

Esercizio n°1 (punti 6)

Un impianto di sollevamento (vedi figura 1) è costituito da due pompe uguali P1 e P2 che sollevano acqua, rispettivamente da un serbatoio A posizionato a 30 m s.l.m. e da un serbatoio B posizionato a 28 m s.l.m.. Le tubazioni di mandata in uscita dalle pompe convergono in un punto N (quota 16 m s.l.m.), da cui si dipartono le tubazioni NC e ND che sono rispettivamente collegate al serbatoio C (quota 24 m s.l.m.) e al serbatoio D (quota 23 m s.l.m.). Le tubazioni hanno le caratteristiche riportate in tabella 1. Calcolare le portate sollevate dalle due pompe e in arrivo ai serbatoi di valle C e D nelle due condizioni di funzionamento sapendo che la curva caratteristica delle pompe a $n=870$ giri/min è rappresentata dall'equazione $H=r-sQ^2$ con $r=30$ m e $s=180$ s²/m⁵, e che le pompe P1 e P2 operano rispettivamente a $n_1=870$ giri/min e $n_2=1170$ giri/min. Calcolare anche la potenza assorbita dalle pompe assumendo per le stesse pompe un rendimento pari a 0.7.

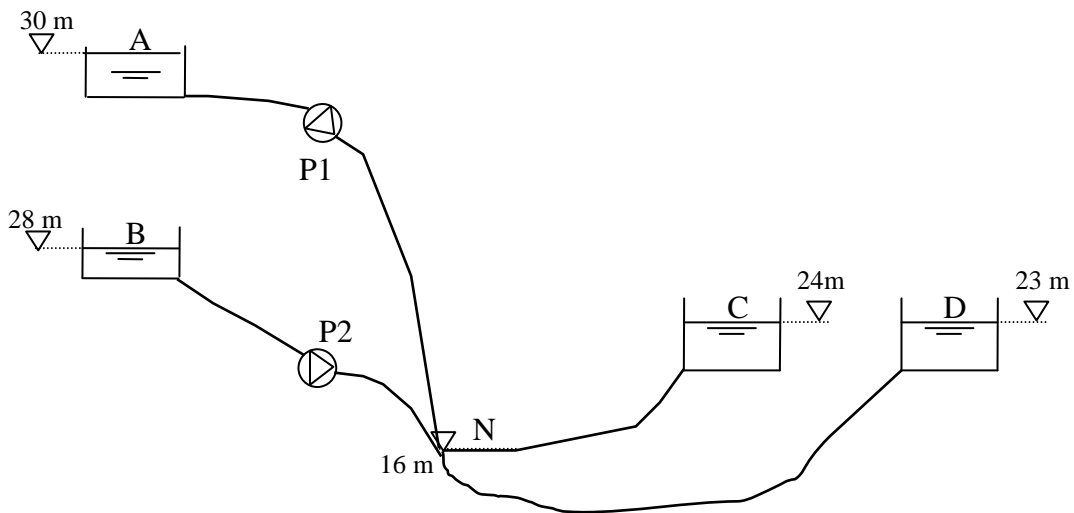


Figura 1. Impianto di sollevamento

Tabella 1. Caratteristiche delle tubazioni

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	γ_B [m ^{1/2}]
A-N	4500	0.4	0.12
B-N	4000	0.5	0.12
N-C	500	0.4	0.12
N-D	400	0.5	0.12

Per il calcolo della cadente J si utilizzi la relazione $J = \beta \frac{Q^2}{D^5}$, con $\beta = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}}\right)^2$.

È possibile modificare l'impianto mediante l'inserimento di valvole di regolazione per fare in modo che le portate transitanti nei vari tronchi dell'impianto siano tutte uguali? In caso affermativo spiegare dove è necessario inserire tali valvole e indicare quale è il valore di portata nella nuova configurazione con saracinesche inserite.

Esercizio n°2 (punti 4)

I dati di altezza di pioggia (mm) massima annuale osservati ad una stazione pluviometrica per durate di 15, 30,45 e 60 minuti sono riportati in Tabella 1.

	h (mm)			
	15	30	45	60
	20.67	23.13	26.53	28.07
	12.03	27.76	31.46	41.02
	26.53	33.00	37.63	42.57
	38.25	69.40		122.76
	14.19	26.83		41.95
	16.35		21.90	23.13
	59.84		91.61	116.28
	30.54	31.77	34.55	35.16
	32.08	35.47	42.26	45.65
	28.99	45.96	62.00	63.85
	45.96	61.69	62.92	63.23
	16.35		18.82	20.97
	30.23	42.26	46.88	47.19
	19.74	29.30	42.26	44.11
	43.80	44.11		54.29
	28.69	30.23		36.40
	22.83	24.68		28.07
	13.57	19.74	25.91	34.85
	15.11		20.97	21.28
	26.22	63.23	66.01	69.40

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 5 anni;
- l'altezza di pioggia con tempo di ritorno di 5 anni per una durata di 20 minuti.

Spiegare la procedura adottata e 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 5)

Si consideri una carreggiata larga 5 m, asfaltata (coefficiente di afflusso $\phi=1$, coefficiente di scabrezza di Strickler $K=75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) e con pendenza trasversale $S_x=1.3\%$. La carreggiata, lunga complessivamente 80 metri, ha pendenza longitudinale $S_0=0.8\%$ per i primi 40 metri (dalla progressiva 0 fino alla progressiva 40) e $S_0=1.3\%$ 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 $W=0.4 \text{ m}$ e lunghezza $L=0.4 \text{ m}$ ad interasse di 20 m. Calcolare la larghezza massima di allagamento a fronte di una precipitazione di intensità 90 mm/h .

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.

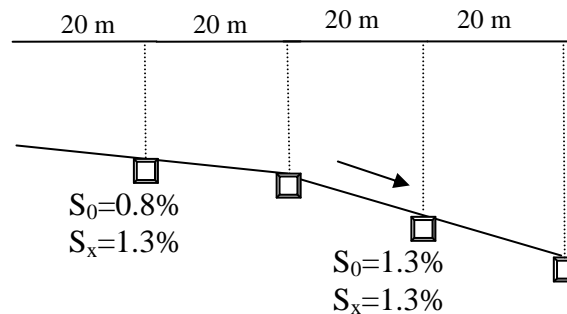


Figura 1. Sezione longitudinale della sede stradale

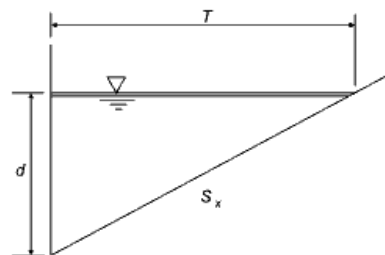


Figura 2. Sezione trasversale della cunetta.

Equazioni:

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

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

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

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

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

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. Che cosa è la ventilazione parallela indiretta? Quando viene utilizzata?
4. Che cosa rappresenta il coefficiente d'afflusso (φ)? 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

Tabella caratteristiche tubazioni

Tratto	L (m)	D (m)	γ_B	β	$\alpha = \beta L/D^5$
AN	4500	0.4	0.12	0.00163	716.67
BN	4000	0.5	0.12	0.00154	196.80
NC	500	0.4	0.12	0.00163	79.63
ND	400	0.5	0.12	0.00154	19.68

Curva impianto tratto AN:

$$H = z_N - z_A + \alpha_{AN} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_N + z_A}{\alpha_{AN}}} \quad (1)$$

Curva impianto tratto BN:

$$H = z_N - z_B + \alpha_{BN} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_N + z_B}{\alpha_{BN}}} \quad (2)$$

Curva impianto tratto NC:

$$H = z_C - z_N + \alpha_{NC} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} \quad (3)$$

Curva impianto tratto ND:

$$H = z_D - z_N + \alpha_{ND} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} \quad (4)$$

La curva della pompa P₁ a n=870 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r - sQ^2 = 30 - 180Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{30 - H}{180}} \quad (5)$$

Applicando il Principio di similitudine fluidodinamica, si ricava l'equazione della curva della pompa P₂ a n^{*}=1170 giri/min:

$$\begin{cases} \frac{H}{H^*} = \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \\ \frac{Q}{Q^*} = \frac{n}{n^*} \end{cases} \rightarrow H^* \cdot \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 = r - s \cdot Q^{*2} \cdot \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \rightarrow P_{1170}: H^* = \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 \cdot r - s \cdot Q^{*2} = r^* - s^* \cdot Q^{*2}$$

essendo:

$$\begin{cases} r^* = \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 r = \left(\frac{1170}{870}\right)^2 30 = 54.26m \\ s^* = s = 180 \text{ s}^2/m^5 \end{cases}$$

Quindi la curva della pompa P₂ a n^{*}=1170 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r^* - s^* Q^2 = 54.26 - 180 Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{54.26 - H}{180}} \quad (6)$$

CONDIZIONE 1

Pompa P1 riportata in N

Si ottiene sottraendo la $H(Q)$ dell'impianto AN (2) alla curva caratteristica $H(Q)$ della pompa (eq. 5):

$$H = r - s Q^2 - z_N + z_A - \alpha_{AN} Q^2 \quad (7)$$

L'eq. (7) può essere riscritta in termini di $Q(H)$ nel seguente modo:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} \quad (8)$$

Pompa P2 riportata in N

Si ottiene sottraendo la $H(Q)$ dell'impianto AN (1) alla curva caratteristica $H(Q)$ della pompa (eq. 6):

$$H = r^* - s^* Q^2 - z_N + z_B - \alpha_{BN} Q^2 \quad (9)$$

L'eq. (9) può essere riscritta in termini di $Q(H)$ nel seguente modo:

$$Q = \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} \quad (10)$$

(P1 in N) // (P2 in N)

Per mettere in parallelo le due pompe riportate in N, si sommano la (8) e la (10); si ottiene in questo modo:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} + \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} \quad (11)$$

(NC)//(ND)

Per mettere in parallelo i due tratti dell'impianto è necessario sommare le relazioni $Q(H)$ riportate nella (3) e nella (4). Si ottiene in questo caso:

$$Q = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} \quad (12)$$

Per risolvere l'impianto di sollevamento è necessario mettere a sistema la (11) e la (12); ciò porta alla seguente equazione, da risolvere rispetto a H :

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} + \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} \quad (13)$$

portata in arrivo al serbatoio C, si mettono a sistema la (11) e la $H(Q)$ di (3). In questo modo si ottiene:

$$\sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} + \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} \quad (14)$$

Andando a sostituire nella (14) i valori numerici si ottiene:

$$\sqrt{\frac{44 - H}{896.67}} + \sqrt{\frac{66.26 - H}{376.80}} = \sqrt{\frac{H - 8}{79.63}} + \sqrt{\frac{H - 7}{19.68}}, \quad (15)$$

che risolta iterativamente porta a $H = 10.30$ m.

Adesso è possibile calcolare le portate che circolano nei diversi tronchi dell'impianto:

$$Q_{AN} = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} = \sqrt{\frac{44 - H}{896.67}} = 0.194 \text{ m}^3/\text{s} \quad (16)$$

$$Q_{BN} = \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} = \sqrt{\frac{66.26 - H}{376.80}} = 0.385 \text{ m}^3/\text{s} \quad (17)$$

$$Q_{NC} = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} = \sqrt{\frac{H - 8}{79.63}} = 0.170 \text{ m}^3/\text{s} \quad (18)$$

$$Q_{ND} = \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} = \sqrt{\frac{H - 7}{19.68}} = 0.409 \text{ m}^3/\text{s} \quad (19)$$

Entrando con la $Q_1 = Q_{AN}$ e la $Q_2 = Q_{BN}$ rispettivamente nelle curve caratteristiche delle pompe $H(Q)$ di (5) e (6), si ottengono le prevalenze H_1 e H_2 :

$$H_1 = 30 - 180Q_1^2 = 23.24 \text{ m} \quad (20)$$

$$H_2 = 54.26 - 180Q_2^2 = 27.53 \text{ m} \quad (21)$$

Ricordando la formula $P = \gamma QH / \eta$, si ottengono le potenze assorbite dalle pompe:

$$P_1 = \gamma Q_1 H_1 / \eta = 63.1 \text{ KW} \quad (22)$$

$$P_2 = \gamma Q_2 H_2 / \eta = 148.6 \text{ KW} \quad (23)$$

CONDIZIONE 2

Per rendere uguali tutte le portate bisogna inserire saracinesche nei tratti BN e ND, facendo in modo che le curve degli impianti relativi a questi tratti siano rispettivamente uguali a quelle dei tratti AN e NC. In questo caso, l'eqq. (14) e (15) diventeranno:

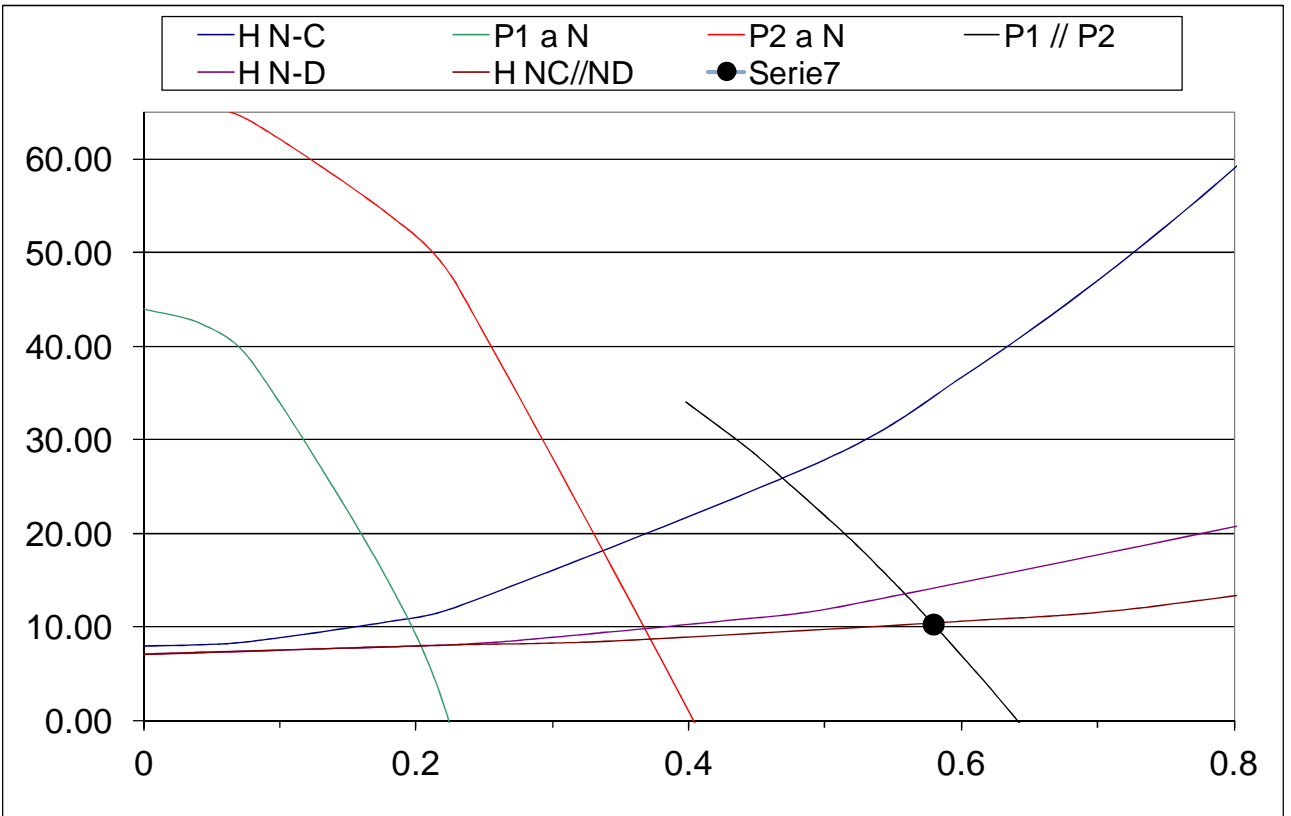
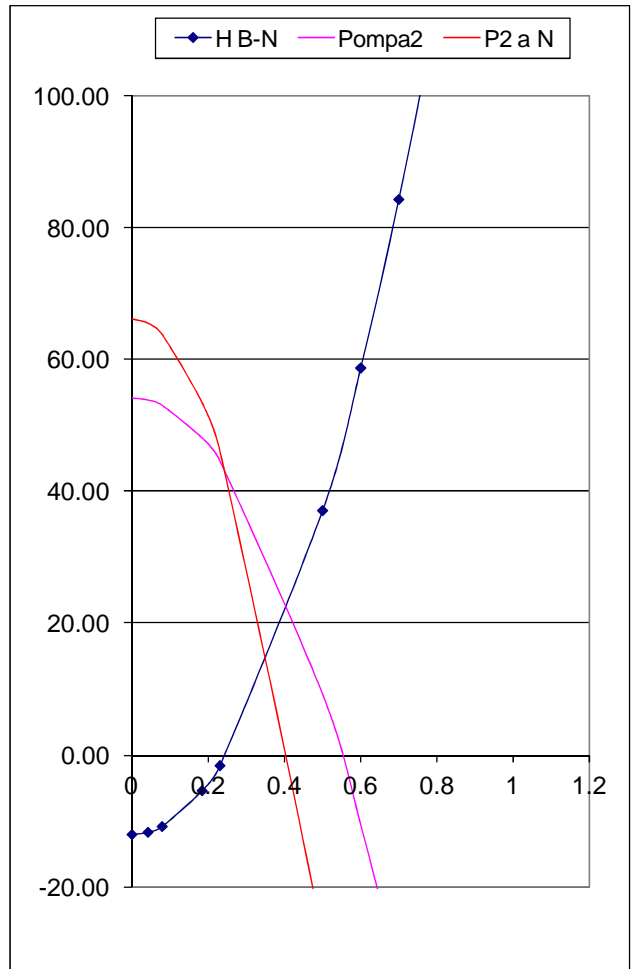
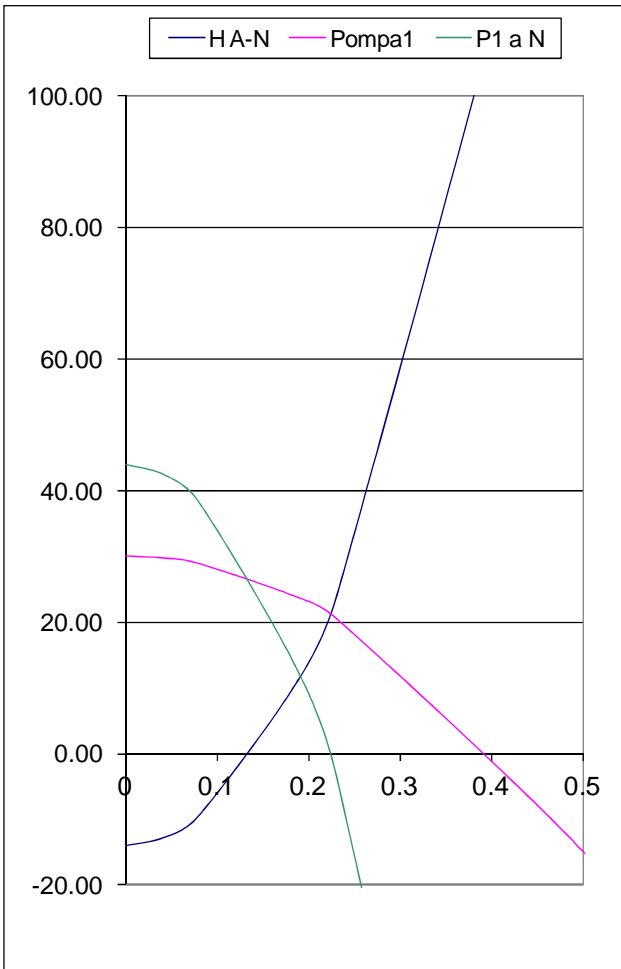
$$2\sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} = 2\sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} \quad (24)$$

Andando a sostituire nella (14) i valori numerici si ottiene:

$$2\sqrt{\frac{44 - H}{896.67}} = 2\sqrt{\frac{H - 8}{79.63}}, \quad (25)$$

da cui risulta $H = 10.94$ m. La portata che transita in uno qualunque di questi tratti è pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{44 - H}{896.67}} = \sqrt{\frac{H - 8}{79.63}} = 0.192 \text{ m}^3/\text{s}. \quad (26)$$



Esercizio n°2

	15	30	45	60				
	20.67	23.13	26.53	28.07				
	12.03	27.76	31.46	41.02				
	26.53	33.00	37.63	42.57				
	38.25	69.40		122.76				
	14.19	26.83		41.95				
	16.35		21.90	23.13				
	59.84		91.61	116.28				
	30.54	31.77	34.55	35.16				
	32.08	35.47	42.26	45.65				
	28.99	45.96	62.00	63.85				
	45.96	61.69	62.92	63.23				
	16.35		18.82	20.97				
	30.23	42.26	46.88	47.19				
	19.74	29.30	42.26	44.11				
	43.80	44.11		54.29				
	28.69	30.23		36.40				
	22.83	24.68		28.07				
	13.57	19.74	25.91	34.85				
	15.11		20.97	21.28				
	26.22	63.23	66.01	69.40				
Media	27.10	38.04	42.11	49.01				
var	155.25	231.35	426.19	772.52				
u	21.49	31.19	32.82	36.50				
alfa	9.715	11.859	16.096	21.671				
T	5.000	5.000	5.000	5.000				
h	36.061	48.978	56.966	69.009				
t	0.250	0.500	0.750	1.000				
logh	3.585	3.891	4.042	4.234	ymedio	3.938	xymedio	-2.331
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000	xmedio	-0.592	n	4.000
xiyi	-4.970	-2.697	-1.163	0.000	Sommaxiyi	-8.830		
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000	Sommaxi2	2.485		
B=n	0.454							
A	4.207							
a	67.149							
hcalc	35.79	49.02	58.93	67.15				
h20'	40.78	mm						

Esercizio n°3

1° LIVELLETTA

Sede stradale	ip	90 mm/h	φ	1
So	0.8 %	Caditoia Reticuline		
Sx	1.3 %	Lungh	0.4 m	
Lungh	40 m	Largh W	0.4 m	
Largh	5 m			
Ks	75 m ^{1/3} s ⁻¹	Interasse	20 m	
T	1.5 m	V Sp.Over	1.59 m/s	

Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0.0001 m³/s 0.125 l/s

Portata massima che può defluire in cunetta

Qmax 0.0053 m³/s 5.345 l/s $Q=0.376 \cdot K_s \cdot T^{8/3} \cdot S_x^{5/3} \cdot S_o^{1/2}$

Portata per tratto

Qt 0.0025 m³/s 2.500 l/s < Qmax

2° LIVELLETTA

Sede stradale	ip	90 mm/h	φ	1
So	1.3 %	Caditoia Reticuline		
Sx	1.3 %	Lungh	0.4 m	
Lungh	40 m	Largh W	0.4 m	
Largh	5 m			
Ks	75 m ^{1/3} s ⁻¹	Interasse	20 m	
T	1.5 m	V Sp.Over	1.59 m/s	

Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0.0001 m³/s 0.125 l/s

Portata massima che può defluire in cunetta

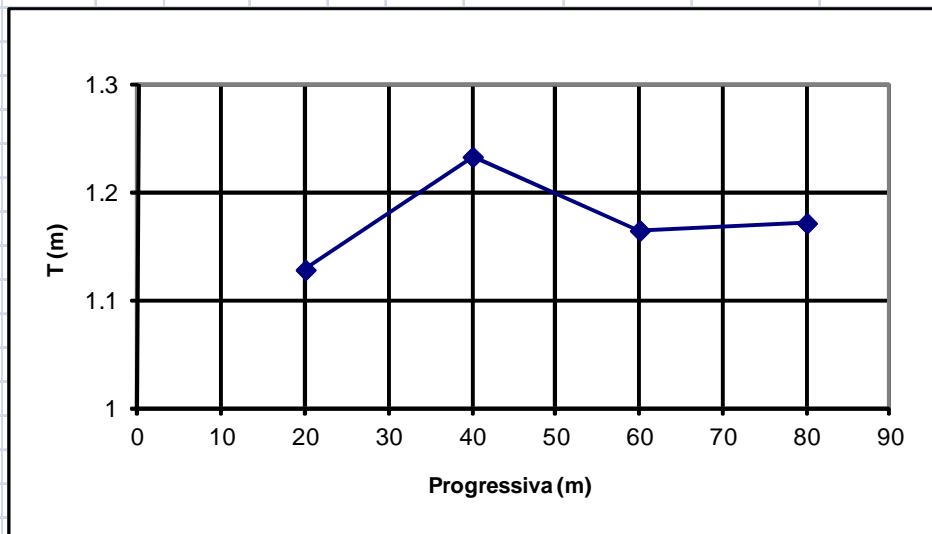
Qmax 0.0068 m³/s 6.813 l/s $Q=0.376 \cdot K_s \cdot T^{8/3} \cdot S_x^{5/3} \cdot S_o^{1/2}$

Portata per tratto

Qt 0.0025 m³/s 2.500 l/s < Qmax

Riassunto

Caditoia	Progr	T
1	20	1.13
2	40	1.23
4	60	1.16
5	80	1.17



Calcolo delle portate intercettate e by-passate dalle singole caditoie

1° LIVELLETTA

Caditoia	1		Progressiva	20		
Q	0.0025	m3/s	2.500	l/s	<Qmax= 5.345	l/s
T	1.1281	m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$	
Eo	0.6894				$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0017	m3/s			Qw=Eo*Q	
Qs	0.0008	m3/s			Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0083	m2		d2	0.015 m	
V	0.3022	m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1					
Rs	0.1412					
Qint	0.0018	m3/s	1.833	l/s		
Qb	0.0007	m3/s	0.667	l/s		

2° LIVELLETTA

Caditoia	2		Progressiva	40		
Q	0.0032	m3/s	3.167	l/s	<Qmax= 5.345	l/s
T	1.2327	m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$	
Eo	0.6492				$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0021	m3/s			Qw=Eo*Q	
Qs	0.0011	m3/s			Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0099	m2		d2	0.016 m	
V	0.3206	m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1					
Rs	0.1288					
Qint	0.0022	m3/s	2.199	l/s		
Qb	0.001	m3/s	0.968	l/s		

2° LIVELLETTA

Caditoia	3		Progressiva	60		
Q	0.0035	m3/s	3.468	l/s	<Qmax= 6.813	l/s
T	1.1644	m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$	
Eo	0.6749				$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0023	m3/s			Qw=Eo*Q	
Qs	0.0011	m3/s			Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0088	m2		d2	0.015 m	
V	0.3935	m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1					
Rs	0.0928					
Qint	0.0024	m3/s	2.445	l/s		
Qb	0.001	m3/s	1.023	l/s		

2° LIVELLETTA

Caditoia	4		Progressiva	80		
Q	0.0035	m3/s	3.523	l/s	<Qmax= 6.813	l/s
T	1.1713	m			$T=(Q/(0.376*Ks*Sx^{5/3}*So^{1/2}))^{3/8}$	
Eo	0.6723				$Eo=1-(1-W/T)^{2.67}$	
Qw	0.0024	m3/s			Qw=Eo*Q	
Qs	0.0012	m3/s			Qs=(1-Eo)*Q	
A	0.0089	m2		d2	0.015 m	
V	0.395	m/s	<v0=1.78 portata frontale tutta intercettata			
Rf	1					
Rs	0.0922					
Qint	0.0025	m3/s	2.475	l/s		
Qb	0.001	m3/s	1.048	l/s		