

**Esercizio n°1 (punti 5)**

Si consideri l'impianto di sollevamento rappresentato in figura 1. Il serbatoio A è posizionato alla quota di 10 m, il serbatoio B alla quota di 20 m ed il serbatoio C alla quota di 30 m. Tutti e tre i serbatoi hanno dimensioni tali per cui si può assumere che il livello al loro interno sia costante.

Le pompe P1 e P2 hanno la seguente curva caratteristica:

$$H = r - s \cdot Q^2 \quad \text{con } r=40 \text{ m, } s=200 \text{ s}^2/\text{m}^5 \quad \text{a } n_1=n_2=870 \text{ giri/min} \quad (1)$$

Al fine di incrementare la portata sollevata al serbatoio C si decide di aggiungere una terza pompa P3 avente curva caratteristica uguale a quella delle pompe P1 e P2 e che preleva acqua dal serbatoio A e si collega alla condotta P2-C immediatamente a valle della pompa P2 (vv. nodo N secondo lo schema indicato in figura).

Determinare il numero di giri  $n_3^*$  a cui dovrebbe funzionare la pompa P3 affinché la portata in ingresso al serbatoio C sia pari a  $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$  assumendo che le pompe P1 e P2 continuino ad operare a  $n_1 = n_2 = 870$  giri/min.

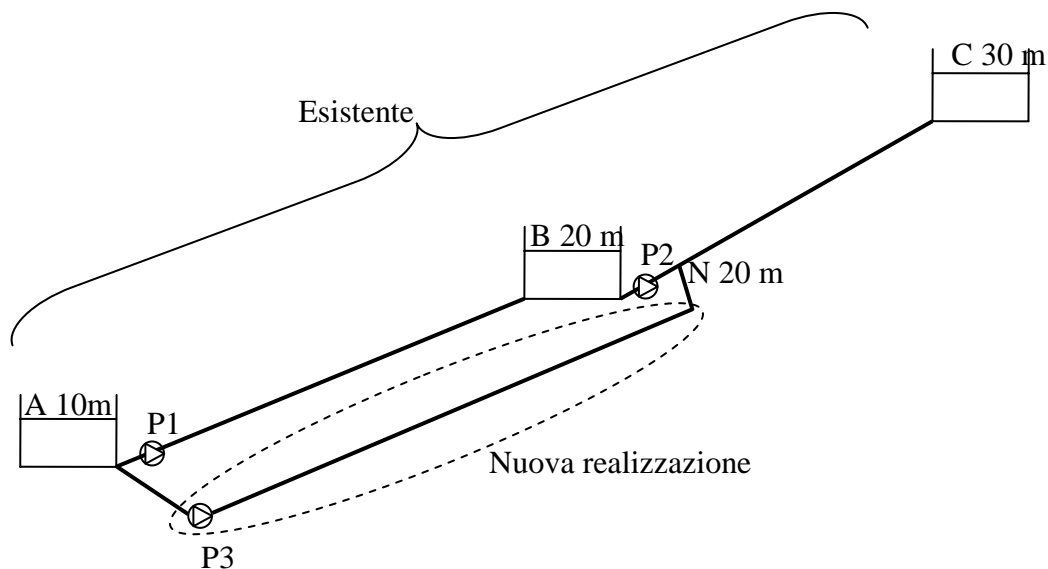
Le tubazioni presentano le seguenti caratteristiche:

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	$\gamma_B [m^{1/2}]$
P1-B	1500	0.5	0.12
P2-C	2000	0.6	0.12
P3-N	2000	0.5	0.12

N.B. si trascurino le distanze e le perdite di carico tra A-P1, B-P2, P2-N e A-P3

Per il calcolo delle perdite di carico si utilizzi la relazione di Bazin sapendo che:

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



**Esercizio n°2 (punti 5)**

Un collettore di fognatura bianca del diametro di 0.6 m, lunghezza 220 m, pendenza 0.6% e scabrezza  $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  è al servizio di un'area di 2 ha urbanizzata per il 41% della sua superficie.

La trattazione statistica per diversi tempi di ritorno  $T$  delle altezze di precipitazione massime annue registrate in un pluviometro posto nelle vicinanze del lotto fornisce i seguenti parametri delle curve di possibilità climatica  $h = aT^n$ :

$T$ [anni]	5	10	20	30	40	50
$a$ [mm/ora <sup>n</sup> ]	46	52	57	60	62	64
$n$	0.48	0.47	0.43	0.42	0.41	0.40

Valutare il tempo di ritorno della precipitazione che determinerebbe il funzionamento del collettore con grado di riempimento ottimale.

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

$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$	$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$
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 una carreggiata larga 10 m, asfaltata (coefficiente di afflusso  $\phi=1$ , coefficiente di scabrezza di Strickler  $K=66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ) e con pendenza trasversale  $S_x=1.5\%$ . La carreggiata, lunga complessivamente 80 metri, ha pendenza longitudinale  $S_0=0.6\%$  per i primi 40 metri (dalla progressiva 0 fino alla progressiva 40) e  $S_0=1.4\%$  per i successivi 40 metri (dalla progressiva 40 fino alla progressiva 80) (vedi figura 1).

Lungo la carreggiata vi sono posizionate, in una cunetta a sezione triangolare (vedi figura 2), caditoie a grata con barre parallele alla direzione della corrente di larghezza  $W=0.5 \text{ m}$  e lunghezza  $L=0.5 \text{ m}$  ad interasse di 20 m. Verificare se a fronte di una precipitazione di intensità 70 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.

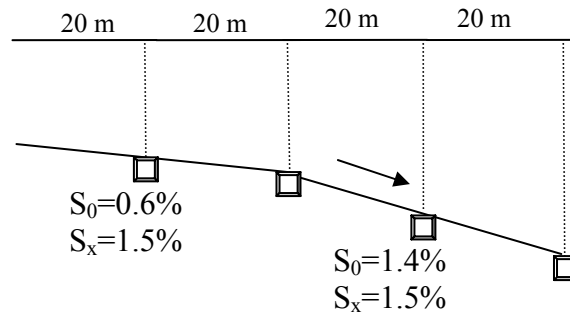


Figura 1. Sezione longitudinale della sede stradale

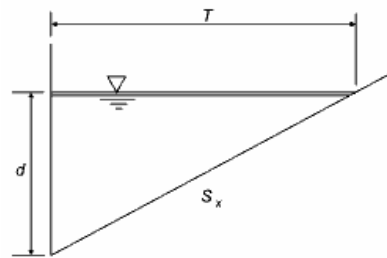


Figura 2. Sezione trasversale della cunetta.

Equazioni:

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

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

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

$$R_f = \begin{cases} 1 - K_f (V - v_0) & V \geq v_0 \\ I & V \leq v_0 \end{cases} \quad \text{essendo } K_f = 0.0295;$$

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

### 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, descrivendo i singoli passaggi.
2. Definizione di NPSH. Calcolare la posizione della pompa rispetto al serbatoio di alimentazione una volta noto l' $NPSH_R$ .
3. Illustrare la trattazione statistica che consente di ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità climatica  $h = a \cdot t^n$ .
4. Che cosa rappresenta il coefficiente d'afflusso ( $\phi$ )? Come può essere stimato? Come varia il valore del coefficiente di afflusso con il tempo di ritorno  $T$ ?
5. Disegnare e descrivere il funzionamento del dispositivo di cacciata di tipo Contarino.

## Esercizio n°1

La curva caratteristica delle pompe  $P_1$  e  $P_2$ , funzionanti a 870 giri/min, è rappresentata dalla seguente equazione:

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

La curva caratteristica della pompa  $P_3$  a 870 giri/min è uguale a quella delle pompe  $P_1$  e  $P_2$ , definita dalla relazione (1).

L'equazione della pompa  $P_3$  ad un numero di giri  $n_3^*$ , si ricava applicando il principio di similitudine fluidodinamica:

$$\begin{cases} \frac{H}{H_3^*} = \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 \\ \frac{Q}{Q_3^*} = \frac{n_3}{n_3^*} \end{cases} \rightarrow H_3^* \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 = r - s \cdot Q_3^{*2} \cdot \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 \rightarrow H_3^* = r \left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - s \cdot Q_3^{*2} \quad (2)$$

si riporta la pompa  $P_3$  al nodo N tenendo conto delle perdite di carico  $H_{P_3-N}$  che è necessario vincere per poter sollevare la portata al nodo N.

L'equazione della pompa  $P_3$  riportata ad N, risulta essere:

$$H_{P_3} - H_{P_3-N} = H = r \left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - z_N + z_A - \left(s + \beta_{P_3-N} \frac{L_{P_3-N}}{D_{P_3-N}^5}\right) Q^2 \quad (3)$$

da cui:

$$Q = \sqrt{\frac{r \left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - z_N + z_A - H}{s + \beta_{P_3-N} \frac{L_{P_3-N}}{D_{P_3-N}^5}}} \quad (4)$$

A questo punto si procede mettendo in parallelo la pompa  $P_2$  con la pompa  $P_3$ , in corrispondenza del nodo N. Sommando quindi le portate a parità di prevalenza, si ottiene che:

$$Q = \sqrt{\frac{r-H}{s}} + \sqrt{\frac{r \left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - z_N + z_A - H}{s + \beta_{P_3-N} \frac{L_{P_3-N}}{D_{P_3-N}^5}}} \quad (5)$$

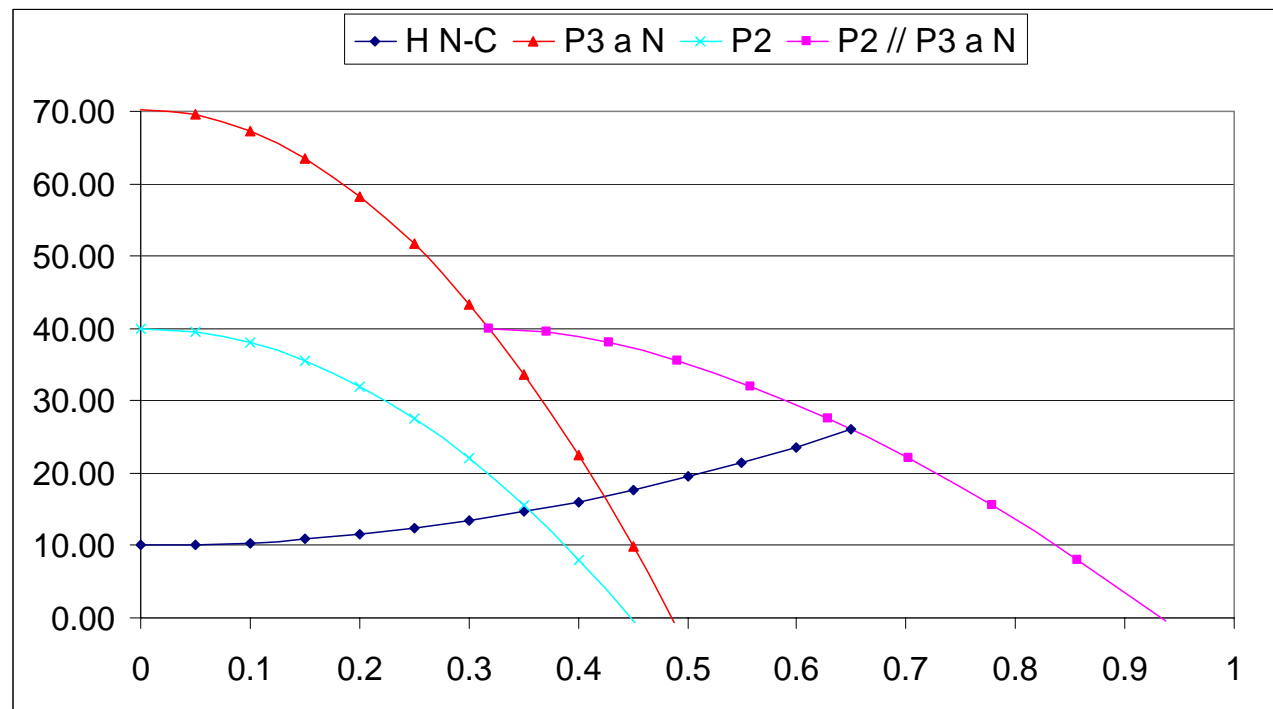
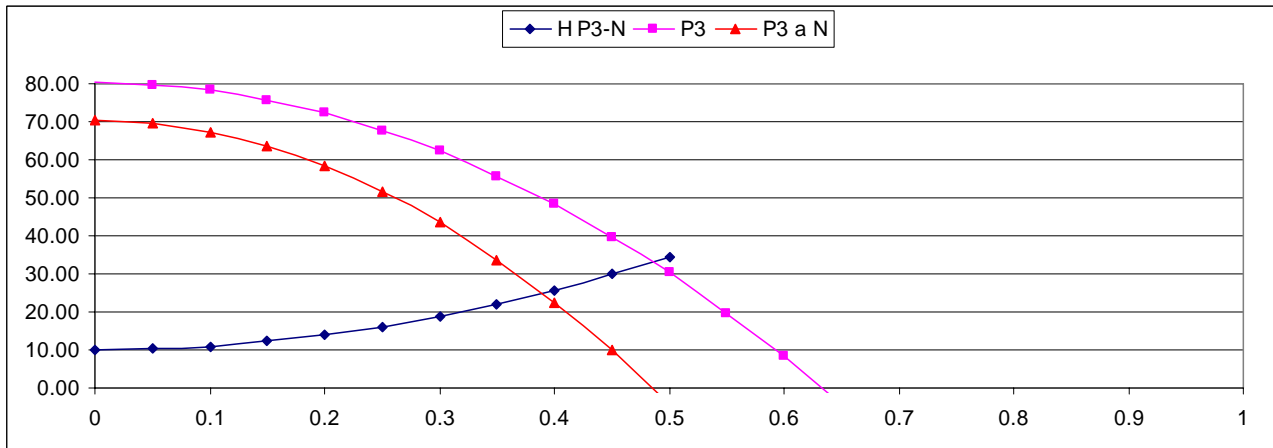
L'equazione della curva dell'impianto relativo al tratto NC è definita da:

$$H_{NC} = z_C - z_N + \beta_{NC} \frac{L_{NC}}{D_{NC}^5} Q^2 \quad (6)$$

Mettendo a sistema l'equazione (5) con l'equazione (6), si ottiene:

$$Q - \sqrt{\frac{r - z_C + z_N - \beta_{NC} \frac{L_{NC}}{D_{NC}^5} Q^2}{s}} - \sqrt{\frac{r \left( \frac{n^{3\phi}}{n^3} \right)^2 - z_N + z_A - z_C + z_N - \beta_{NC} \frac{L_{NC}}{D_{NC}^5} Q^2}{s + \beta_{P3-N} \frac{L_{P3-N}}{D_{P3-N}^5}}} = 0 \quad (7)$$

Fissato un valore della portata pari a  $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ , l'unica incognita è  $n_3^*$  assume un valore pari a 1232.34 giri/min.



## Esercizio n°2

Caratteristiche bacino

A=2 ha

$$\varphi = IMP \cdot \varphi_{IMP} + (1 - IMP) \cdot \varphi_{perm} = 0.387$$

Caratteristiche collettore

$$D = 0.6 \text{ m}; i = 0.006; L = 200 \text{ m}; k_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

Calcolo velocità e portata del collettore a sezione piena

$$V_r = k_s \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} = k_s \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot i^{1/2} = 1.53 \text{ m/s}; \quad (1)$$

$$Q_r = V_r \cdot \Omega = V_r \cdot \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) = 0.43 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (2)$$

Considerando un grado di riempimento ottimale di progetto  $h/D=0.7$ , si legge dalla tabella  $Q_c/Q_r = 0.837$ . Sostituendo il valore di  $Q_r$  ottenuto nella (2), si ricava  $Q_c = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , che è uguale al valore di portata ottenuto nell'analisi idrologica condotta considerando il sistema di drenaggio composto dal bacino urbano e dal collettore, ovvero:

$$Q_c \text{ (m}^3/\text{s)} = \frac{\varphi \cdot i_c \text{ (mm/h)} \cdot S \text{ (ha)}}{360}. \quad (3)$$

Invertendo la (3) è possibile ricavare l'intensità di pioggia di progetto  $i_c = 167.4 \text{ mm/h}$ .

Considerando un tempo di accesso in rete pari a 5 min, il tempo di corrvazione per il sistema di drenaggio è dato da:

$$t_c = t_a + \frac{1}{1.5} \frac{L}{V_r} = 6.74 \text{ min} = 0.11 \text{ h}.$$

Tra le curve di probabilità pluviometrica fornite per tempi di ritorno compresi tra 5 e 50 anni, quella che fornisce per  $t_c = 0.11 \text{ h}$  un'intensità vicina a quella di progetto (che porta il collettore al riempimento ottimale) è la curva corrispondente al tempo di ritorno pari a 10 anni. Si deduce quindi che è 10 anni il tempo di ritorno della precipitazione che porta il collettore al grado di riempimento ottimale.

### Esercizio n°3

#### 1° LIVELLETTA

Sede stradale		ip	70 mm/h	$\varphi$	1
So	0.6 %		Caditoia Reticuline		
Sx	1.5 %	Lungh	0.5 m		
Lungh	40 m	Largh W	0.5 m		
Largh	10 m				
Ks	66 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>	Interasse	20 m		
T	1.5 m	V Sp.Over	1.784 m/s		

#### Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0.0002 m<sup>3</sup>/s 0.194 l/s

#### Portata massima che può defluire in cunetta

Qmax 0.0052 m<sup>3</sup>/s 5.171 l/s  $Q=0.376 \cdot Ks \cdot T^{8/3} \cdot Sx^{5/3} \cdot So^{1/2}$

#### Portata per tratto

Qt 0.0039 m<sup>3</sup>/s 3.889 l/s <Qmax

#### 2° LIVELLETTA

Sede stradale		ip	70 mm/h	$\varphi$	1
So	1.4 %		Caditoia Reticuline		
Sx	1.5 %	Lungh	0.5 m		
Lungh	40 m	Largh W	0.5 m		
Largh	10 m				
Ks	66 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>	Interasse	20 m		
T	1.5 m	V Sp.Over	1.784 m/s		

#### Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0.0002 m<sup>3</sup>/s 0.194 l/s

#### Portata massima che può defluire in cunetta

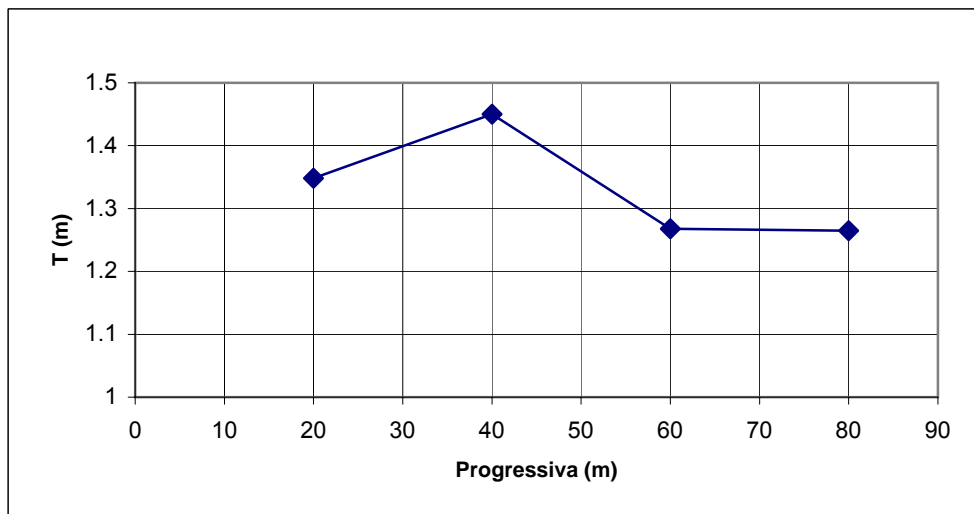
Qmax 0.0079 m<sup>3</sup>/s 7.898 l/s  $Q=0.376 \cdot Ks \cdot T^{8/3} \cdot Sx^{5/3} \cdot So^{1/2}$

#### Portata per tratto

Qt 0.0039 m<sup>3</sup>/s 3.889 l/s <Qmax

#### Riassunto

Caditoia	Progr	T
1	20	1.35
2	40	1.45
4	60	1.27
5	80	1.26



## Calcolo delle portate intercettate e by-passate dalle singole caditoie

### 1° LIVELLETTA

Caditoia	<b>1</b>	Progressiva	20		
Q	0.0039 m3/s	3.889 l/s	<Qmax=	5.171 l/s	
T	<b>1.348</b> m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^5/3*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0.7099			$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0028 m3/s			$Qw=Eo*Q$	
Qs	0.0011 m3/s			$Qs=(1-Eo)*Q$	
A	0.0136 m2	d2	0.020 m		
V	0.2853 m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1				
Rs	0.2601				
Qint	0.0031 m3/s	3.054 l/s			
Qb	0.0008 m3/s	0.835 l/s			

Caditoia	<b>2</b>	Progressiva	40		
Q	0.0047 m3/s	4.724 l/s	<Qmax=	5.171 l/s	
T	<b>1.45</b> m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^5/3*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0.6767			$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0032 m3/s			$Qw=Eo*Q$	
Qs	0.0015 m3/s			$Qs=(1-Eo)*Q$	
A	0.0158 m2	d2	0.022 m		
V	0.2996 m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1				
Rs	0.2436				
Qint	0.0036 m3/s	3.568 l/s			
Qb	0.0012 m3/s	1.155 l/s			

### 2° LIVELLETTA

Caditoia	<b>3</b>	Progressiva	60		
Q	0.005 m3/s	5.044 l/s	<Qmax=	7.898 l/s	
T	<b>1.2678</b> m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^5/3*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0.7379			$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0037 m3/s			$Qw=Eo*Q$	
Qs	0.0013 m3/s			$Qs=(1-Eo)*Q$	
A	0.0121 m2	d2	0.019 m		
V	0.4184 m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1				
Rs	0.15				
Qint	0.0039 m3/s	3.920 l/s			
Qb	0.0011 m3/s	1.124 l/s			

Caditoia	<b>4</b>	Progressiva	80		
Q	0.005 m3/s	5.013 l/s	<Qmax=	7.898 l/s	
T	<b>1.2649</b> m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^5/3*So^{1/2}))^{(3/8)}$	
Eo	0.739			$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0037 m3/s			$Qw=Eo*Q$	
Qs	0.0013 m3/s			$Qs=(1-Eo)*Q$	
A	0.012 m2	d2	0.019 m		
V	0.4177 m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1				
Rs	0.1504				
Qint	0.0039 m3/s	3.901 l/s			
Qb	0.0011 m3/s	1.112 l/s			