

Esercizio n°1 (punti 5)

L'impianto di sollevamento riportato in figura è costituito da due pompe poste in parallelo. Il serbatoio A ed il serbatoio B sono posti rispettivamente alle quote di 21 m e 26 m e le perdite di carico del sistema possono essere approssimate dalla relazione:

$$\Delta H = \gamma \cdot Q^2$$

con $\gamma = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}/(\text{l/s})^2$ essendo ΔH in m, e Q in l/s.

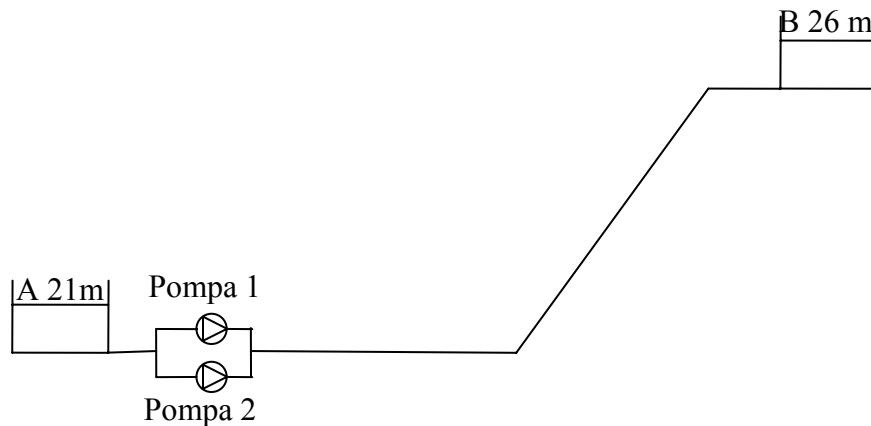
La pompa 1 opera ad un numero di giri fissato pari a $n_1=1170$ giri/min. La pompa 2 opera ad un numero di giri n_2^* variabile. Determinare il numero di giri n_2^* tale per cui la portata sollevata dall'impianto al serbatoio B è pari a $Q=170 \text{ l/s}$.

Variando il numero di giri della pompa 2 cambia la portata sollevata dalla pompa 1 e se si come?

Le curve caratteristiche delle due pompe sono rappresentate dalle equazioni:

Pompa 1: $H = r_1 - s_1 \cdot Q^2$ con $r_1=35 \text{ m}$, $s_1=0.0015 \text{ m}/(\text{l/s})^2$ a $n_1=1170$ giri/min

Pompa 2: $H = r_2 - s_2 \cdot Q^2$ con $r_2=28 \text{ m}$, $s_2=0.002 \text{ m}/(\text{l/s})^2$ a $n_2=1170$ giri/min



Esercizio n°2 (punti 4)

Ad una stazione pluviometrica sono state registrate le seguenti altezze di pioggia massime annuali (mm) per le durate di 15, 30, 45 e 60 minuti:

Anno	Durate			
	15'	30'	45'	60'
1955		34.02		56.70
1956				20.79
1957			31.92	32.97
1958		36.75		58.80
1959	14.91			24.15
1960	14.07			26.88
1961				25.83
1962	8.19			12.60
1967	19.95	22.05	31.08	37.70
1968	20.58	24.57	27.72	31.92
1969	21.63	32.34	37.80	49.14
1970	30.03	33.18		34.44
1971	23.10	28.98	32.34	36.75
1972	10.50	16.59	23.52	30.45
1973	14.91	16.17	16.59	17.43
1985	10.92	13.44	22.26	22.26
1986	21.00	27.51	31.71	38.33
1987	35.70			38.85
1989	13.65	24.15	42.00	43.47
1990	28.77	37.38	37.59	38.01
1994	26.25	42.00	57.75	65.10

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 10 anni;
- l'intensità (mm/h) di una precipitazione di durata 50 minuti con tempo di ritorno di 10 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

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

(N.B. Costruire la curva di possibilità climatica in modo da avere le altezze di pioggia in mm e le durate in ore)

Esercizio n°3 (punti 6)

La pendenza longitudinale di un tratto di carreggiata è $S_0=0.8\%$ per i primi 50 metri (dalla progressiva 0 fino alla progressiva 50) e $S_0=1\%$ per i successivi 35 metri (dalla progressiva 50 fino alla progressiva 85). La pendenza trasversale è $S_x=1.5\%$ nella prima livelletta e $S_x=1.8\%$ nella seconda livelletta (vedi figura 1).

La carreggiata è larga 12 m, asfaltata (coefficiente di afflusso $\phi=1$, coefficiente di scabrezza di Strickler $K=66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) e vi sono posizionate, in una cunetta a sezione triangolare (vedi figura 2), caditoie a grata tipo “reticuline” di larghezza $W=0.5 \text{ m}$ e lunghezza $L=0.75 \text{ m}$ ad interasse di 12 m. Verificare se a fronte di una precipitazione di intensità 110 mm/h , l'allagamento T della sede stradale è inferiore a 1.5 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. Come influiscono la pendenza longitudinale S_0 e trasversale S_x sull'allagamento T della sede stradale e quindi sull'interasse a cui devono essere posizionate le caditoie?

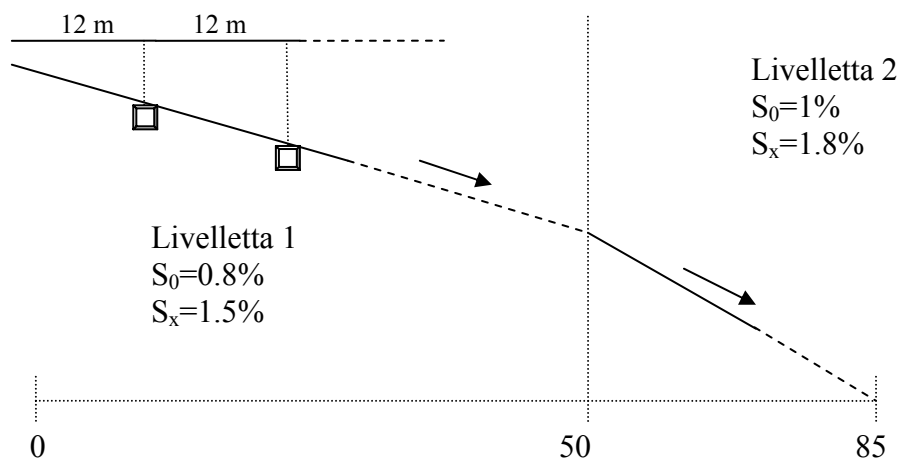


Figura 1. Sezione longitudinale della sede stradale

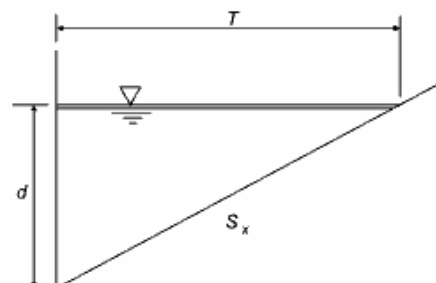


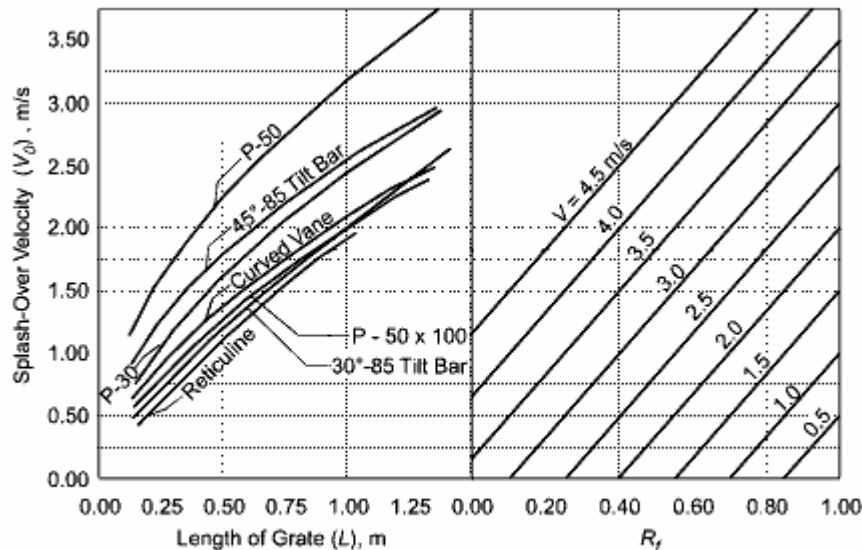
Figura 2. Sezione trasversale della cunetta.

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, disegnare i triangoli di velocità all'ingresso e all'uscita di una pompa centrifuga e ricavare l'equazione di Eulero in condizioni di progetto. (N.B. descrivere i singoli passaggi).

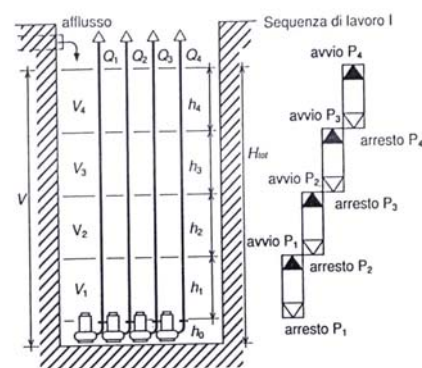
2. Si consideri il bacino di pescaggio di 4 pompe la cui sequenza di avvio è riportata nella figura a lato.

Si dimostri la relazione:

$$V_k = T_{C_k} \frac{Q_k}{4}$$

dove:

- V_k - volume associato alla k-ma pompa;
- T_{C_k} - tempo di ciclo della k-ma pompa;
- Q_k - portata sollevata dalla k-ma pompa.



3. Coefficiente ARF: specificare a quale scopo viene utilizzato, qual'è il suo andamento rispetto all'area del bacino A e alla durata di precipitazione θ . Come si definisce l'altezza di pioggia areale?

4. Dopo aver descritto la scala di deflusso relativa ad una sezione chiusa, indicare quale grado di riempimento deve essere garantito in corrispondenza della portata di progetto (Q_{prog}).

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

Soluzione 1

Si considerino le equazioni delle curve caratteristiche delle due pompe a $n_1 = n_2 = 1170 \text{ giri/min}$:

$$\text{Pompa 1: } H = r_1 - s_1 \cdot Q^2 \quad (1)$$

$$\text{Pompa 2: } H = r_2 - s_2 \cdot Q^2 \quad (2)$$

La pompa 1 opera ad $n_1 = 1170 \text{ giri/min}$, mentre la pompa 2 opera ad un numero di giri variabile n_2^* .

Con riferimento alla pompa 2, applicando il principio della similitudine fluidodinamica si ottiene:

$$\begin{cases} \frac{H_2}{H_2^*} = \left(\frac{n_2}{n_2^*} \right)^2 \\ \frac{Q_2}{Q_2^*} = \frac{n_2}{n_2^*} \end{cases} \quad (3)$$

Sostituendo le relazioni (3) nell'equazione (2), e semplificando si ottiene l'equazione della curva caratteristica della pompa 2 a n_2^* :

$$H_2^* \cdot \left(\frac{n_2}{n_2^*} \right)^2 = r_2 - s_2 \cdot Q_2^{*2} \cdot \left(\frac{n_2}{n_2^*} \right)^2 \quad (4)$$

$$H = \left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 r_2 - s_2 \cdot Q^2 \quad (5)$$

Esplicitando la portata nelle equazioni (1) e (5), si ottiene rispettivamente:

$$Q = \sqrt{\frac{r_1 - H}{s_1}} \quad (6)$$

$$Q = \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2} \right)^2 \cdot r_2 - H}{s_2}} \quad (7)$$

Dal momento che le due pompe operano in parallelo la portata sollevata al serbatoio è:

$$Q = \sqrt{\frac{r_1 - H}{s_1}} + \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2}\right)^2 \cdot r_2 - H}{s_2}} \quad (8)$$

Mettendo a sistema la relazione appena ottenuta (8) con l'equazione che definisce la curva dell'impianto $H = H_g + \gamma \cdot Q^2$, si ottiene:

$$Q - \sqrt{\frac{r_1 - H_g - \gamma \cdot Q^2}{s_1}} - \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2}\right)^2 \cdot r_2 - H_g - \gamma \cdot Q^2}{s_2}} = 0 \quad (9)$$

Fissato un valore di portata da sollevare Q pari a 170 l/s, l'unica incognita all'interno della relazione (9) è n_2^* , che si otterrà dalla seguente relazione:

$$n_2^* = n_2 \cdot \sqrt{\frac{H_g + \gamma \cdot Q^2 + \left(Q - \sqrt{\frac{r_1 - H_g - \gamma \cdot Q^2}{s_1}}\right)^2 \cdot s_2}{r_2}} \quad (10)$$

Andando a sostituire i dati richiesti si ottiene che il valore di n_2^* è pari a 840.97 giri/min.

Soluzione 2

Prendiamo in considerazione le seguenti equazioni:

- Equazione relativa alla curva d'impianto $\rightarrow H = H_g + \gamma \cdot Q^2$ (11)
- Operando con pompe in parallelo, la portata complessiva sollevata dall'impianto è data dalla seguente relazione $Q = Q_1 + Q_2^*$ (12)

Dove:

Q_1 : portata sollevata dalla pompa 1, che si ottiene dall'equazione della curva caratteristica $H = r_1 - s_1 \cdot Q^2$ (13), a n_1 pari a 1170 giri/min;

Q_2^* : portata sollevata dalla pompa 2 a n_2^* ;

1. Dall'equazione (11), noto il valore della portata Q pari a 170 l/s, si ottiene il valore di H pari a 10,78m.

2. Dalla relazione (13), essendo noto H, si ottiene il valore di Q_1 (= 127,07 l/s).

3. Dalla relazione (12), per differenza, si ricava infine il valore di Q_2^* (= 42,93 l/s).

Si considera il luogo dei punti idraulicamente equivalenti al punto di coordinate (Q_2^*, H) :

$$H_2 = \frac{H}{Q_2^{*2}} Q_2^2 \quad (14)$$

Si procede mettendo a sistema la relazione (14) con l'equazione della curva caratteristica della pompa 2 a n_2 pari a 1170 giri/min, al fine di individuare il punto (Q_2, H_2) idraulicamente equivalente a (Q_2^*, H) :

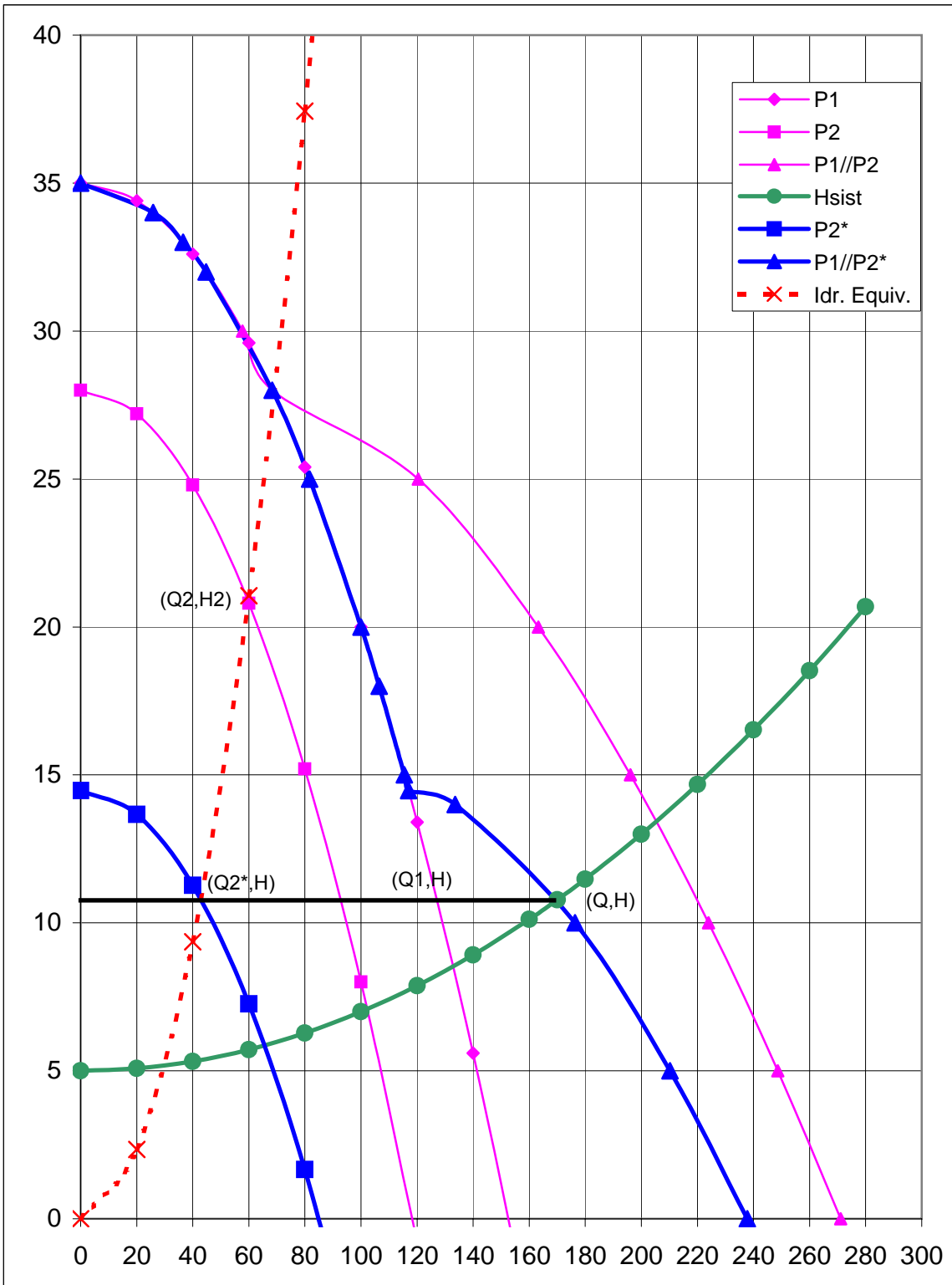
$$\begin{cases} H_2 = \frac{H}{Q_2^{*2}} Q_2^2 \\ H_2 = r_2 - s_2 \cdot Q_2^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{H}{Q_2^{*2}} Q_2^2 = r_2 - s_2 \cdot Q_2^2 \\ Q_2 = \sqrt{\frac{r_2}{\frac{H}{Q_2^{*2}} + s_2}} = 59.71 \text{ l/s} \end{cases} \Rightarrow H_2 = 20.871 \text{ l/s}$$

Applicando poi il principio di similitudine fluidodinamica tra (Q_2^*, H) e (Q_2, H_2) , si ottiene:

$$\frac{Q_2}{Q_2^*} = \frac{n_2}{n_2^*} \Rightarrow n_2^* = n_2 \cdot \frac{Q_2}{Q_2^*} = 840.97 \text{ giri/min}$$

Oppure

$$\frac{H_2}{H} = \left(\frac{n_2}{n_2^*} \right)^2 \Rightarrow n_2^* = n_2 \cdot \sqrt{\frac{H}{H_2}} = 840.97 \text{ giri/min}$$



Esercizio n°2

	15	30	45	60			
		34,02		56,70			
				20,79			
			31,92	32,97			
		36,75		58,80			
	14,91			24,15			
	14,07			26,88			
				25,83			
	8,19			12,60			
	19,95	22,05	31,08	37,70			
	20,58	24,57	27,72	31,92			
	21,63	32,34	37,80	49,14			
	30,03	33,18		34,44			
	23,10	28,98	32,34	36,75			
	10,50	16,59	23,52	30,45			
	14,91	16,17	16,59	17,43			
	10,92	13,44	22,26	22,26			
	21,00	27,51	31,71	38,33			
	35,70			38,85			
	13,65	24,15	42,00	43,47			
	28,77	37,38	37,59	38,01			
	26,25	42,00	57,75	65,10			
Media	19,64	27,80	32,69	35,36			
var	60,93	75,94	113,26	186,73			
u	16,12	23,87	27,90	29,21			
alfa	6,086	6,794	8,298	10,654			
T	10,000	10,000	10,000	10,000			
h	29,818	39,163	46,573	53,186			
t	0,250	0,500	0,750	1,000			
logh	3,395	3,668	3,841	3,974	ymedio	3,719	xymedio
logt	-1,386	-0,693	-0,288	0,000	xmedio	-0,592	n
							-2,201
							4
xiyi	-4,707	-2,542	-1,105	0,000	Sommaxiyi	-8,354	
xi2	1,922	0,480	0,083	0,000	Sommaxi2	2,485	
B=n	0,415						
A	3,965						
a	52,734						
hcalc	29,65	39,54	46,79	52,73			
h50'	48,89 mm	i50'	58,66524 mm/h				

Esercizio n°3

1° LIVELLETTA

Sede stradale		ip	110 mm/h	φ	1
So	0,8 %		Caditoia Reticuline		
Sx	1,5 %	Lungh	0,75 m		
Lungh	50 m	Largh W	0,5 m		
Largh	12 m				
Ks	66 m ^{1/3} s ⁻¹	Interasse	12 m		
T	1,5 m	V Sp.Over	1,5 m/s		

Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0,0004 m³/s 0,367 l/s

Portata massima che può defluire in cunetta

Qmax 0,006 m³/s **5,970** l/s $Q=0.376*Ks*T^{8/3}*Sx^{5/3}*So^{1/2}$

Portata per tratto

Qt 0,0044 m³/s **4,400** l/s <Qmax

2° LIVELLETTA

Sede stradale		ip	110 mm/h	φ	1
So	1 %		Caditoia Reticuline		
Sx	1,8 %	Lungh	0,75 m		
Lungh	35 m	Largh W	0,5 m		
Largh	12 m				
Ks	66 m ^{1/3} s ⁻¹	Interasse	12 m		
T	1,5 m	V Sp.Over	1,5 m/s		

Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0,0004 m³/s 0,367 l/s

Portata massima che può defluire in cunetta

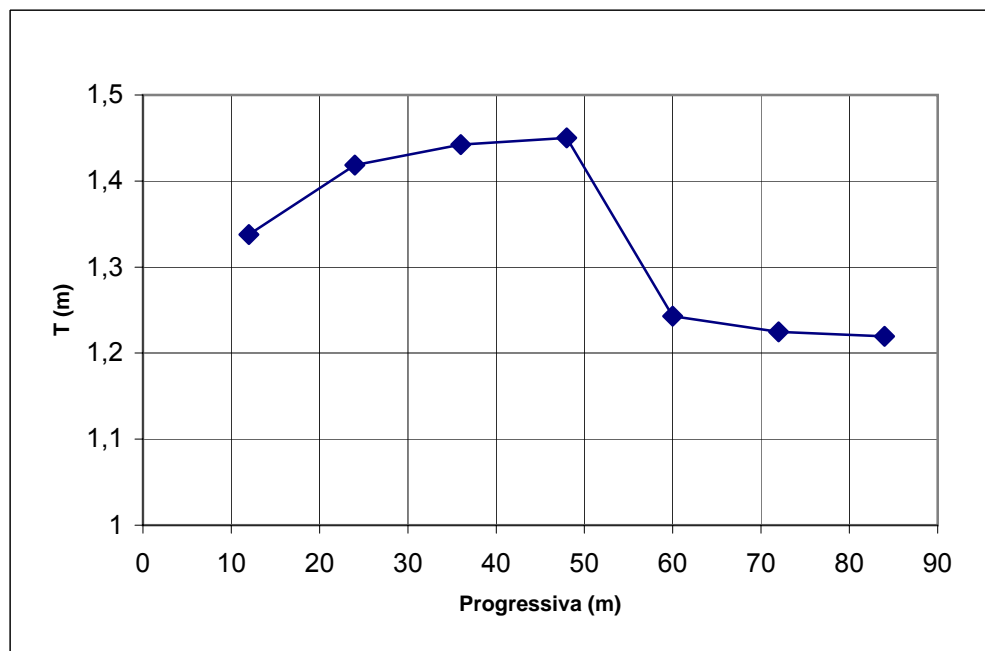
Qmax 0,009 m³/s **9,045** l/s $Q=0.376*Ks*T^{8/3}*Sx^{5/3}*So^{1/2}$

Portata per tratto

Qt 0,0044 m³/s **4,400** l/s <Qmax

Riassunto

Caditoia	Progr	T
1	12	1,34
2	24	1,42
3	36	1,44
4	48	1,45
5	60	1,24
6	72	1,22
7	84	1,22



Calcolo delle portate intercettate e by-passate dalle singole caditoie

1° LIVELLETTA

Caditoia	1	Progressiva	12		
Q	0,0044 m3/s	4,400 l/s	<Qmax=	5,970 l/s	
T	1,3378 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0,7134		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0,0031 m3/s		Qw=Eo*Q		
Qs	0,0013 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0,0134 m2	d2	0,020 m		
V	0,3278 m/s	Da grafico	Rf=1 -->	portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0,4104				
Qint	0,0037 m3/s	3,656 l/s			
Qb	0,0007 m3/s	0,744 l/s			

Caditoia	2	Progressiva	24		
Q	0,0051 m3/s	5,144 l/s	<Qmax=	5,970 l/s	
T	1,4185 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0,6867		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0,0035 m3/s		Qw=Eo*Q		
Qs	0,0016 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0,0151 m2	d2	0,021 m		
V	0,3409 m/s	Da grafico	Rf=1 -->	portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0,3935				
Qint	0,0042 m3/s	4,166 l/s	Qintercettata		
Qb	0,001 m3/s	0,978 l/s	Qbypassata		

Caditoia	3	Progressiva	36		
Q	0,0054 m3/s	5,378 l/s	<Qmax=	5,970 l/s	
T	1,4423 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0,6791		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0,0037 m3/s		Qw=Eo*Q		
Qs	0,0017 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0,0156 m2	d2	0,022 m		
V	0,3447 m/s	Da grafico	Rf=1 -->	portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0,3887				
Qint	0,0043 m3/s	4,323 l/s			
Qb	0,0011 m3/s	1,055 l/s			

Caditoia	4	Progressiva	48		
Q	0,0055 m3/s	5,455 l/s	<Qmax=	5,970 l/s	
T	1,4501 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$		
Eo	0,6766		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$		
Qw	0,0037 m3/s		Qw=Eo*Q		
Qs	0,0018 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q		
A	0,0158 m2	d2	0,022 m		
V	0,3459 m/s	Da grafico	Rf=1 -->	portata frontale tutta intercettata	
Rf	1				
Rs	0,3872				
Qint	0,0044 m3/s	4,374 l/s			
Qb	0,0011 m3/s	1,081 l/s			

2° LIVELLETTA

Caditoia	5	Progressiva	60	
Q	0,0055 m3/s	5,481 l/s	<Qmax=	9,045 l/s
T	1,2431 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0,7469		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0,0041 m3/s		Qw=Eo*Q	
Qs	0,0014 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0,0139 m2	d2	0,022 m	
V	0,3941 m/s	Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata		
Rf	1			
Rs	0,3748			
Qint	0,0046 m3/s	4,614 l/s		
Qb	0,0009 m3/s	0,867 l/s		

Caditoia	6	Progressiva	72	
Q	0,0053 m3/s	5,267 l/s	<Qmax=	9,045 l/s
T	1,2247 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0,7536		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0,004 m3/s		Qw=Eo*Q	
Qs	0,0013 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0,0135 m2	d2	0,022 m	
V	0,3902 m/s	Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata		
Rf	1			
Rs	0,379			
Qint	0,0045 m3/s	4,462 l/s		
Qb	0,0008 m3/s	0,806 l/s		

Caditoia	7	Progressiva	84	
Q	0,0052 m3/s	5,206 l/s	<Qmax=	9,045 l/s
T	1,2193 m		$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0,7556		$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0,0039 m3/s		Qw=Eo*Q	
Qs	0,0013 m3/s		Qs=(1-Eo)*Q	
A	0,0134 m2	d2	0,022 m	
V	0,3891 m/s	Da grafico Rf=1 --> portata frontale tutta intercettata		
Rf	1			
Rs	0,3802			
Qint	0,0044 m3/s	4,417 l/s		
Qb	0,0008 m3/s	0,788 l/s		