Esercizio n°1 (punti 6)

Si consideri l'impianto di sollevamento riportato in figura costituito da due pompe poste in parallelo le cui curve caratteristiche sono rappresentate dalle equazioni:

Pompa 1: $H = r_1 - s_1 \cdot Q^2$ con r_1=30 m, s_1=0.001 m/(l/s)^2 a n_1=1170 giri/min

Rendimenti:

Q [l/s]	20	40	60	80	100	120	150	200
η	0.55	0.6	0.65	0.7	0.71	0.7	0.67	0.6

Pompa 2: $H = r_2 - s_2 \cdot Q^2$ con r_2=25 m, s_2=0.0015 m/(l/s)^2 a n_2=1170 giri/min

Rendimenti:

Q [l/s]	20	40	70	80	100	120	150	200
η	0.6	0.67	0.72	0.74	0.74	0.72	0.65	0.5

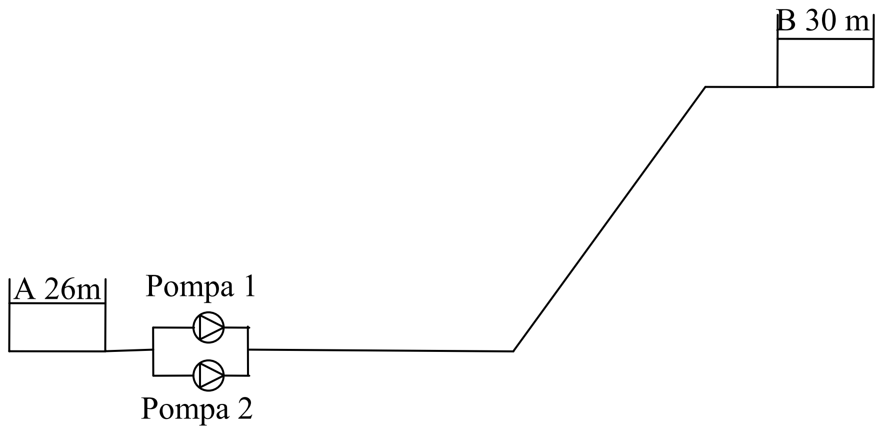
La pompa 1 opera ad un numero di giri fissato n_1=1170 giri/min. La pompa 2 opera ad un numero di giri n_2^* variabile.

Determinare il numero di giri n_2^* tale per cui la portata sollevata dall'impianto dal serbatoio A, posto alla quota di 26 m, al serbatoio B, posto alla quota di 30 m, è pari a *Q=200 l/s*. Le perdite di carico del sistema possono essere approssimate dalla relazione:

$\Delta H = \gamma \cdot Q^2$

con $\gamma = 2 \cdot 10^{-4}$ m/(l/s)^2 essendo ΔH in m, e Q in l/s.

Determinare inoltre i consumi energetici giornalieri per sollevare al serbatoio B un volume di 5000 m^3 al giorno.



Esercizio n°2 (punti 5)

Ad una stazione pluviometrica sono state registrate le seguenti altezze di pioggia massime annuali (mm) per le durate di 15, 30, 45 e 60 minuti:

	Durate			
Anno	***15'***	***30'***	***45'***	***60'***
1955	19.20	34.40		56.80
1956				22.60
1957	24.40	32.20	32.60	34.20
1958		37.00		58.80
1959	15.80			25.80
1960	15.00	18.40		28.40
1961				27.40
1962	9.40	12.60		14.80
1967	20.60	23.00	31.80	38.70
1968	21.20	25.40	28.60	33.20
1969	22.20	32.80	38.20	49.60
1970	30.20	33.60		35.60
1971	23.60	29.60	33.00	37.80
1972	11.60	17.80	24.60	31.80
1973	15.80	17.40	18.00	19.40
1985	12.00	14.80	23.40	24.00
1986	21.60	28.20	32.40	39.30
1987	35.60			39.80
1989	14.60	25.00	42.20	44.20
1990	29.00	37.60	38.00	39.00
1994	26.60	42.00	57.20	64.80

Si valutino:

a) i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 10 anni;

b) l'intensità (mm/h) di una precipitazione di durata 25 minuti con tempo di ritorno di 10 anni.

Commentare i passaggi effettuati per ricavare i parametri *a* ed *n* illustrandone il significato

Formule:

Distribuzione di Gumbel

$$F_x(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x-u)}{\alpha}\right]\right\}; \qquad \sigma^2 = 1.645\alpha^2; \qquad \mu = u + 0.5772\alpha;$$

Modello lineare

$$y = a + bx; \qquad a = \bar{y} - b\bar{x}; \qquad b = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\,\bar{y}}{\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2};$$

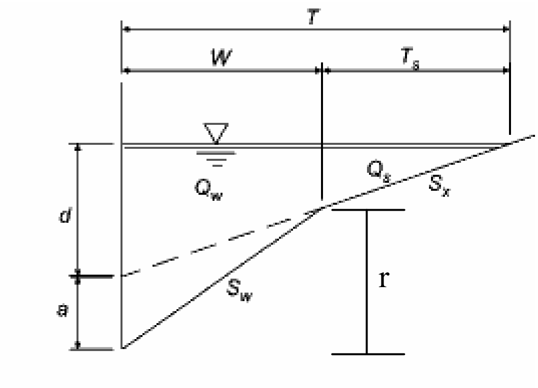
(N.B. Costruire la curva di possibilità climatica in modo da avere le altezze di pioggia in mm e le durate in ore).

Esercizio n°3 (punti 4)

Una strada asfaltata ha pendenza trasversale S_x=1.5%, pendenza longitudinale S_0=2% e coefficiente di scabrezza di Strickler K=66 $m^{1/3}/s$.

Una caditoia a grata P50, di larghezza W=0.4 m è posizionata in una cunetta ribassata con r=2 cm e W=0.4 m (vedi figura) in cui defluisce una portata Q=0.01 m^3/s.

Calcolare la lunghezza minima della caditoia a grata, affinché intercetti almeno l'85% della portata defluente nella cunetta.

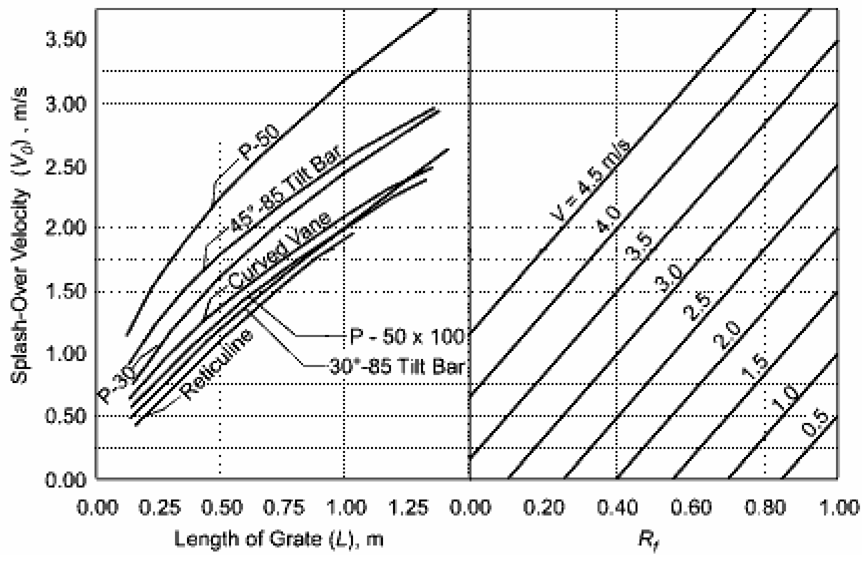


Equazioni:

$$Q_s = C_f K S_x^{5/3} T_s^{8/3} S_0^{1/2} \qquad C_f=0.376$$

$$E_0 = \left\{ 1 + \frac{S_w/S_x}{\left(1+\frac{S_w/S_x}{(T/W)-1}\right)^{8/3} - 1} \right\}^{-1} \qquad Q_s = Q\left(1-E_0\right)$$

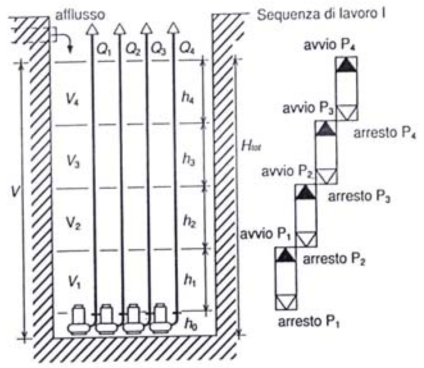
$$R_s = \left(1 + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}}\right)^{-1} \qquad K_s=0.0828$$



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. (N.B. descrivere i singoli passaggi).

2. Si consideri il bacino di pescaggio di 4 pompe la 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.



3. Partendo dalla definizione di scala di deflusso, spiegare il motivo per cui è necessario garantire all'interno delle condotte di un sistema fognario un certo grado di riempimento, indicandone il valore ottimale, oltre che un determinato valore di velocità minima e massima, riportando anche in questo caso i valori di riferimento.

4. Definire il concetto di tempo di corrivazione. Mostrare qual'è la durata di precipitazione critica nell'ipotesi di area contribuente lineare.

5. Illustrare i passi e le ipotesi per il corretto dimensionamento di una grondaia a sezione rettangolare.

Esercizio n°1

Si considerino le equazioni delle curve caratteristiche delle due pompe a $n_1 = n_2 = 1170 giri/\min$:

Pompa 1: $H = r_1 - s_1 \cdot Q^2$ (1)

Pompa 2: $H = r_2 - s_2 \cdot Q^2$ (2)

La pompa 1 opera ad $n_1 = 1170 giri/\min$, mentre la pompa 2 opera ad un numero di giri variabile n_2^*.

Con riferimento alla pompa 2, applicando il principio della similitudine fluidodinamica si ottiene:

$$\begin{cases} \dfrac{H_2}{H_2^*} = \left(\dfrac{n_2}{n_2^*}\right)^2 \\ \dfrac{Q_2}{Q_2^*} = \dfrac{n_2}{n_2^*} \end{cases} \qquad (3)$$

Sostituendo le relazioni (3) nell'equazione (2), e semplificando si ottiene l'equazione della curva caratteristica della pompa 2 a n_2^*:

$$H_2^* \cdot \left(\frac{n_2}{n_2^*}\right)^2 = r_2 - s_2 \cdot Q_2^{*2} \cdot \left(\frac{n_2}{n_2^*}\right)^2 \qquad (4)$$

Quindi le equazioni delle curve caratteristiche delle pompe 1 e 2 sono rispettivamente:

$H = r_1 - s_1 \cdot Q^2$ a n_1 = 1170 giri/min (5)

$H = \left(\dfrac{n_2^*}{n_2}\right)^2 r_2 - s_2 \cdot Q^2$ a $n^*{}_2$ (6)

Esplicitando entrambe le equazioni delle curve caratteristiche in funzione della portata, si ottiene che:

$$Q_1 = \sqrt{\frac{r_1 - H}{s_1}}$$

$$Q_2 = \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2}\right)^2 r_2 - H}{s_2}}$$

Dal momento che le due pompe operano in parallelo, si ha che:

$$Q = \sqrt{\frac{r_1 - H}{s_1}} + \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2}\right)^2 r_2 - H}{s_2}} \qquad (7)$$

Mettendo a sistema la relazione appena ottenuta (7) con l'equazione che definisce la curva dell'impianto $H = H_g + \gamma \cdot Q^2$, si ottiene:

$$Q = \sqrt{\frac{r_1 - \left(H_g + \gamma \cdot Q^2\right)}{s_1}} + \sqrt{\frac{\left(\frac{n_2^*}{n_2}\right)^2 r_2 - \left(H_g + \gamma \cdot Q^2\right)}{s_2}} \quad (8)$$

Fissato un valore di portata da sollevare Q pari a 200 l/s, l'unica incognita all'interno della relazione (8) è n_2^*, che si otterrà dalla seguente relazione:

$$n_2^* = n_2 \sqrt{\frac{s_2 \left[Q - \sqrt{\frac{r_1 - \left(H_g + \gamma \cdot Q^2\right)}{s_1}}\right]^2 + \left(H_g + \gamma \cdot Q^2\right)}{r_2}} \qquad (9)$$

Andando a sostituire i dati richiesti si ottiene che il valore di n_2^* è pari a 1006.5 giri/min.

La portata sollevata quindi da ciascuna pompa è rispettivamente di:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 134.2 l/s \\ Q_2 &= 65.8 l/s \end{aligned} \qquad \Rightarrow \quad H = 12m$$

Si determinano i rendimenti specifici per ciascuna pompa:

Pompa P_1: $\begin{cases} Q_1 = 134.2 l/s \\ \eta_1 = 0.68 \text{ (vedi Tab. testo)} \end{cases}$

Pompa P_2: $\begin{cases} Q_2 = 65.8 l/s \\ \eta_2 = 0.73 \text{ (vedi Tab. testo)} \end{cases}$

Per la pompa 2 operante a $n_2^* = 1006.5 giri/\min$, il rendimento η_2 nel punto (Q_2=65.8 l/s, H_2=12m) si può ricavare dalla tabella riportata nel testo relativa alla pompa 2 operante a n_2=1170giri/min, considerando il punto (Q_2 idr equiv, H_2 idr equiv) appartenente alla curva della pompa a n_2=1170 giri/min e idraulicamente equivalente al punto (Q_2, H) (vedi figura), dove:

$$Q_2 idr \text{ equiv} = \text{Q}_2 \frac{n_2}{n_2^*} = 76.5 l/s$$

Dato il volume medio giornaliero da sollevare al serbatoio C, si ricava il n° di ore di lavoro di ciascuna pompa:

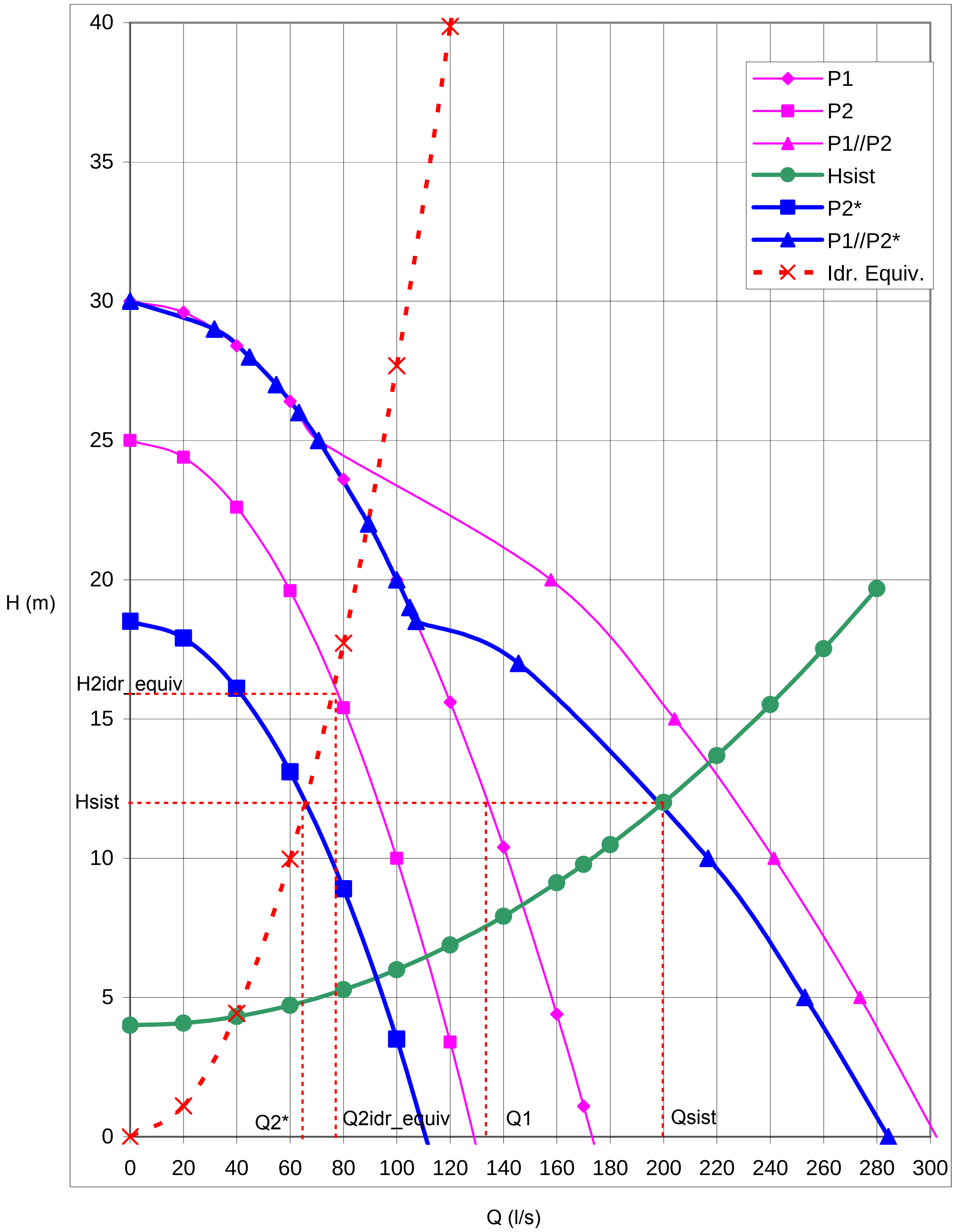
$$N_{ore} = \frac{V}{Q} = \frac{5000}{200 \cdot 3.6} = 6.94h$$

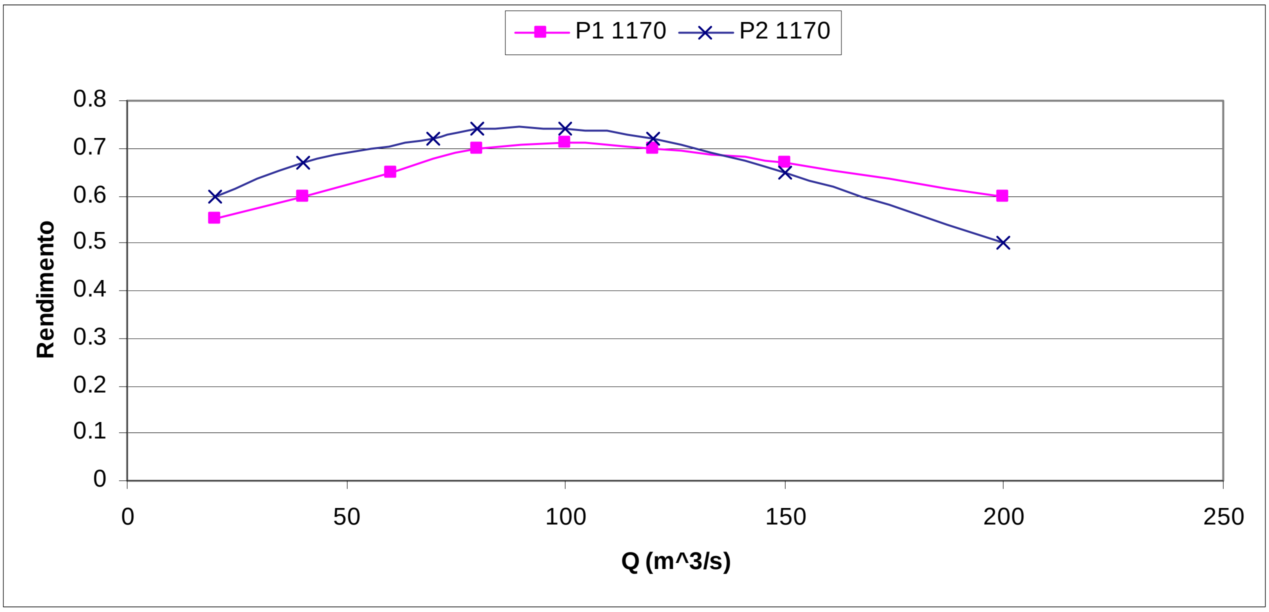
La potenza assorbita P_a da ciascuna pompa è pari a:

$$Pa = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} = \begin{cases} Pa_1 : 23.23 \text{ kW} \\ Pa_2 : 10.62 \text{ kW} \end{cases}$$

Il consumo energetico è pari a:

$$Pa_{die} = Pa_1 \cdot N_{ore} + Pa_2 \cdot N_{ore} = 235 kWh/die$$





P1 1170
P2 1170
Rendimento
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
50
100
150
200
250
Q (m^3/s)

Esercizio n°2

	15	30	45	60
	19.20	34.40		56.80
				22.60
	24.40	32.20	32.60	34.20
		37.00		58.80
	15.80			25.80
	15.00	18.40		28.40
				27.40
	9.40	12.60		14.80
	20.60	23.00	31.80	38.70
	21.20	25.40	28.60	33.20
	22.20	32.80	38.20	49.60
	30.20	33.60		35.60
	23.60	29.60	33.00	37.80
	11.60	17.80	24.60	31.80
	15.80	17.40	18.00	19.40
	12.00	14.80	23.40	24.00
	21.60	28.20	32.40	39.30
	35.60			39.80
	14.60	25.00	42.20	44.20
	29.00	37.60	38.00	39.00
	26.60	42.00	57.20	64.80
Media	**20.47**	**27.16**	**33.33**	**36.48**
var	**49.80**	**77.10**	**102.73**	**169.37**
u	17.29	23.21	28.77	30.62
alfa	5.502	6.846	7.903	10.147
T	10.000	10.000	10.000	10.000
h	29.672	38.619	46.556	53.454
t	0.250	0.500	0.750	1.000
logh	3.390	3.654	3.841	3.979
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000
xiyi	-4.700	-2.533	-1.105	0.000
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000

ymedio	3.716	xymedio	-2.199
xmedio	-0.592	n	4
Sommaxiyi	-8.337		
Sommaxi2	2.485		

B=n	**0.423**
A	3.966
a	**52.782**

hcalc	29.37	39.37	46.73	52.78

h25' ***36.45*** ***mm*** ***i25'*** **87.47374** **mm/h**

Esercizio n°3

La portata Q defluente in cunetta è data ed è pari a 0.01 m^3/s.

Ricavo il valore di T corrispondente:

$$Q = \frac{Q_s}{1 - E_0}$$

Essendo:

$$Q_s = C_f K S_x^{5/3} T_s^{8/3} S_0^{1/2}$$

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

Quindi si ha che:

$$Q = 0.01 = \frac{C_f K S_x^{5/3} \left(T - W\right)^{8/3} S_0^{1/2}}{1 - \left[1 + \dfrac{\dfrac{S_w}{S_x}}{\left(1 + \dfrac{\dfrac{S_w}{S_x}}{\dfrac{T}{W} - 1} \right)^{\frac{8}{3}} - 1} \right]^{-1}}$$

Si ricava quindi il valore di T per tentativi e si ottiene che è pari a 1.308 m.

Quindi si ottiene che:

$$E_0 = \left[1 + \frac{\dfrac{S_w}{S_x}}{\left(1 + \dfrac{\dfrac{S_w}{S_x}}{\dfrac{T}{W} - 1} \right)^{\frac{8}{3}} - 1} \right]^{-1} = 0.752$$

$Q_w = Q \cdot E_0 = 0.0075$ m^3/s
$Q_s = Q\left(1 - E_0\right) = 0.0025$ m^3/s
$\mathrm{T_s} = T - W = 0.908m$

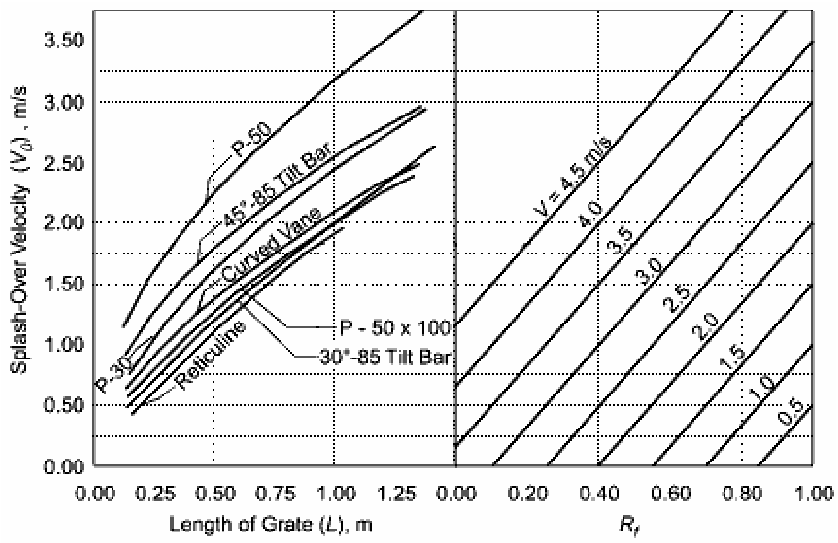
La sezione è pari a:

$$A = \left(\frac{T_s \cdot S_x + \left(T_s \cdot S_x + r\right)}{2} \right) W + \frac{T_s^2 S_x}{2} = 0.0156 \text{ m}^2$$

quindi la velocità è:

$$v = \frac{Q}{A} = 0.6397 \text{ m/s}$$

Dal grafico si vede che per una caditoia P50 la velocità v_0 di splash-over è sempre superiore a 1 m/s; quindi dal momento che $v = 0.64 m/s \le v_0 \rightarrow \mathrm{R_f} = 1$.



Se $\mathrm{R_f} = 1$, significa che tutta la Q_w è stata intercettata, ed è pari a 7.5 l/s.

La portata da intercettare è data da:

$Q_{\text{da int}}$ =0.85 Q = 8.5 l/s

Quindi la frazione di Q_s da intercettare deve essere $\geq$ di $\left(Q_{\text{da int}} - Q_{w\ \text{int}}\right) = 1l/s$

Quindi:

$$R_s \geq \frac{Q_{\text{da int}}}{Q_s} = \frac{0.001}{0.0025} = 0.4$$

A questo punto dalla seguente relazione, si ricava il valore di L, essendo K_s=0.0828:

$$R_s = \left(1 + \frac{K_s V^{1.8}}{S_x L^{2.3}}\right)^{-1} \rightarrow L = \left(\frac{K_s V^{1.8}}{\left(\frac{1}{R_s} - 1\right) S_x}\right)^{\frac{1}{2.3}} = 1.229m$$