CALCOLO DI UNO SFIORATORE A STRAMAZZO

Si dimensioni uno sfioratore con le seguenti caratteristiche
$Q_{\max} = 300\,\text{m}^3/\text{s}$
$H_{reg} = 830.6\,\text{m}$ (quota massima di regolazione ovvero quota alla quale inizia lo sfioro)
$H_{cor} = 835.23\,\text{m}$ (quota coronamento)
$H_{fon} = 786.23\,\text{m}$ (quota fondazione)
$x = 1.5\,\text{km}$ (fetch)
$v = 80\,\text{km/h}$ (velocità del vento)
$N = 5$ (numero di pile del ponte)
$L_p = 1\,\text{m}$ (larghezza pila ponte)
$k_p = 0.02$ (coefficiente di contrazione dovuta alle pile)

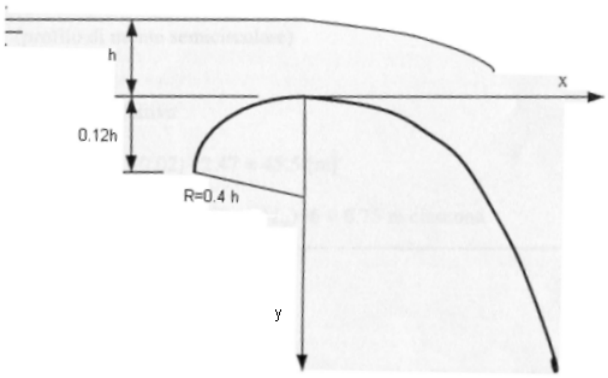

Figura 1 Profilo tipo Creager-Scimeni (esercizio 1)

Si determina inizialmente il franco. Per una diga in muratura il franco minimo è di un metro, al quale va aggiunto il valore della semiampiezza dell'onda dovuta al vento.
Per l'art. B1 del DM.212/82 tale onda vale1.03 m
Il franco è quindi
$f = 1 + 1.03 = 2.03$ m
Il battente massimo sullo sfioratore è dato da
$h = H_{cor} - H_{reg} - f = 4.63 - 2.03 = 2.6\,\text{m}$
La lunghezza efficace della soglia sfiorante è quindi data da:
$$L_e = \frac{Q_{\max}}{\mu h^{3/2}\sqrt{2g}} = \frac{330}{0.48 \cdot 2.6^{1.5} \cdot \sqrt{19.62}} = 37.02\,\text{m}$$
Si adotta $L_e = 40\,\text{m}$, cui corrisponde un carico sulla soglia
$h = 2.47\,\text{m}$ che permette di avere un franco più elevato
La lunghezza reale della soglia è:
$L = L_e + NL_p + 2Nk_p h = 45.5\,\text{m}$

CALCOLO DI UNO SFIORATORE A CALICE

Sia data

$Q_{\max} = 300\,\text{m}^3/\text{s}$

$H_{reg} = 830.6\,\text{m}$ (quota massima di regolazione ovvero quota alla quale inizia lo sfioro)

$H_{cor} = 837.23\,\text{m}$ (quota coronamento)

$H_{fon} = 786.23\,\text{m}$ (quota fondazione)

$x = 1.5\,\text{km}$ (fetch)

$v = 80\,\text{km/h}$ (velocità del vento)

Supponendo la diga in materiali sciolti, dimensionare uno sfioratore a calice, il cui fondo è costituito da una galleria di sezione rettangolare con pendenza i=0.01 ed è posto a quota 790 m s.l.m.m.

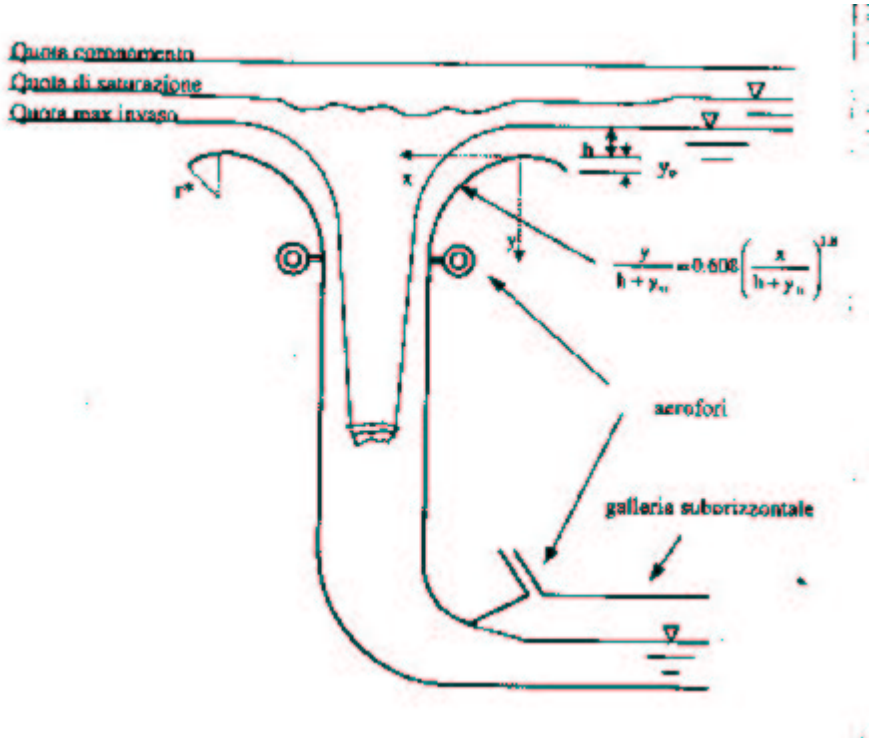

Figura 2 Sfioratore a calice

Poiché la diga è in materiali sciolti il franco è funzione della altezza della diga.

$H_{diga} = H_{cor} - H_{fon} = 51\,\text{m}$

Dall'art. H.4 del DM 212/82 si ricava per interpolazione un franco pari a

$f = 3.36\,\text{m}$

Lo sfioratore a calice si dimensiona applicando le formule di Lazzari e procedendo per tentativi:

$$x_0 = 0.144(h + y_0) + 0.011(R + x_0)$$

$$y_0 = 0.055(h + y_0) + 0.03\frac{(h + y_0)^2}{(R + x_0)}$$

dove R è il raggio sulla soglia circolare riferito al ciglio

Posto

$\frac{h + y_0}{R + x_0} = 0.25$ (le formule si applicano per tale valore compreso tra 0.1 e 0.5)

si ottiene

$$\frac{x_0}{(R+x_0)} = 0.144 \cdot 0.25 + 0.011 = 0.047$$

$$\frac{y_0}{(R+x_0)} = 0.055 \cdot 0.25 + 0.03 \cdot 0.25^2$$

Si fissa un valore di R per ese R=9 m

La portata sfiorata è espressa dalla relazione

$Q_p = 2\pi R \mu \sqrt{2g} \cdot h_p^{1.5}$

dove

$\mu = 0.371 \left(\frac{R+x_0}{h_p + y_0} \right)$ (formula di Lazzari)

Risolvendo il sistema di queste ultime 4 equazioni si ricava

$x_0 = 0.44$

$y_0 = 0.15$

$h_p = 2\,22$

$\mu = 0.391$

La quota di massimo invaso è pari a:

$H_{\max} = H_{reg} + h = 830.6 + 2.22 = 832.82$ m

Il franco disponibile è

$f_{dis} = H_{cor} - H_{\max} = 837.23 - 832.82 = 4.41 > f = 3.37$

Si passa ora a determinare il raggio del pozzo e della verifica della quota di saturazione (cui corrisponde un comportamento a battente).

Per il DM 212/82 la quota di regolazione è pari alla quota di massimo invaso più 2/3 del franco del franco netto.

$$H_{sat} = H_{\max} + \frac{2}{3} f = 832.82 + \frac{2}{3} 3.38 = 835.07$$

Il carico disponibile a saturazione è quindi:

$h_{sat} = H_{sat} - H_{reg} = 835.07 - 830.6 = 4.474 \approx 4.48$

La portata effluente con un comportamento a stramazzo è pari a

$Q_{sat} = 2\pi R \mu \sqrt{2g} \cdot h_{sat}^{1.5} = 911.59$ m^3/s

dove $\mu = 0.371 \left(\frac{R+x_0}{h_{sat} + y_0} \right) = 0.384$

Nelle condizioni di saturazione tale portata deve essere uguale a quella che può defluire a battente nella sezione terminale del pozzo, a valle del gomito e prima dell'ingresso nella galleria suborizzontale di scarico a pelo libero.

Si ammette solitamente che questa sezione abbia un'area pari al 95% dell'area del pozzo e che a valle di essa si verifichi una sezione contratta cou un'area bagnata pari al 90% di A_c.

$A_c = 0.95 A_p \Rightarrow r_c = 0.975 r_p$

La portata sfiorata a battente è pari a:

$Q = \mu A_c \sqrt{2g\eta h_{batt}}$

dove $\mu = 0.9$

$\eta = 0.133(4 + \frac{r_g}{p})$ (coefficiente sperimentale di Gardel (1949) che tiene conto della perdita di carico relativa al gomito di raggio r_g; per r_p=r_g si ha $\eta = 0.5985$

$h_{batt} = H_{sat} - H_{fondo} - r_c - \Delta h = 40.6 - 0.975 r_p$ (carico sulla luce a battente)

$$\Delta h = \frac{Q_{sat}^2 (H_{cor} - H_{fondo} - r_c)}{k^2 A_p^2 R_p^{4/3}} = (40.6 - 0.975 r_p) \frac{41.55}{r_p^{5.33}}$$

Risolvendo si ricava r_p=3.93 m

Resta infine da determinare il raggio di invito della soglia dello sfioratore.
Si utilizzano le formule di Lazzari che permettono di evitare che sul paramento della bocca, fino all'inizio del pozzo cilindrico, si verifichino pressioni negative.

$$r_{inv} = \frac{1}{2y_0}(x_0^2 + y_0^2) = 0.72$$

L'equazione del profilo diventa invece

$$\frac{y}{(h + y_0)} = 0.608 \left(\frac{x}{h + y_0} \right)^{1.8} \text{ cioè } y = 0.305 x^{1.8}$$

Per permettere a valle del calice una corrente a pelo libero è necessario prevedere una areazione. Il canale si dimensiona utilizzando la formula sperimentale

$\beta = 0.03(Fr - 1)^{1.06}$

dove $Fr = \frac{u}{\sqrt{gR}} = \frac{Q}{0.9 A_c \sqrt{g \frac{0.9 A_c}{2 r_p}}} = 3.054$

Si ha quindi $\beta = 0.064$ e quindi

$Q_{aria} = \beta Q = 0.064 \cdot 911.59 = 58.34$ m^3/s

L'aria deve essere immessa con velocità tra 40 e 100 km/h. Ponendo tale velocità 50 km/h si determina il diametro:

$$D_{aria} = \sqrt{\frac{4 Q_{aria}}{\pi V_{aria}}} = 1.22$$

VERIFICA DI UNO SCARICO DI FONDO

Sia data una diga in materiali sciolti che presenta uno scarico di fondo con un primo tratto ad andamento curvilineo, con una griglia protettiva all'imbocco, ed un tratto suborizzontale successivo che diventa a pelo libero a valle delle paratoie di chiusura. Le lunghezze e le dimensioni dei diversi tratti sono i seguenti:

A-B	L=30 m	Sezione quadrata	B=3 m	H=3 m
B-C	L=10 m	Sezione con volta circolare	B=3 m	H=3 m
C-D	L=10 m	Sezione rettangolare	B=1.2 m	H=0.8 m
D-E	L=90 m	Sezione con volta circolare	B=3 m	H=3 m

Siano inoltre:

$H_{reg} = 615.5\,\text{m}$ (quota massima di regolazione ovvero quota alla quale inizia lo sfioro)

$H_{\max} = 617.7\,\text{m}$ (quota massimo invaso)

$H_{\max\,svaso} = 600\,\text{m}$ (quota massimo svaso)

Si verifichi il normale funzionamento dello scarico in condizioni di piena eccezionale (serbatoio pieno a livello del massimo invaso) e si descriva il procedimento per il calcolo del tempo di svuotamento del serbatoio

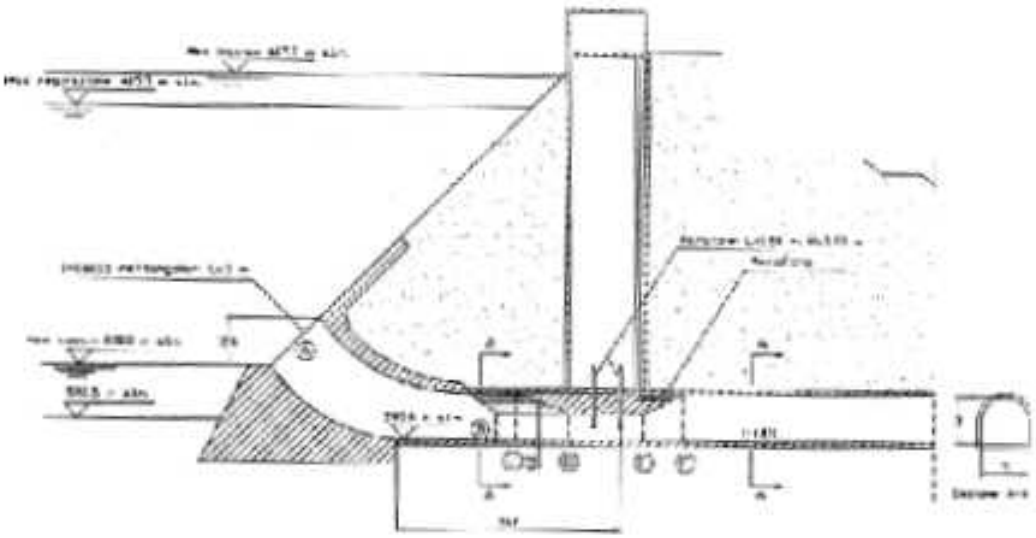

Figura 3 Scarico di fondo

Al fine di determinare le perdite di carico nella condotta devono essere valutate le perdite di carico concentrate che si verificano nelle singolarità:

- perdite di carico concentrate tra le sezioni A e B, comprese quella della griglia protettiva $\Delta h_{AB} = 1.2\dfrac{V_b^2}{2g}$
- perdite di carico concentrate tra le sezioni C e D, comprese quelle dei gargami delle paratoie $\Delta h_{CD} = 0.3\dfrac{V_D^2}{2g}$
- perdite di carico concentrate tra le sezioni E e F, $\Delta h_{EF} = 0.5\dfrac{\left(V_E - V_F\right)^2}{2g}$

Applicando il teorema di Bernoulli tra la sezione A di imbocco e la sezione E di uscita

$$H_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{Q^2}{2gA_A^2} = H_E + \frac{p_E}{\gamma} + \frac{Q^2}{2gA_E^2} + \Delta h_{AE}$$

si ricava

$$Q = \mu A_E \sqrt{2g(H - \Delta h_{AE})}$$

dove H è il carico a monte dell'imbocco rispetto al baricentro della sezione ristretta e $\mu = 1$ è il coefficiente di efflusso (non si ha contrazione della vena effluente).

Il termine Δh_{AE} comprende sia le perdite concentrate che quelle distribuite. Queste ultime si determinano con la formula di Strickler

$$\Delta h_d = Q^2 \left(\frac{L_{AB}}{A_{AB}^2 R_{AB}^{4/3} k_s^2} + \frac{L_{BD}}{A_{BD}^2 R_{BD}^{4/3} k_s^2} + \frac{L_{DE}}{A_{DE}^2 R_{DE}^{4/3} k_s^2} \right)$$

Sostituendo i valori così ricavati essendo $H = H_{\max} - H_{fondo} + iL_{AE} + \frac{H_E}{2} = 22.9$ si ricava

$Q = 16.15\,\text{m}^3/\text{s}$

Subito a valle della sezione E il comportamento passa da in pressione a pelo libero.

L'energia specifica della corrente alla sezione E è pari a:

$$E_E = h_E + \frac{Q^2}{2gA_E^2} = 0.8 + \frac{16.15^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 0.8^2 \cdot 1.6^2} = 8.49\,\text{m}$$

L'altezza liquida a valle (sezione F) si determina imponendo l'uguaglianza dell'energia a meno delle perdite di carico (in questo caso solo concentrate)

Si ricava

$$E_E = E_F + \Delta h_{EF}$$

Si ricava h_F=0.33m valore inferiore all'altezza critica

$$k = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} = 1.43\ \text{m}$$

ed all'altezza di moto uniforme (determinato applicando Strickler)

$$h_0 = 0.99$$

La corrente è quindi veloce con tiranti crescenti verso valle in alveo a forte pendenza

Il calcolo del tempo di vuotamento del serbatoio viene eseguito integrando l'equazione di continuità:

$$\frac{q_e(t) + q_e(t + \Delta t)}{2} - \frac{q_u(t) + q_u(t + \Delta t)}{2} = \frac{W(t + \Delta t) - W(t)}{\Delta t}$$

dove con l'indice e si intende la portata entrante e con u quella uscente che deve essere determinata mediante le formule di deflusso. Si fa presente che il deflusso sotto battente è comandato dalla sezione ristretta (sez. E) con legge di efflusso data da

$$Q = \mu A_E \sqrt{2g(H - \Delta h_{AE})}$$

mentre dopo che il livello del serbatoio è disceso fino a scoprire la bocca di presa A, il deflusso avviene a pelo libero ed è comandato dall'imbocco con la legge di deflusso (stramazzo a soglia larga) data da:

$$Q = 0.385 L_i \sqrt{2g}\,(H - 600.00 - 594.80)^{3/2}$$

I tempi di svuotamento all'istante i-esimo si calcolano scrivendo l'equazione di continuità:

$$t(i) = t(i-1) + \frac{(W_{i-1} - W_i)}{(Q_{i-1} + Q_i) \cdot 0.5}$$

nota la relazione che lega il volume del serbatoio all'altezza H(t).