

Esercizio n°1 (punti 6)

Si consideri l'impianto di sollevamento rappresentato in figura costituito da una pompa la cui curva caratteristica a $n=1000$ giri/min è rappresentata dall'equazione $H=r-sQ^2$ con $r=20$ m e $s=130$ s²/m⁵. Il serbatoio A è posizionato a 5 m s.l.m. ed il serbatoio B a 19 m s.l.m. I tiranti nei serbatoi A e B possono essere considerati costanti e pari rispettivamente a 1 m e 2 m.

Le caratteristiche delle tubazioni di chiamata e mandata sono riportate in tabella 1. Per le perdite di carico distribuite si consideri la formulazione di Bazin $\beta = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}}\right)^2$.

Tratto	L [m]	D [mm]	γ_B [m ^{1/2}]	Perdite concentrate
Chiamata	20	300	0.12	Imbocco, 4 gomiti a 45°
Mandata	300	400	0.12	Sbocco, 1 valvola di non ritorno, 2 gomiti a 45°

Tabella 1. Caratteristiche delle tubazioni di chiamata e mandata

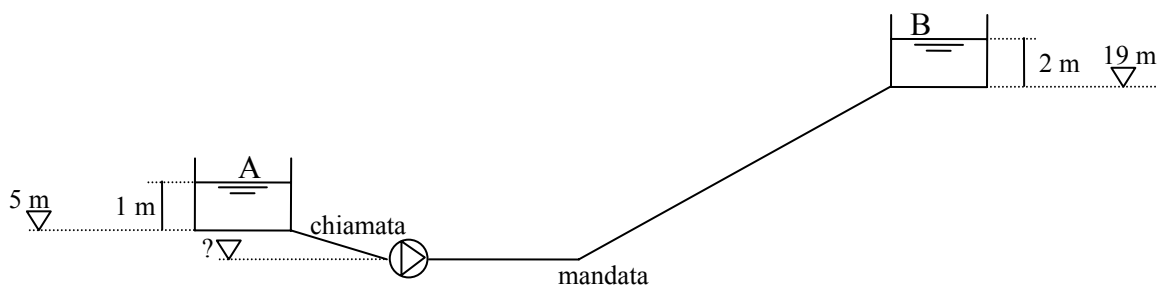
Imbocco	0.5
Sbocco	1
Gomito 45°	0.2
Valvola non ritorno	2.5

Tabella 2. I coefficienti ξ per il calcolo delle perdite di carico concentrate: $\Delta H = \xi \cdot V^2 / 2g$

1. Calcolare il numero di giri n^* a cui dovrebbe operare la pompa al fine di sollevare dal serbatoio A al serbatoio B una portata Q pari a 0.4 m³/s.
2. Si calcoli inoltre la quota, rispetto al livello medio marino, a cui deve essere posizionata la pompa al fine di evitare cavitazione assumendo che operi a n^* e a fronte di una pressione di vapore dell'acqua di 1.7 kPa e una pressione atmosferica di 101.320 kPa.

Si valuti l'NPSH attraverso la legge di Thoma:

$$\sigma^* = NPSH/h; \quad \sigma^* = 0.15 \omega_s^{1.33}; \quad \omega_s = 2 \cdot \pi \cdot n \frac{\sqrt{Q}}{(gh)^{0.75}}$$



Esercizio n°2 (punti 5)

Con riferimento alla rete di drenaggio urbana mista riportata in figura si dimensiona il tratto 4 sulla base dei dati sotto riportati e sapendo che i tratti 1, 2 e 3 sono già stati dimensionati ed hanno le caratteristiche riportate in tabella.

$$\varphi_{IMP}=0.80; \quad \varphi_{PERM}=0.10;$$

Tempo di accesso in rete: 5 min.

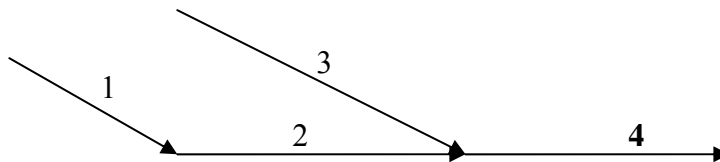
$$\text{Scabrezza tubazioni: } K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$\text{Curva di possibilità climatica: } h = a\theta^n \text{ con } a = 30 \text{ mm/ora}^n \text{ e } n = 0.4.$$

$$\text{Dotazione idrica } q= 380 \text{ l/ab.d.};$$

$$\text{Coefficiente di afflusso in rete } \Phi=0.85; \text{ coefficiente di punta orario } k_h=1.5;$$

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



N° ramo	Area sottesa parziale (ha)	Abitanti equivalenti	Impermeabilità (%)	Lunghezza (m)	Pendenza (%)	Diametro (m)
1	1.0	800	35	100	0.6	0.4
2	0.5	1400	40	80	0.6	0.5
3	1.5	800	45	150	0.5	0.5
4	1.0	700	45	100	0.3	

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

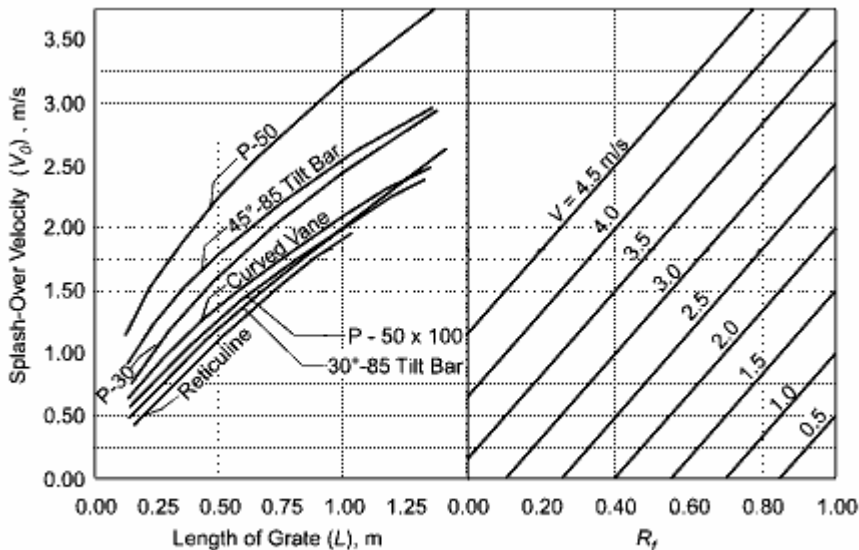
Esercizio n°3 (punti 4)

Una strada asfaltata ha pendenza trasversale $S_x=2\%$, pendenza longitudinale $S_0=2.2\%$ e coefficiente di scabrezza di Strickler $K=66 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. A lato della strada è posizionata una cunetta ribassata con $r=2 \text{ cm}$ e $W=0.4 \text{ m}$ (vedi figura).

1. Assumendo un allagamento della sede stradale $T=1 \text{ m}$ calcolare la portata defluente in cunetta.
2. Calcolare la pendenza trasversale S_x^* che si dovrebbe assegnare alla sede stradale per consentire il deflusso della medesima portata ma in una cunetta triangolare, assumendo sempre un allagamento della sede stradale $T=1 \text{ m}$.
3. Per entrambi i casi (cunetta ribassata e cunetta triangolare semplice con pendenza S_x^*) calcolare la portata intercettata e by-passata da una caditoia a grata P50, di larghezza $W=0.4 \text{ m}$ e lunghezza $L=0.4 \text{ m}$.

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

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



Domande (punti 3 ciascuna)

1. Si definiscano e si descrivano il rendimento idraulico, volumetrico, organico e totale di una turbopompa.
2. Illustrare il concetto di similitudine fluidodinamica e i coefficienti adimensionali Φ , Ψ , Λ , ω_s e D_s .
3. Partendo da una serie di altezze di precipitazione massime annue (ad esempio sulle durate di 1, 3, 6 e 12 ore) descrivere la trattazione statistica per ricavare i parametri a ed n della curva di possibilità climatica $h = a \cdot t^n$.

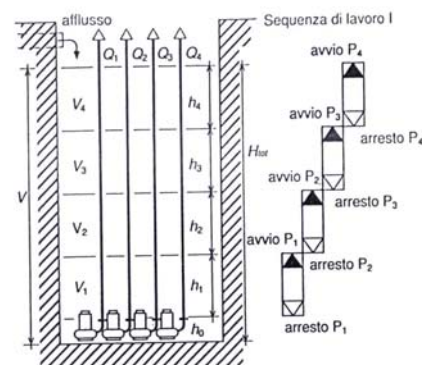
4. Si consideri il bacino di pescaggio di 4 pompe a cui sequenza di avvio è riportata nella figura a lato.

Si dimostri la relazione:

$$V_k = Tc_k \frac{Q_k}{4}$$

dove:

- V_k - volume associato alla k-ma pompa;
- Tc_k - tempo di ciclo della k-ma pompa;
- Q_k - portata sollevata dalla k-ma pompa.



5. Illustrare i passi e le ipotesi per il corretto dimensionamento di una grondaia a sezione rettangolare. In particolare spiegare da dove deriva la verifica $\Delta h \leq 0.23y_c$ essendo Δh la perdita di carico e y_c la profondità critica nella sezione della grondaia in corrispondenza del pluviale.

Esercizio n°1

L'equazione caratteristica dell'impianto è:

$$z_B - z_A = kQ^2$$

Con:

$$z_A = 5 + 1 = 6 \text{ m};$$

$$z_B = 19 + 2 = 21 \text{ m};$$

$$k = k_{chiam} + k_{mand} = 88.24 s^2 m^{-5} \quad \text{Coefficiente perdite di carico}$$

essendo:

$$k_{chiam} = k_{c,d} + k_{c,c} = \frac{\beta_c \cdot L_c}{D_c^5} + \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{2 \cdot g \cdot \left(\frac{\pi D_c^2}{4}\right)^2} = 27.86 s^2 m^{-5}$$

$$k_{mand} = k_{m,d} + k_{m,c} = \frac{\beta_m \cdot L_m}{D_m^5} + \sum_{i=1}^n \frac{\xi_i}{2 \cdot g \cdot \left(\frac{\pi D_m^2}{4}\right)^2} = 60.38 s^2 m^{-5}$$

$$\beta_c = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D_c}}\right) = 0.0017726 \quad \text{con } \gamma_B = 0.12 m^{1/2} \text{ e } D_c = 0.3 \text{ m}$$

$$\beta_m = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D_m}}\right) = 0.001631 \quad \text{con } \gamma_B = 0.12 m^{1/2} \text{ e } D_m = 0.4 \text{ m}$$

Dal momento che si richiede che la portata Q sollevata al serbatoio B sia pari a $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, dalla curva caratteristica dell'impianti si ricava la prevalenza:

$$H_B = (z_B - z_A) + kQ_B^2 = 29.11 \text{ m}$$

È necessario quindi individuare il valore di n^* affinché la pompa, sollevando una portata Q_B di $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$, sia in grado di fornire una prevalenza H_B pari a 29.11 m .

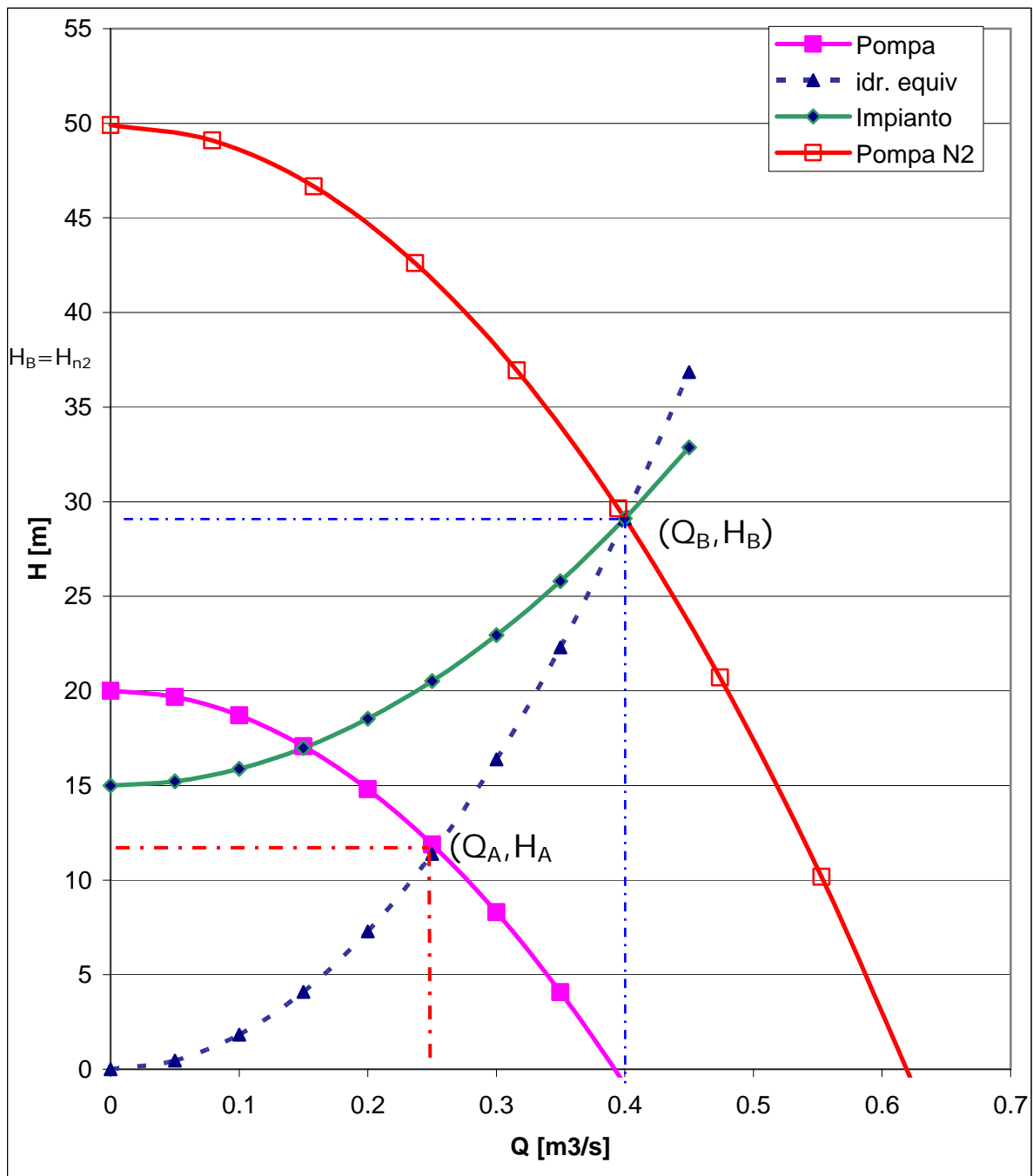
Si applica quindi il principio di similitudine fluidodinamica per individuare, sulla curva della pompa a 1000 giri/min , il punto A idraulicamente equivalente a B.

$$\begin{cases} \frac{H_A}{H_B} = \left(\frac{Q_A}{Q_B}\right)^2 \Rightarrow H_A = \left(\frac{Q_A}{Q_B}\right)^2 H_B \Rightarrow \left(\frac{Q_A}{Q_B}\right)^2 H_B = r - sQ_A^2 \Rightarrow Q_A = 0.253 m^3 s^{-1} \\ H_A = r - sQ_A^2 \end{cases}$$

Dalla seconda equazione del sistema, nota la portata si ottiene che: $H_A = 11.67 \text{ m}$.

Quindi:

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{Q_A}{Q_B} \Rightarrow n_B = \frac{Q_B}{Q_A} n_A = 1580 \text{ giri/min}$$



NPSH

Attraverso la legge di Thoma si valuta l'NPSH richiesto pari a 7.53 m:

Al fine di evitare la cavitazione la pompa dovrebbe essere posizionata a:

$$\Delta z = NPSH_{rich} - \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{P_{vap}}{\gamma} + y_a = 1.83m \quad \text{essendo } y_a = k_{chiam} Q^2.$$

sotto il pelo libero del serbatoio, ovvero a:

$$z_A - \Delta z = 6 - 1.83 = 4.17 \text{ m s.l.m.}$$

Esercizio n°2

Costanti:		D.I. (q)		Coeff. Affl. Nera		Kh		Kmin		φ imp		φ perm		a		n											
		380 l/ab*di		0.85		1.5		0.67		0.8		0.1		30		0.4											
Tratto condotta	Abitanti	Q nera massima	Q nera minima	Area scolante parziale	Area scolante totale	Impermeabilità	Lunghezza	Diametro ipotizzato	Pendenza	Scabrezza	Velocità a sezione piena	Portata a sezione piena	Tempo di scolo	Tempo di transito	Tempo di corrivazione	Intensità di pioggia	Coefficiente d'afflusso	Portata critica	Portata massima Qc+Qn,max	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Qmax	Rapporto tra le portate	Percentuale di riempimento	Rapporto tra le velocità	Velocità per Qmin
	N ab	Qnmax l/sec	Qnmin l/sec	Sp ha	Stot ha	IMP %	L m	D m	i %	ks	Vp m/s	Qp l/s	Ta min	Tr min	Tcr min	ic mm/h	φ	Qc l/s	Qmax l/s	$\frac{Qmax}{Qp}$	h/d	$\frac{Vmax}{Vp}$	Vmax m/s	$\frac{Qmin}{Qp}$	h/d	$\frac{Vmin}{Vp}$	Vmin m/s
1	800	4.49	2.36	1.0	1	35	100	0.4	0.6	70	1.17	147	5	1.43	5.95	120.0	0.35	115.0	119.5	0.814	0.69	1.12	1.31	0.0161	0.09	0.37	0.432
2	1400	12.34	6.48	0.5	1.5	40	80	0.5	0.6	70	1.36	266	5	2.41	6.61	112.7	0.36	167.5	179.9	0.676	0.6	1.07	1.45	0.0244	0.11	0.43	0.583
3	800	4.49	2.36	1.5	1.5	45	150	0.5	0.5	70	1.24	243	5	2.02	6.35	115.5	0.42	199.7	204.2	0.840	0.7	1.12	1.39	0.0097	0.07	0.33	0.408
4	700	20.75	10.90	1.0	4.0	45	100	0.8	0.3	70	1.31	659	5	3.68	7.45	104.9	0.39	458.0	478.7	0.726	0.63	1.09	1.44	0.0165	0.09	0.38	0.498

Esercizio n°3

Si consideri la cunetta ribassata:

Fissato $T=1$ m si ha:

$$E_0 = \left[\frac{1 + \frac{\frac{S_w}{S_x}}{\left(1 + \frac{\frac{S_w}{S_x}}{\frac{T}{W} - 1}\right)^{\frac{8}{3}}}}{\left(1 + \frac{\frac{S_w}{S_x}}{\frac{T}{W} - 1}\right)^{\frac{8}{3}} - 1} \right]^{-1} = 0.835$$

$$Q_s = C_f K S_x^{5/3} T_s^{8/3} S_0^{1/2} = 0.0014 \text{ m}^3 / \text{s}$$

La portata Q defluente in cunetta è quindi pari a:

$$Q = \frac{Q_s}{1 - E_0} = 0.00843 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Considerando la cunetta triangolare, fissata la portata $Q=0.00843 \text{ m}^3/\text{s}$ e $T=1$ m si ha che

$$S_x = \left[\frac{Q_s}{C_f K T^{8/3} S_0^{1/2}} \right]^{3/5} = 2.6\%$$

Per quanto riguarda la portata intercettata e by-passata dalla caditoia, nel caso di cunetta ribassata la sezione è pari a:

$$A = \left(\frac{T_s \cdot S_x + (T_s \cdot S_x + r)}{2} \right) W + \frac{T_s^2 S_x}{2} = 0.0124 \text{ m}^2$$

quindi la velocità è:

$$v = \frac{Q}{A} = 0.68 \text{ m/s}$$

Dal grafico si vede che per una caditoia P50 di lunghezza $L=0.4$ m la velocità v è minore della velocità v_0 di splash-over pari a circa 2 m/s, quindi $R_f = 1$.

$$R_s = \left(1 + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}} \right)^{-1} = 0.055$$

La portata intercettata è quindi:

$$Q_{\text{int}} = Q (R_f \cdot E_0 + R_s \cdot (1 - E_0)) = 0.00712 \text{ m}^3 / \text{s}$$

e la portata by-passata:

$$Q_{by-pass} = Q - Q_{int} = 0.00131 \text{ m}^3 / s$$

Nel caso di cunetta triangolare si ha:

$$E_0 = 1 - \left(I - \frac{W}{T} \right)^{2.67} = 0.744$$

Inoltre la sezione è pari a:

$$A = \frac{T^2 S_x^*}{2} = 0.013 \text{ m}^2$$

quindi la velocità è:

$$v = \frac{Q}{A} = 0.65 \text{ m/s}$$

Dal grafico si vede che per una caditoia P50 di lunghezza $L=0.4$ m la velocità v è minore della velocità v_0 di splash-over pari a circa 2 m/s, quindi $R_f = 1$.

$$R_s = \left(I + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}} \right)^{-1} = 0.077$$

La portata intercettata è quindi:

$$Q_{int} = Q (R_f \cdot E_0 + R_s \cdot (1 - E_0)) = 0.0064 \text{ m}^3 / s$$

e la portata by-passata:

$$Q_{by-pass} = Q - Q_{int} = 0.0020 \text{ m}^3 / s$$