

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 22 m s.l.m. e da un serbatoio B posizionato a 20 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 10 m s.l.m.) e al serbatoio D (quota 9 m s.l.m.). Nella tubazione ND è posizionata una saracinesca. Le tubazioni hanno le caratteristiche riportate in tabella 1.

L'impianto lavora in due differenti condizioni di funzionamento:

- condizione 1 – saracinesca in ND chiusa;
- condizione 2 – saracinesca in ND aperta (perdita di carico localizzata trascurabile).

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 $n=800$ giri/min è rappresentata dall'equazione $H=r-sQ^2$ con $r=20$ m e $s=180$ s²/m⁵, e che le pompe P1 e P2 operano rispettivamente a $n_1=800$ giri/min e $n_2=1400$ giri/min. Calcolare anche le potenze assorbite dalle pompe nelle due condizioni di funzionamento assumendo per le stesse pompe un rendimento pari a 0.7. Dire infine cosa succede nella seconda condizione di funzionamento nel caso manchi l'energia elettrica; quali portate transitano nelle tubazioni del sistema?

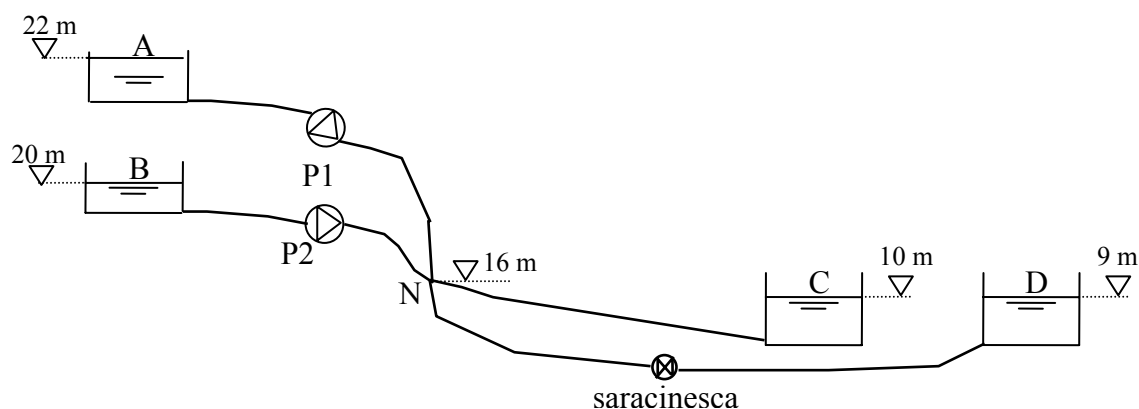


Figura 1. Impianto di sollevamento

Tabella 1. Caratteristiche delle tubazioni

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	γ_B [m ^{1/2}]
A-N	4000	0.4	0.13
B-N	4500	0.3	0.13
N-C	400	0.25	0.13
N-D	500	0.25	0.13

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

Esercizio n°2 (punti 4)

Si dimensiona lo speco di forma circolare di un collettore di fognatura mista con le seguenti caratteristiche: lunghezza 200 m, pendenza 1%, scabrezza $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Il collettore è a servizio di un'area di 2 ha (30% della quale è impermeabile).

Si assuma un coefficiente di afflusso per le aree non urbanizzate $\phi_{PERM}=0.1$ e per le aree urbanizzate $\phi_{IMP}=0.8$, un tempo di accesso in rete di 5 min, i parametri della curva di possibilità climatica $h = a\theta^n$ $a = 33 \text{ mm/ora}^n$ e $n = 0.45$, un numero di abitanti equivalenti serviti pari a 2000, una dotazione idrica $q=350 \text{ l/ab.d}$, un coefficiente di afflusso in rete per le acque nere $\Phi=0.85$ ed un coefficiente di punta orario $k_h=1.5$.

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 8 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 100 metri, ha pendenza longitudinale $S_0=0.6\%$ per i primi 50 metri (dalla progressiva 0 fino alla progressiva 50) e $S_0=1.4\%$ per i successivi 50 metri (dalla progressiva 50 fino alla progressiva 100) (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.

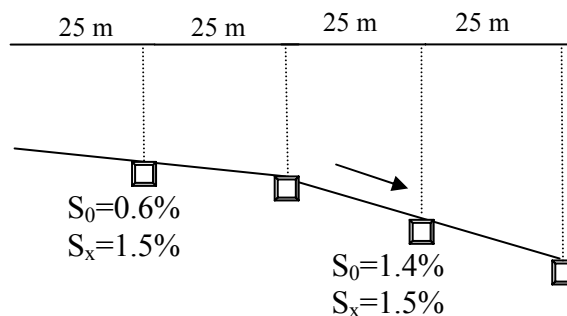


Figura 1. Sezione longitudinale della sede stradale

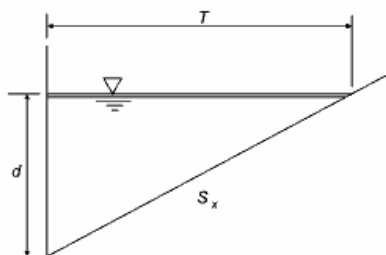


Figura 2. Sezione trasversale della cunetta.

Equazioni:

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

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

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

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

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

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 (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 perdite di carico e prevalenza geodetica dei vari tratti dell'impianto:

Tratto	L (m)	D (m)	γ_B	β	$\alpha = \beta L/D^5$	Hg (m)
AN	4000	0.4	0.13	0.00171	666.58	-6
BN	4500	0.3	0.13	0.00186	3451.36	-4
NC	400	0.25	0.13	0.00198	811.01	-6
ND	500	0.25	0.13	0.00198	1013.77	-7

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=800 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r - sQ^2 = 20 - 180Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{20 - H}{180}} \quad (5)$$

Applicando il Principio di similitudine fluidodinamica, si ricava l'equazione della curva della pompa P₂ a n^{*}=1400 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:

$$\begin{cases} r^* = \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 r = \left(\frac{1400}{800}\right)^2 20 = 61.25m \\ s^* = s = 180 \text{ s}^2/m^5 \end{cases}$$

Quindi la curva della pompa P₂ a n^{*}=1400 giri/min è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r^* - s^* Q^2 = 61.25 - 180 Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{61.25 - H}{180}} \quad (6)$$

CONDIZIONE 1

In questa condizione di funzionamento, il tratto ND non viene considerato perché la saracinesca in ND è chiusa. Le pompe P1 e P2 alimentano soltanto il serbatoio C.

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:

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

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

$$Q = \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - \alpha_{NC} Q^2}{s + \alpha_{AN}}} + \sqrt{\frac{r^* + z_B - z_C - \alpha_{NC} Q^2}{s^* + \alpha_{BN}}} \quad (12)$$

Per trovare la Q in (12), dobbiamo trovare quella Q che annulla la seguente funzione $f(Q)$:

$$f(Q) = Q - \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - \alpha_{NC}Q^2}{s + \alpha_{AN}}} - \sqrt{\frac{r^* + z_B - z_C - \alpha_{NC}Q^2}{s^* + \alpha_{BN}}} =$$

$$Q - \sqrt{\frac{32 - 811.01Q^2}{846.58}} - \sqrt{\frac{71.25 - 811.01Q^2}{3631.36}} \quad (13)$$

Risolvendo si ottiene $Q = 0.184 \text{ m}^3/\text{s}$. Le portate sollevate dalle pompe P1 e P2 saranno rispettivamente date da:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - \alpha_{NC}Q^2}{s + \alpha_{AN}}} = 0.074 \text{ m}^3/\text{s} \quad (14)$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{r^* + z_B - z_C - \alpha_{NC}Q^2}{s^* + \alpha_{BN}}} = 0.110 \text{ m}^3/\text{s} \quad (15)$$

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

$$H_1 = 20 - 180Q_1^2 = 19.02 \text{ m} \quad (16)$$

$$H_2 = 61.25 - 180Q_2^2 = 59.08 \text{ m} \quad (17)$$

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

$$P_1 = \gamma Q_1 H_1 / \eta = 20 \text{ KW} \quad (18)$$

$$P_2 = \gamma Q_2 H_2 / \eta = 91 \text{ KW} \quad (19)$$

CONDIZIONE 2

Valgono ancora le equazioni (8), (10) e (11). La curva dell'impianto da mettere a sistema con l'equazione (11) è dato dai tratti NC e ND messi in parallelo tra di loro. Le curve $Q(H)$ delle eq. (3) e (4) vanno sommate a parità di prevalenza:

$$Q = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} \quad (20)$$

Il sistema tra (20) e (11) dà:

$$\frac{Q_1}{\sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}}} + \frac{Q_2}{\sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}}} = \frac{Q_C}{\sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}}} + \frac{Q_D}{\sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}}} \quad (21)$$

L'equazione (21) rappresenta in realtà l'equazione di continuità al nodo N tra le portate entranti Q_1 e Q_2 e le portate uscenti Q_C e Q_D dirette ai rispettivi serbatoi. Risolvendo la (21) rispetto a H si ottiene per tentativi $H = 9.325$ m. Si ottengono quindi le portate Q_1 , Q_2 , Q_C , Q_D come:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} = 0.14 \text{ m}^3/\text{s} \quad (22)$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{r^* - z_N + z_B - H}{s^* + \alpha_{BN}}} = 0.124 \text{ m}^3/\text{s} \quad (23)$$

$$Q_C = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} = 0.137 \text{ m}^3/\text{s} \quad (24)$$

$$Q_D = \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND}}} = 0.127 \text{ m}^3/\text{s} \quad (25)$$

Riapplicando le equazioni (16), (17), (18), (19), si ottengono prevalenze e potenze delle pompe:

$$H_1 = 20 - 180Q_1^2 = 16.46 \text{ m} \quad (26)$$

$$H_2 = 61.25 - 180Q_2^2 = 58.48 \text{ m} \quad (27)$$

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

$$P_1 = \gamma Q_1 H_1 / \eta = 32 \text{ KW} \quad (28)$$

$$P_2 = \gamma Q_2 H_2 / \eta = 102 \text{ KW} \quad (29)$$

Nel caso in cui mancasse la luce le pompe si spegnerebbero; i serbatoi di valle C e D continuerebbero comunque ad essere alimentati a gravità. Per conoscere le portate circolanti nel sistema è possibile continuare ad utilizzare le equazioni (21), (22), (23), (24), (25). In tali equazioni, lo spegnimento delle pompe può essere considerato ponendo $r = s = r^* = s^* = 0$. Risolvendo si ha:

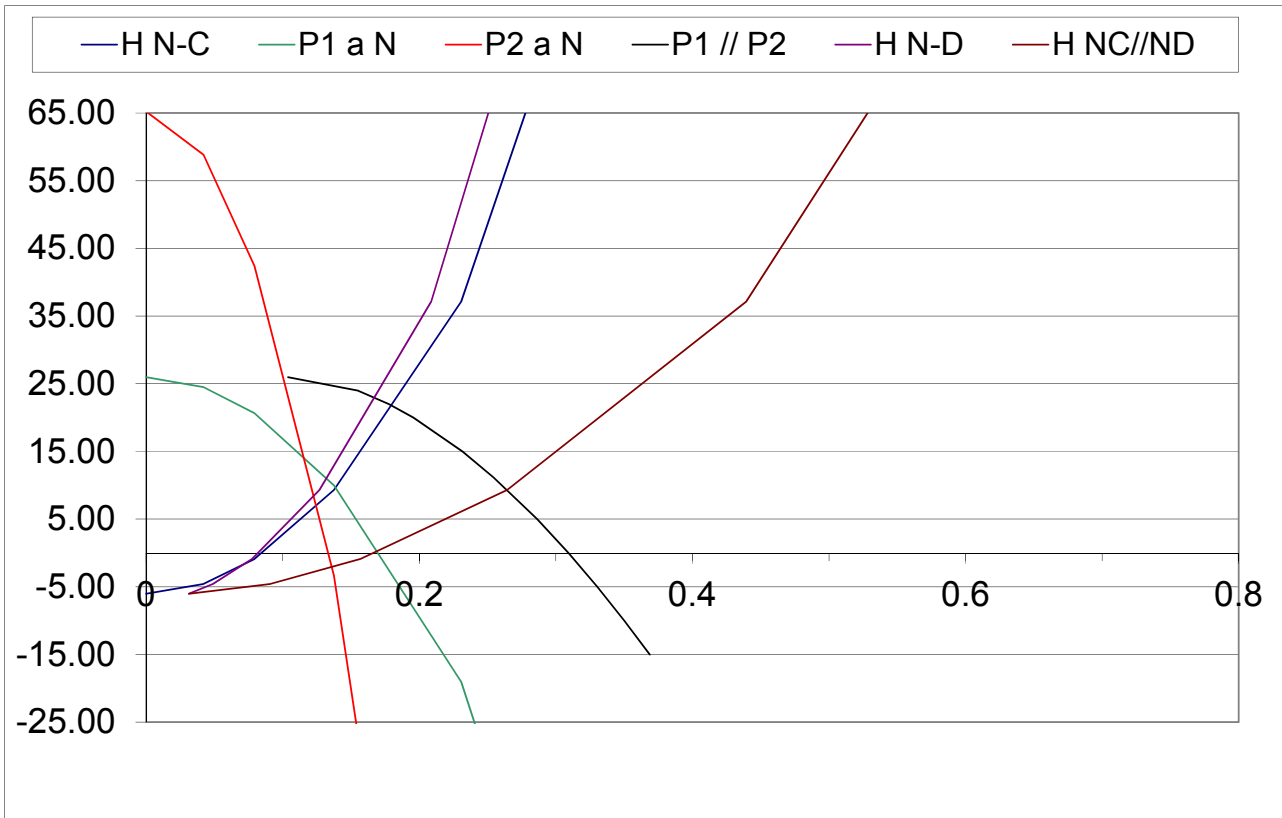
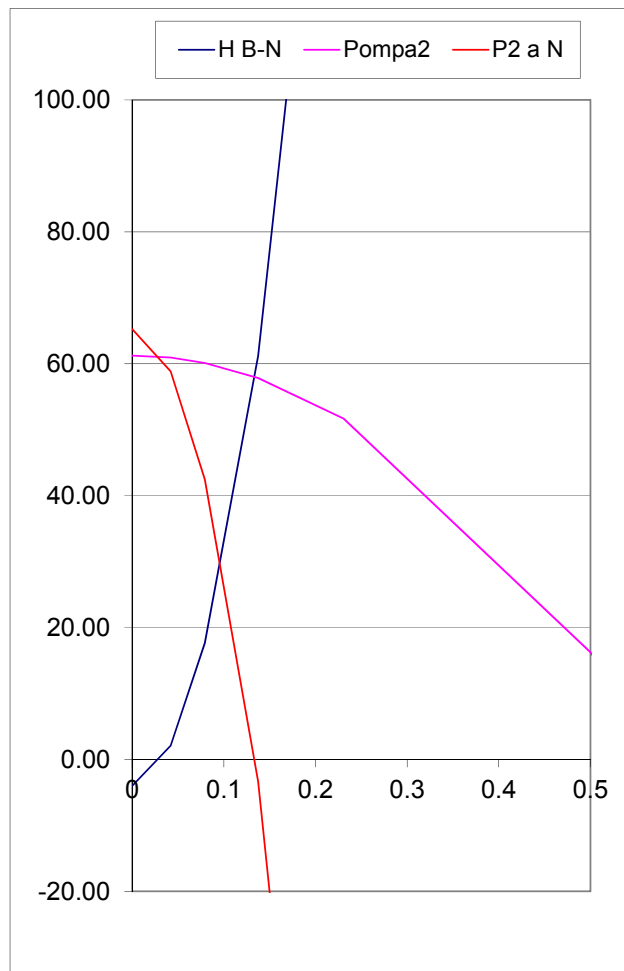
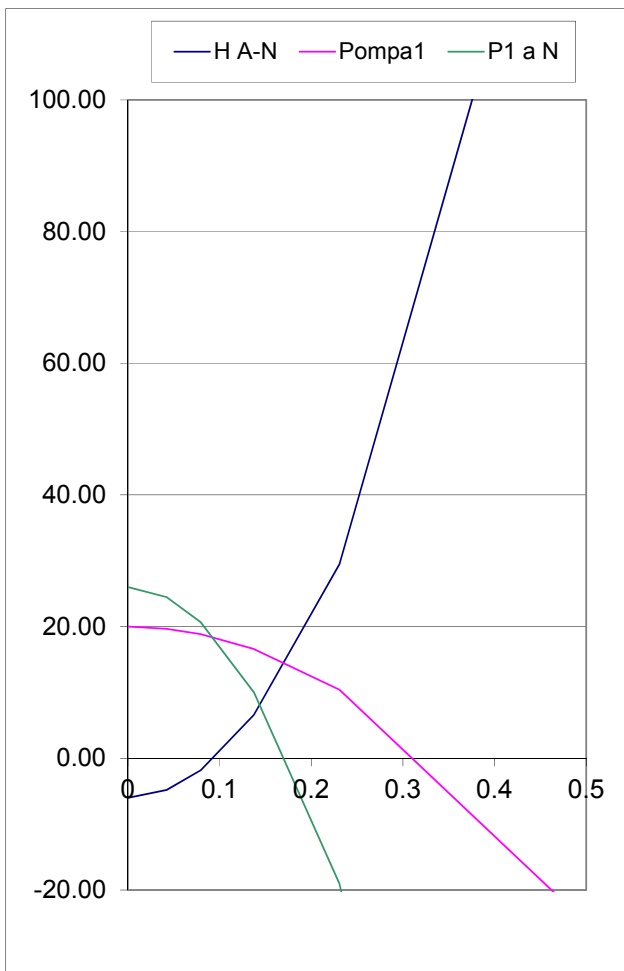
$$H = -1.59 \text{ m}$$

$$Q_1 = 0.107 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 0.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_C = 0.0737 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_D = 0.0731 \text{ m}^3/\text{s}$$



Esercizio n°3

Esercizio n°3

1° LIVELLETTA

Sede stradale	ip	70 mm/h	φ	1
So	0,6 %	Caditoia Reticuline		
Sx	1,5 %	Lungh	0,5 m	
Lungh	50 m	Largh W	0,5 m	
Largh	8 m			
Ks	66 m ^{1/3} s ⁻¹	Interasse	25 m	
T	1,5 m	V Sp.Over	1,78 m/s	

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 0,0052 m³/s 5,171 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 0,0039 m³/s 3,889 l/s <Qmax

2° LIVELLETTA

Sede stradale	ip	70 mm/h	φ	1
So	1,4 %	Caditoia Reticuline		
Sx	1,5 %	Lungh	0,5 m	
Lungh	50 m	Largh W	0,5 m	
Largh	8 m			
Ks	66 m ^{1/3} s ⁻¹	Interasse	25 m	
T	1,5 m	V Sp.Over	1,78 m/s	

Calcolo la portata per metro lineare di strada

Q1 0,0002 m³/s 0,156 l/s

Portata massima che può defluire in cunetta

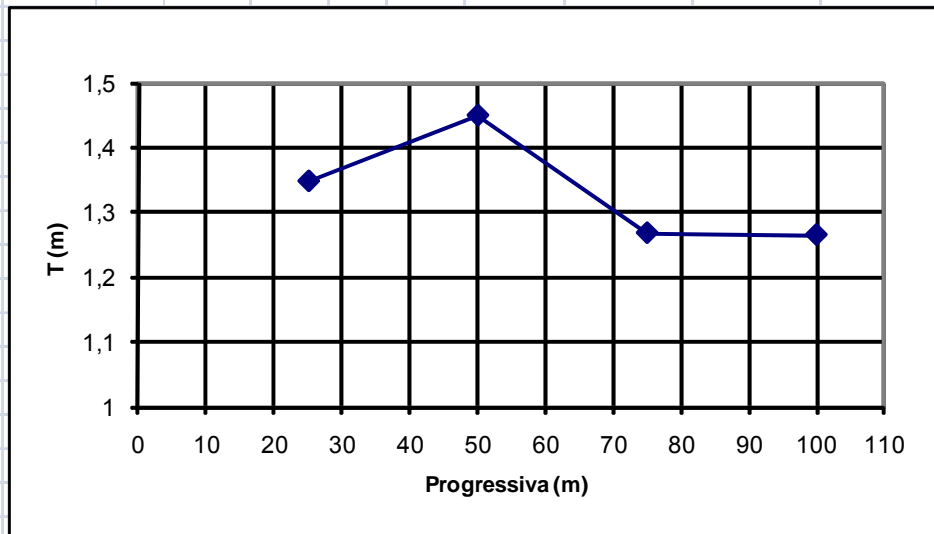
Qmax 0,0079 m³/s 7,898 l/s $Q=0.376 \cdot K_s \cdot T^{8/3} \cdot S_x^{5/3} \cdot S_o^{1/2}$

Portata per tratto

Qt 0,0039 m³/s 3,889 l/s <Qmax

Riassunto

Caditoia	Progr	T
1	25	1,35
2	50	1,45
4	75	1,27
5	100	1,26



Calcolo delle portate intercettate e by-passate dalle singole caditoie

1° LIVELLETTA

Caditoia	1	Progressiva	25		
Q	0,0039 m3/s	3,889 l/s	<Qmax=	5,171	l/s
T	1,348 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			

2° LIVELLETTA

Caditoia	2	Progressiva	50		
Q	0,0047 m3/s	4,724 l/s	<Qmax=	5,171	l/s
T	1,45 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	3	Progressiva	75		
Q	0,005 m3/s	5,044 l/s	<Qmax=	7,898	l/s
T	1,2678 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			

2° LIVELLETTA

Caditoia	4	Progressiva	100		
Q	0,005 m3/s	5,013 l/s	<Qmax=	7,898	l/s
T	1,2649 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			