0.0002 m ³ /s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0.0048 m ²	d2	0.011	m	
V	0.2285 m/s	Da grafico	Rf=1	--> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0.2007				
Qint	0.0009 m ³ /s	0.912	l/s		
Qb	0.0002 m ³ /s	0.177	l/s		

Caditoia	2	Progressiva	14		
Q	0.0013 m ³ /s	1.266 l/s	<Qmax=	1.481	l/s
T	0.943 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0.7709		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0.001 m ³ /s		Qw=Eo*Q		
Qs	0.0003 m ³ /s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0.0053 m ²	d2	0.011	m	
V	0.2373 m/s	Da grafico	Rf=1	--> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0.19				
Qint	0.001 m ³ /s	1.031	l/s		
Qb	0.0002 m ³ /s	0.235	l/s		

Caditoia	3	Progressiva	21		
Q	0.0013 m ³ /s	1.324 l/s	<Qmax=	1.481	l/s
T	0.9589 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0.7634		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0.001 m ³ /s		Qw=Eo*Q		
Qs	0.0003 m ³ /s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0.0055 m ²	d2	0.012	m	
V	0.24 m/s	Da grafico	Rf=1	--> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0.1869				
Qint	0.0011 m ³ /s	1.069	l/s		
Qb	0.0003 m ³ /s	0.255	l/s		

Caditoia	4	Progressiva	28		
Q	0.0013 m ³ /s	1.344 l/s	<Qmax=	1.481	l/s
T	0.9642 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0.7609		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0.001 m ³ /s		Qw=Eo*Q		
Qs	0.0003 m ³ /s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0.0056 m ²	d2	0.012	m	
V	0.2409 m/s	Da grafico	Rf=1	--> portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0.1859				
Qint	0.0011 m ³ /s	1.082	l/s		
Qb	0.0003 m ³ /s	0.262	l/s		

Caditoia	5	Progressiva	35	
Q	0.0014 m3/s	1.350 l/s	<Qmax=	1.481 l/s
T	0.966 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^5/3*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0.76		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.001 m3/s		Qw=Eo*Q	
Qs	0.0003 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0056 m2	d2	0.012 m	
V	0.2412 m/s	Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata		
Rf	1			
Rs	0.1856			
Qint	0.0011 m3/s	1.086 l/s		
Qb	0.0003 m3/s	0.264 l/s		

Caditoia	6	Progressiva	42	
Q	0.0014 m3/s	1.353 l/s	<Qmax=	1.481 l/s
T	0.9667 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^5/3*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0.7597		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.001 m3/s		Qw=Eo*Q	
Qs	0.0003 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0056 m2	d2	0.012 m	
V	0.2413 m/s	Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata		
Rf	1			
Rs	0.1855			
Qint	0.0011 m3/s	1.088 l/s		
Qb	0.0003 m3/s	0.265 l/s		

Caditoia	7	Progressiva	49	
Q	0.0014 m3/s	1.354 l/s	<Qmax=	1.481 l/s
T	0.9669 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^5/3*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0.7596		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.001 m3/s		Qw=Eo*Q	
Qs	0.0003 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0056 m2	d2	0.012 m	
V	0.2413 m/s	Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata		
Rf	1			
Rs	0.1854			
Qint	0.0011 m3/s	1.089 l/s		
Qb	0.0003 m3/s	0.265 l/s		