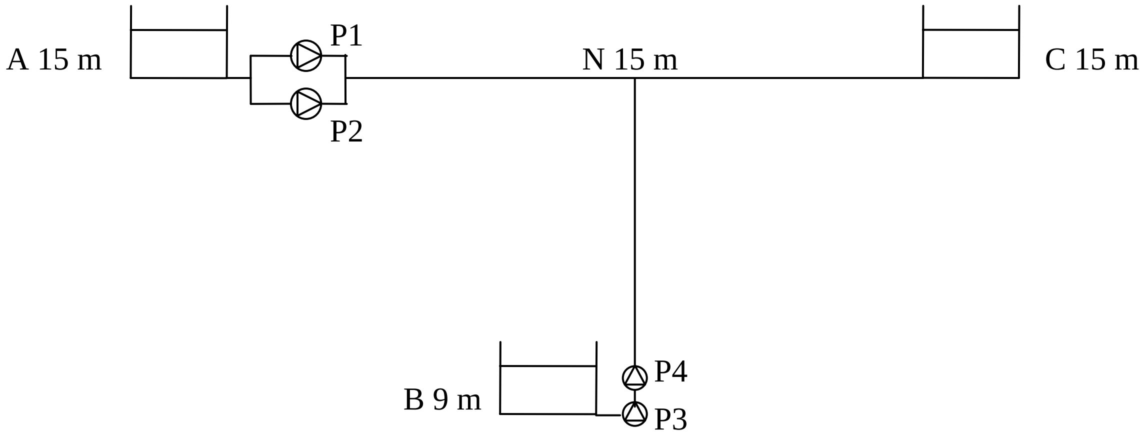
Esercizio n°1 (punti 6)

Si consideri l'impianto di sollevamento rappresentato in figura costituito da quattro pompe che prelevano acqua da due serbatoi A e B per alimentare un terzo serbatoio C.
I serbatoi A e C sono posti alla quota di 15 m. Il serbatoio B è posto alla quota di 9 m.



La condotta di mandata è unica nel tratto compreso tra il nodo N, posto alla quota di 15 m ed il serbatoio C. Tutti e tre i tratti, AN, BN e NC, sono lunghi 3500 m.
Le relative perdite di possono essere rappresentate dalla relazione:
$\Delta H = \gamma \cdot L \cdot Q^2$ (dove ΔH e L in m, e Q in l/s)
con γ=7*10^{-7} (l/s)$^{-2}$ per il tratto AN e γ=6*10^{-7} (l/s)$^{-2}$ per i tratti BN e NC

Le curve caratteristiche delle pompe ed i relativi rendimenti sono:
Pompa 1 e Pompa 2
$H = r - s \cdot Q^2$ con r=34 m, s=0.0015 m/(l/s)^2 a n=870 giri/min
Pompa 3 e Pompa 4
$H = t - u \cdot Q^2$ con t=15 m, u=0.001 m/(l/s)^2 a n=870 giri/min

Calcolare la portata recapitata al serbatoio C e le singole portate elaborate da ciascuna pompa e le relative prevalenze supponendo che le pompe P1, P2 e P4 operino a 870 giri/min mentre la pompa P3 opera a 1170 giri/min.

Esercizio n°2 (punti 5)

Si dimensioni il tratto 3 della rete di drenaggio mista riportati in figura. I tratti 1 e 2 sono già stati dimensionati. Le caratteristiche dei tratti sono indicate in tabella.

φ_{IMP}=0.80; φ_{PERM}=0.10;

Tempo di accesso in rete: 5 min.

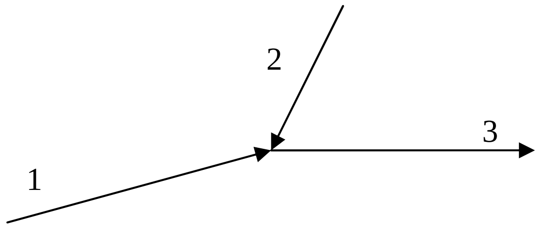
Scabrezza tubazioni: Ks=70 m$^{1/3}$/s

Curva di possibilità climatica: $h = a\theta^n$ con a = 33 mm/ora^n e n = 0.34.

Dotazione idrica q= 360 l/ab.d;

Coefficiente di afflusso in rete Φ=0.85; coefficiente di punta orario k_h=1.5;

Per la portata nera minima si assuma $Q_{n,min} = 0.67 \cdot \dfrac{q \cdot N_{ab}}{86400}$.



N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)	D (mm)
1	2.3	1300	50	150	0.4	700
2	2.0	1200	40	250	0.4	600
3	1.0	1000	55	150	0.6	

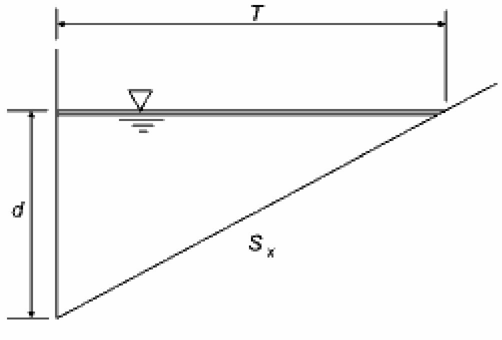
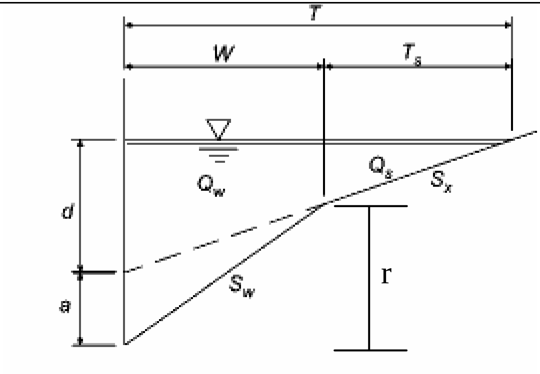
h/D	P/D	A/D^2	R/D	V/V_r	Q/Q_r	h/D	P/D	A/D^2	R/D	V/V_r	Q/Q_r
0.05	0.45	0.015	0.033	0.257	0.005	0.55	1.67	0.443	0.265	1.039	0.586
0.10	0.64	0.041	0.064	0.401	0.021	0.60	1.77	0.492	0.278	1.072	0.672
0.15	0.80	0.074	0.093	0.517	0.049	0.65	1.88	0.540	0.288	1.099	0.756
0.20	0.93	0.112	0.121	0.615	0.088	0.70	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 4)

Si consideri una strada asfaltata (coefficiente di scabrezza di Strickler K=66 $m^{1/3}/s$) la cui pendenza trasversale è S_x=1.5%. Supponendo che a lato della strada sia posizionata una cunetta triangolare e che il massimo allagamento della sede stradale sia T=1.2 m determinare la minima pendenza longitudinale S_0 che si dovrebbe dare alla sede stradale per consentire il deflusso di una portata Q=5 l/s nel rispetto del massimo allagamento T imposto.

A parità di pendenza longitudinale S_0, trasversale S_x e allagamento T, quale è la portata che defluirebbe in una cunetta ribassata con r=2 cm e W=0.4 m (vedi figura)?

Infine, con riferimento al caso di cunetta triangolare calcolare la portata intercettata e by-passata da una caditoia a grata con barre parallele alla direzione della corrente di larghezza W=0.4 m e lunghezza L=0.4.

cunetta triangolare	*cunetta ribassata*
	
Equazioni: $Q = C_f K S_x^{5/3} T^{8/3} S_0^{1/2}$ C_f=0.376;	Equazioni: $Q_s = C_f K S_x^{5/3} T_s^{8/3} S_0^{1/2}$ C_f=0.376
$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}$	$E_0 = \left\{ 1 + \frac{S_w / S_x}{\left(1 + \frac{S_w / S_x}{(T/W) - 1}\right)^{8/3} - 1} \right\}^{-1}$
	$Q_s = Q(1 - E_0)$

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

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

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

Domande (punti 3)

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. Illustrare le ipotesi ed il procedimento per il corretto dimensionamento degli angoli in ingresso ed in uscita della palettatura di una pompa assiale.

3. Si definiscano e si descrivano il rendimento idraulico, volumetrico, organico e totale di una turbopompa.

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. Descrivere la metodologia ed i passi per il dimensionamento della colonna di scarico di un edificio con impianto di ventilazione primaria. Che cosa cambierebbe, in fase di dimensionamento, se la ventilazione fosse parallela diretta?

Esercizio 1

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

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

Dal momento le pompe P_1 e P_2 operano in parallelo, è necessario determinare il valore della portata Q sollevata dalle due pompe, a parità di prevalenza H.

$$Q = 2\sqrt{\frac{r-H}{s}} \quad \text{ovvero} \quad H = r - \frac{s}{4}Q^2 \qquad (2)$$

Supponendo di posizionare le pompe P_1 e P_2 in corrispondenza del nodo N, l'equazione della curva caratteristica delle due pompe poste in parallelo assume la seguente forma:

$$H_{P_1//P_2} - H_{AN} = H = r - z_N + z_A - \left(\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}\right)Q^2 \qquad (3)$$

dove il termine H_{AN}, definito dalla relazione (4), rappresenta le perdite di carico che il sistema deve vincere per poter sollevare la portata al nodo N.

$$H_{AN} = z_N - z_A + \gamma_{AN} \cdot L_{AN} \cdot Q^2 \qquad (4)$$

Esplicitando la relazione (3) rispetto la portata si ottiene l'equazione del sistema delle pompe P_1 e P_2, poste in parallelo, riportata al nodo N:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} \qquad (5)$$

Si considerino ora le pompe P_3 e P_4.

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

$$\begin{cases} \dfrac{H}{H_3^*} = \left(\dfrac{n_3}{n_3^*}\right)^2 \\ \dfrac{Q}{Q_3^*} = \dfrac{n_3}{n_3^*} \end{cases} \rightarrow H_3^* \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 = t - u \cdot Q_3^{*2} \cdot \left(\frac{n_3}{n_3^*}\right)^2 \rightarrow H_3^* = t\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - u \cdot Q_3^{*2} \qquad (6)$$

La pompa P_3 è in serie con la pompa P_4, quindi sommando le prevalenze a parità di portata si ha

$$H = t\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - u \cdot Q_3^{*2} + t - u \cdot Q^2 \qquad (6)$$

Analogamente a quanto visto per il sistema di pompe P_1-P_2, si riporta il sistema di pompe P_3-P_4 al nodo N tenendo conto delle perdite di carico H_{BN} che è necessario vincere per poter sollevare la portata al nodo N:

$$H_{P_3P_4} - H_{BN} = H = t\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 - u \cdot Q_3^{*2} + t - u \cdot Q^2 - z_N + z_B - \gamma_{BN} \cdot L_{BN} \cdot Q^2 \qquad (7)$$

ovvero

$$H = t\left(\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 + 1\right) - z_N + z_B - \left(\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u\right) \cdot Q^2 \qquad (8)$$

da cui:

$$Q = \sqrt{\frac{t\left(\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 + 1\right) - z_N + z_B - H}{\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u}} \qquad (9)$$

A questo punto si procede mettendo in parallelo il sistema di pompe P_1-P_2 con il sistema di pompe P_3-P_4, in corrispondenza del nodo N. Sommando quindi le portate a parità di prevalenza, si ottiene che:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} + \sqrt{\frac{t\left(\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 + 1\right) - z_N + z_B - H}{\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u}} \qquad (10)$$

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

$$H_{NC} = z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2 \qquad (11)$$

Mettendo a sistema l'equazione (10) con l'equazione (11), si ottiene:

$$Q - \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - (z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2)}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} + \sqrt{\frac{t\left(\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2 + 1\right) - z_N + z_B - (z_C - z_N + \gamma_{NC} \cdot L_{NC} \cdot Q^2)}{\gamma_{BN} \cdot L_{BN} + 2u}} = 0 \qquad (12)$$

Si procede quindi con la risoluzione dell'equazione rispetto al valore della Q, in quanto unica incognita:

Si ottiene che:

Q=108.95 l/s

Quindi il valore della prevalenza è pari a :

$$H = z_C - z_N + \gamma L_{CN} Q_{CN}^2 = 24.93m$$

Il sistema P1//P2 solleva una portata pari a:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{\frac{s}{4} + \gamma_{AN} L_{AN}}} = 56.67 \text{ l/s}$$

Il sistema P3serieP4 solleva una portata pari a:

$$Q=\sqrt{\frac{t\left(\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2+1\right)-z_N+z_B-H}{\gamma_{BN}\cdot L_{BN}+2u}}$$ =52.27 l/s

La portata sollevata da ciascuna pompa è quindi pari a:

Pompa P_1: Q=56.67/2=28.34 l/s

Pompa P_2: Q=56.67/2=28.34 l/s

Pompa P_3: Q=52.27 l/s

Pompa P_4: Q=52.27 l/s

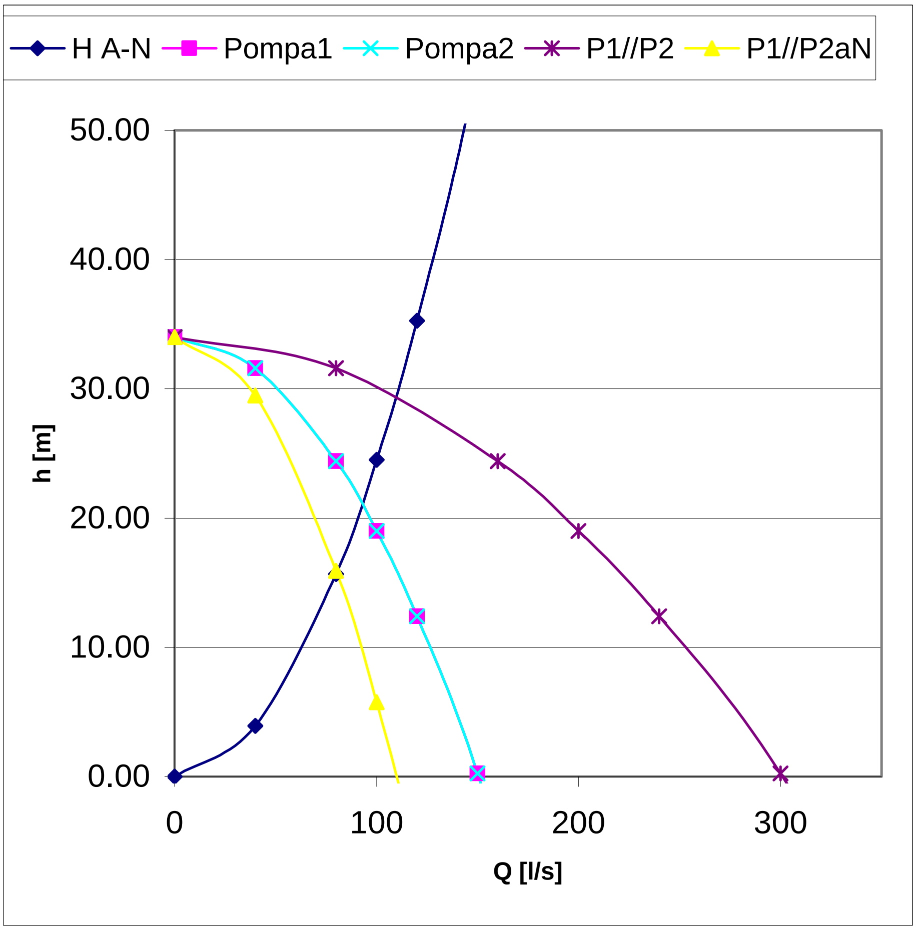
Le prevalenze effettive fornite da ciascuna pompa sono quindi pari a:

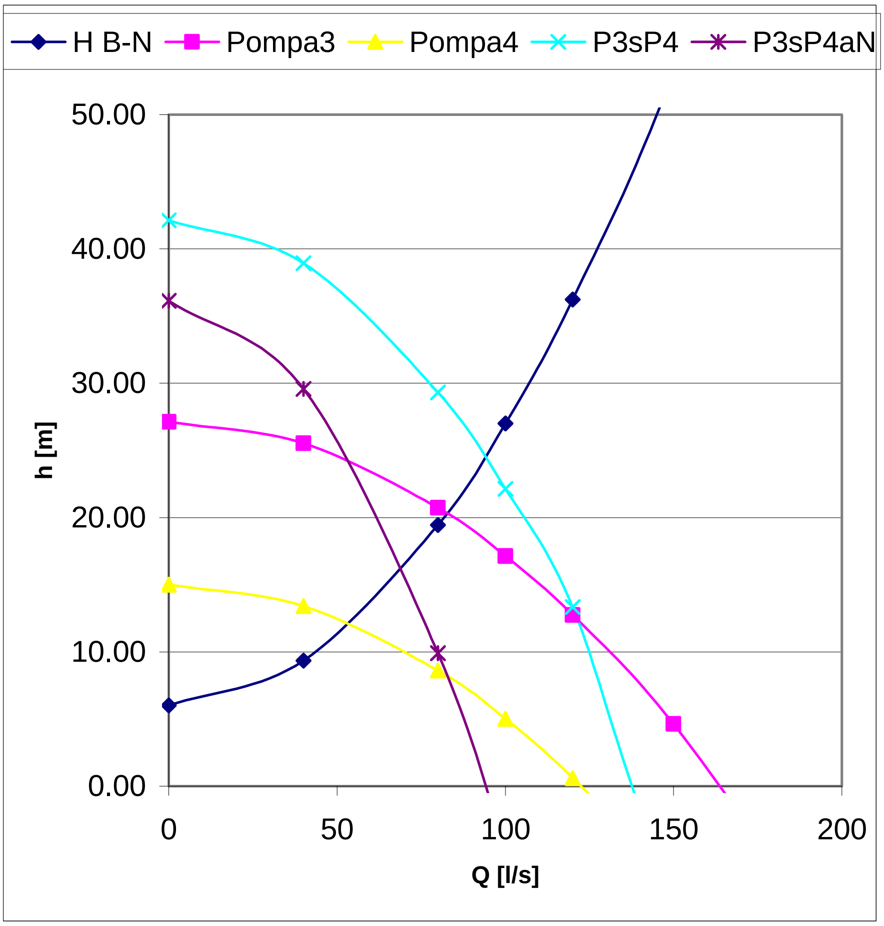
Pompa P_1: $H=r-sQ^2=32.79m$

Pompa P_2: $H=r-sQ^2=32.79m$

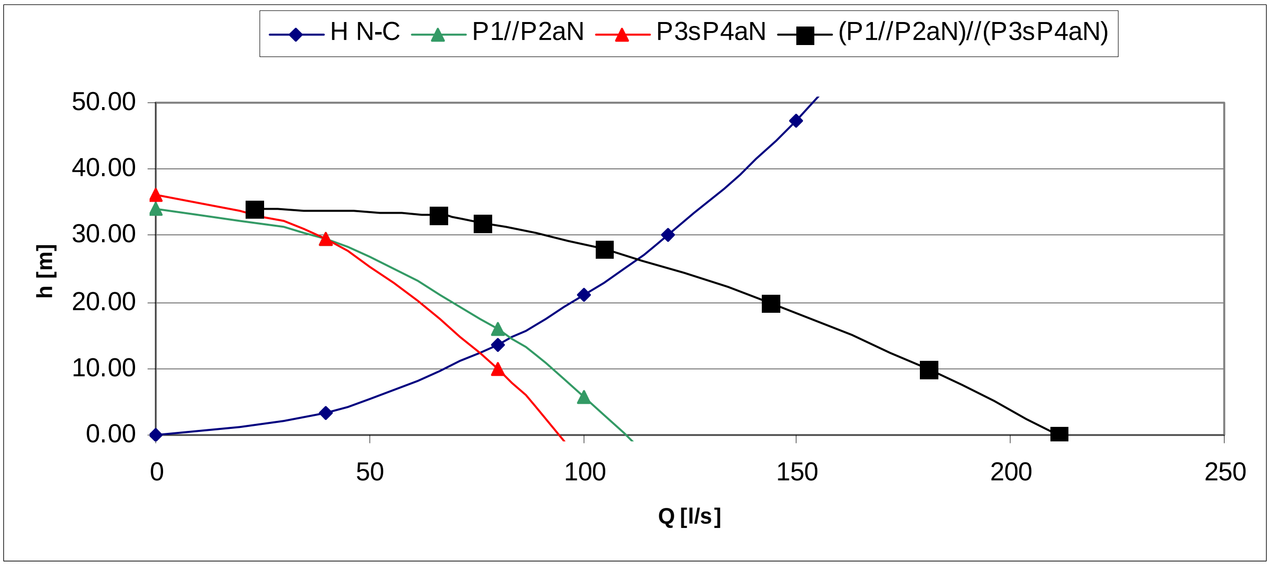
Pompa P_3: $H=t\left(\frac{n_3^*}{n_3}\right)^2-u\cdot Q^2=24.40m$

Pompa P_4: $H=t-uQ^2=12.27m$





H B-N
Pompa3
Pompa4
P3sP4
P3sP4aN
h [m]
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
0
50
100
150
200
Q [l/s]



H N-C
P1//P2aN
P3sP4aN
(P1//P2aN)//(P3sP4aN)
h [m]
50.00
40.00
30.00
20.00
10.00
0.00
0
50
100
150
200
250
Q [l/s]

Esercizio n°2

Costanti:	D.I. (q)	Coeff. Affl. Nera	Kh	Kmin	φ imp	φ perm	a	n
	360 l/ab*di	0.85	1.5	0.67	0.8	0.1	33	0.34

Tratto condotta	Abitanti N ab	Q nera massima Qnmax l/sec	Q nera minima Qnmin l/sec	Area scolante parziale Sp ha	Area scolante totale Stot ha	Impermeabilità IMP %	Lunghezza L m	Diametro ipotizzato D m	Pendenza i %	Scabrezza ks	Velocità a sezione piena Vp m/s	Portata a sezione piena Qp l/s	Tempo di scolo Ta min	Tempo di transito Tr min	Tempo di corrivazione Tcr min	Intensità di pioggia ic mm/h	Coefficiente d'afflusso φ	Portata critica Qc l/s	Portata massima Qc+Qn,max Qmax l/s	Rapporto tra le portate Qmax/Qp	Percentuale di riempimento h/d	Rapporto tra le velocità Vmax/Vp	Velocità per Qmax Vmax m/s	Rapporto tra le portate Qmin/Qp	Percentuale di riempimento h/d	Rapporto tra le velocità Vmin/Vp	Velocità per Qmin Vmin m/s
1	1300	6.91	3.63	2.3	2.3	50	150	***0.7***	0.4	70	1.39	533	5	1.80	6.20	147.6	0.45	424.2	431.1	0.809	*0.69*	*1.11*	1.54	0.0068	*0.06*	*0.29*	0.402
2	1200	6.38	3.35	2.0	2	40	250	***0.6***	0.4	70	1.25	353	5	3.33	7.22	133.5	0.38	281.8	288.1	0.815	*0.69*	*1.11*	1.39	0.0095	*0.08*	*0.32*	0.400
3	1000	18.59	9.77	1.0	5.3	55	150	***0.8***	0.6	70	1.85	932	5	4.68	8.12	123.5	0.43	782.3	800.9	0.859	*0.72*	*1.12*	2.08	0.0105	*0.08*	*0.32*	0.593

Esercizio n°3

Si consideri la cunetta triangolare. Fissata la portata Q=0.005 m^3/s e T=1.2 m si ha che

$$S_0 = \left[Q \;/\left(C_f KT^{\,8/3} S_x^{5/3} \right) \right]^2 = 1.84\%$$

Nel caso di cunetta ribassata, fissata S_0=1.84% e T=1.2 m la portata defluente si ottiene da:

$$E_0 = \left[1 + \frac{\dfrac{S_w}{S_x}}{\left(1 + \dfrac{\dfrac{S_w}{S_x}}{\dfrac{T}{W} - 1} \right)^{\frac{8}{3}} - 1} \right]^{-1} = 0.79$$

$$Q_s = C_f K S_x^{5/3} T_s^{8/3} S_0^{1/2} = 0.0017 \quad m^3/s$$

La portata Q defluente in cunetta è quindi pari a:

$$Q = \frac{Q_s}{1 - E_0} = 0.00814 \quad m^3/s$$

Per quanto riguarda la portata intercettata e by-passata dalla caditoia posta in cunetta triangolare si ha:

$$E_0 = 1 - \left(1 - \frac{W}{T} \right)^{2.67} = 0.66$$

Inoltre la sezione è pari a:

$$A = \frac{T^2 S_x}{2} = 0.011 \text{ m}^2$$

quindi la velocità è:

$$v = \frac{Q}{A} = 0.46 \text{ m/s}$$

La velocità v_0 di splash-over è:

$$v_0 = 2.54 L^{0.51} = 1.59 \text{ m/s}$$

Essendo la velocità *v* minore della velocità v_0 di splash-over si ha $R_f = 1$.

$$R_s = \left(1 + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}} \right)^{-1} = 0.081$$

La portata intercettata è quindi:

$$Q_{\text{int}} = Q\left(R_f \cdot E_0 + R_s \cdot (1 - E_0)\right) = 0.0034 \quad m^3 / s$$

e la portata by-passata:

$$Q_{by-pass} = Q - Q_{\text{int}} = 0.0016 \quad m^3 / s$$