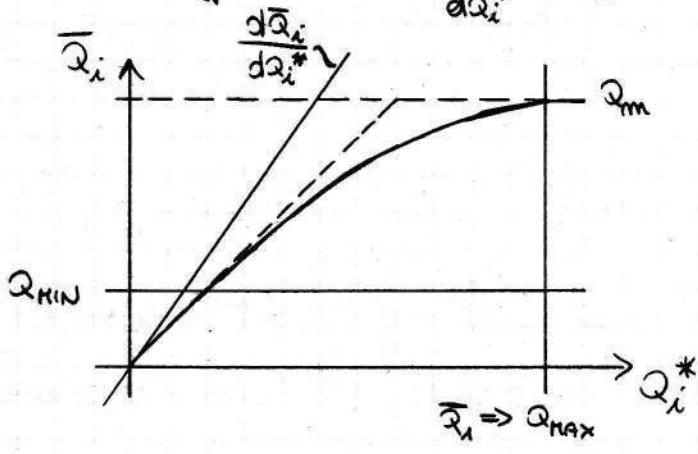


a. $\Delta Q_i^* \leq b \cdot \Delta \bar{Q}_i$

e passando ai differenziali:

$\frac{d\bar{Q}_i}{dQ_i^*} \geq \frac{a}{b}$

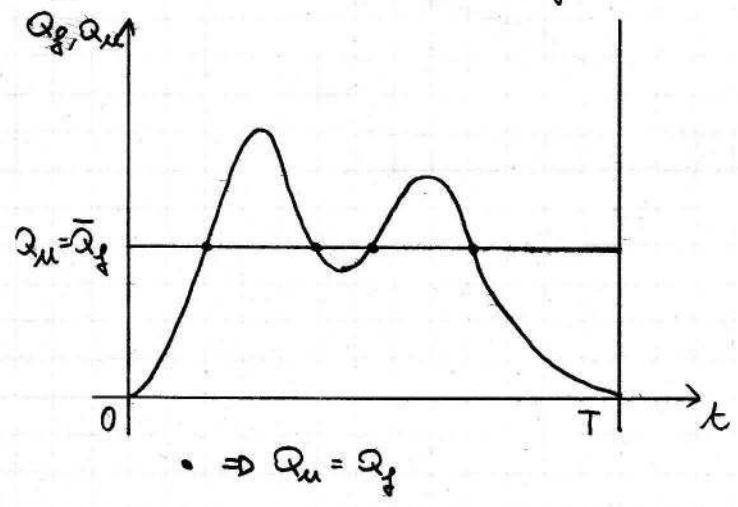
che e' l'equazione di una retta.



Tuttavia un'analisi più corretta dovrebbe includere il fatto che a e b non sono costanti, perché comprendono anche i COSTI FISSI. Quindi il costo non e' proporzionale alla potenza installata.

• DIMENSIONAMENTO DEL SERBATOIO

Supponiamo di conoscere il seguente andamento nel tempo delle portate:



sia T il tempo di studio, nell'ipotesi di REGOLAZIONE TOTALE si ha

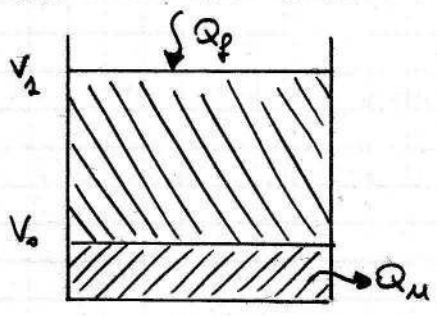
$Q_u = \frac{1}{T} \int_0^T Q_f(t) dt$

Se la portata in uscita e' costante

$Q_u = \frac{V}{T}$

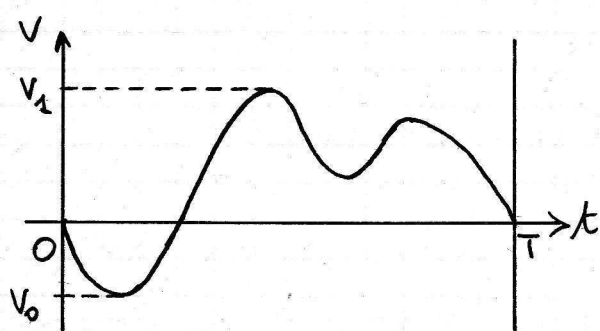
Se $T = 365$ giorni si dice che il serbatoio di regolazione e' ANNUALE. Molto più diffusa e' la soluzione dei serbatoi di regolazione STAGIONALE (l'acqua viene accumulata durante una stagione e rilasciata durante quella successiva). Esistono anche serbatoi di minore capacita' che si definiscono SETTIMANALI o GIORNALIERI (ad esempio: quelli degli acquedotti). All'estremo opposto si annoverano i serbatoi a regolazione PLURIANNUALE.

Consideriamo un serbatoio.



la variazione del volume fluido contenuto nel serbatoio segue la seguente legge:

$\frac{dV}{dt} = Q_f - Q_u$

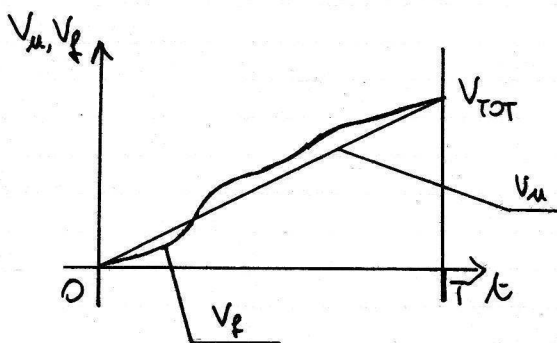
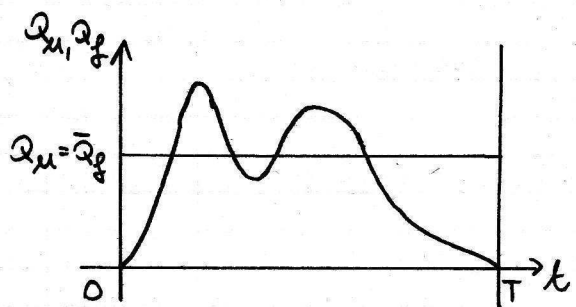


Il volume totale del serbatoio è dato da

$$V_{TOT} = V_0 + V_1$$

Volumi cumulati

Il grafico dei volumi cumulati racchiude in sé le informazioni sull'andamento delle portate e sul volume invasato nel serbatoio. Una proprietà della curva dei volumi cumulati è il fatto di essere sempre CRESCENTE.



$$V_f(t) = \int_0^t Q_f(t) dt$$

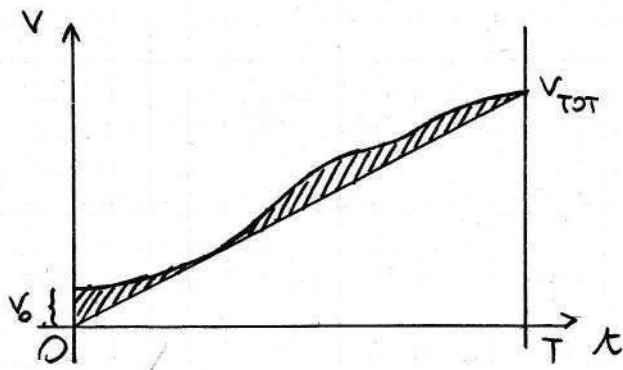
$$Q_f(t) = \frac{dV_f(t)}{dt}$$

Dalla relazione $\frac{dV}{dt} = Q_f - Q_u$ si ricava

$$V(t) = \int_0^t Q_f(t) dt - \int_0^t Q_u(t) dt = V_f - V_u.$$

In questa equazione non compare il volume V_0 . Lo imponiamo in questo modo: si trasla verso l'alto la curva dei volumi cumulati entranti fino a che risulta valida la seguente condizione: $V_f \geq V_u$. Il volume V_0 è il volume $V_f(0)$ cioè il segmento dell'asse verticale staccato dalla curva V_f rispetto all'origine.

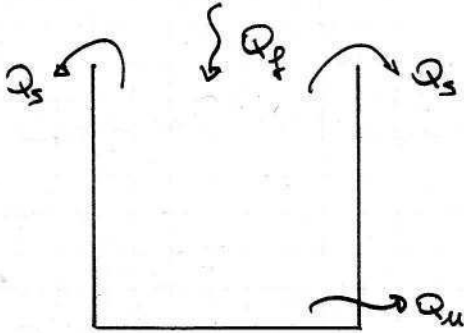
L'area del grafico tratteggiata rappresenta il volume fluido contenuto nel serbatoio nel tempo: $V = V_f + V_0 - V_u$. Pertanto, per ogni istante di tempo t , è possibile calcolare dal grafico il volume del serbatoio.



Il VOLUME DEL SERBATOIO si ottiene nel seguente

$$\text{modo: } V_{TOT} = \max(V_f - V_u + V_0).$$

Se la dimensione del serbatoio non soddisfa la precedente relazione, si ha SFIORO, cioè una parte di acqua non viene accumulata, ma SFIORATA attraverso gli SFIORATORI.

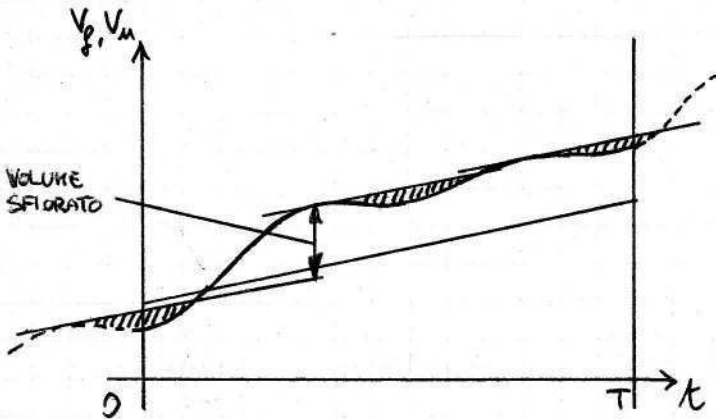


Questa situazione è comune nel caso in cui si abbia

$$Q_u < \bar{Q}_f.$$

È sempre valida l'equazione $\frac{dV}{dt} = Q_f - Q_u$.

Per valutare la quantità di acqua che viene sfiorata si utilizza il seguente grafico.

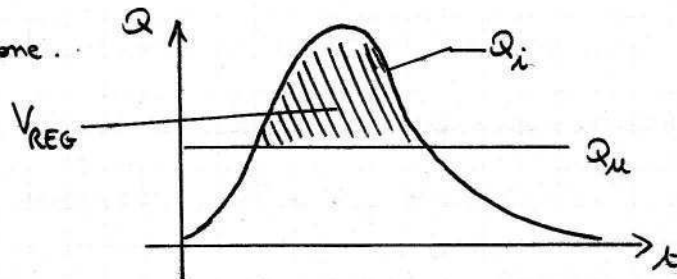


Si trasla verso l'alto la curva dei volumi cumulati uscenti, a tratti. Lo sfioro ha luogo solamente nei periodi in cui la traslata dei volumi uscenti è minore della cumulata dei volumi entranti.

Il volume sfiorato è dato dalla somma

delle massime distanze verticali tra la traslata dei volumi uscenti e la cumulata dei volumi entranti. È inoltre pari alla differenza, su base annua, tra la cumulata dei volumi entranti e la cumulata dei volumi uscenti, calcolata per $t = T = 365$.

Si chiama VOLUME DI REGOLAZIONE il volume di acqua che si invasa nel bacino grazie alla azione laminatrice delle portate che ha la diga. Il volume totale del bacino è sempre maggiore del volume di regolazione.



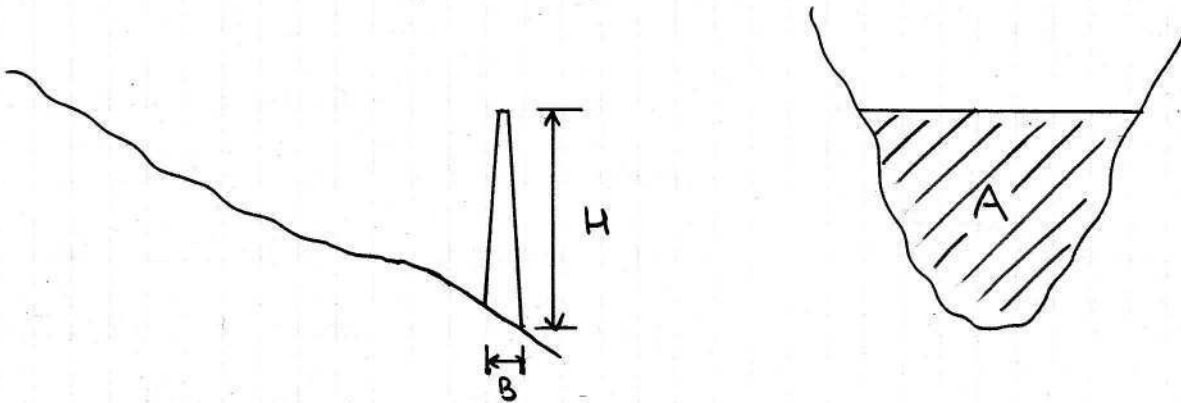
• DIGHE

Quando ci si appresta a progettare una diga bisogna, innanzitutto, determinarne l'altezza. L'altezza della diga è determinata dalla geometria della valle alla sezione di chiusura. In secondo luogo è necessario scegliere la posizione della diga stessa. La diga è un'opera molto costosa, pertanto si sceglie la sezione di chiusura con la quale si riesce a minimizzare il costo di installazione e massimizzare il rapporto benefici/costi. Il costo di una diga è funzione del volume del corpo diga:

$$C = f(V_{\text{CORPO DIGA}})$$

A sua volta il volume del corpo diga è funzione dell'area frontale della diga, dell'altezza e dello spessore della diga:

$$V_{\text{CORPO DIGA}} = g(A, H) \quad (\text{con } A \text{ funzione di } H \text{ e } B)$$



Pertanto massimizzare il rapporto benefici/costi significa massimizzare il rapporto

$$\frac{V_{\text{REG}}}{A \cdot H}$$

in quanto i benefici sono direttamente collegati al volume di regolazione dell'invaso creato dalla diga.

Nel caso in cui sia fissato il volume V del bacino a monte della diga che risulta necessario creare, per decidere quale sia la sezione di chiusura migliore si analizza l'intero corso d'acqua sul quale si vuole creare lo sbarramento. La sezione per cui risulta minimo il volume di calcestruzzo necessario per costruire la diga è la sezione più adatta.

Nel caso in cui, invece, sia già nota la sezione di chiusura, e quindi l'area A_B del bacino imbrifero (ricavata dalle DEM = digital elevation map), e la media annua delle precipitazioni in $\frac{\text{mm}}{\text{anno}}$ è possibile definire l'intensità media di tali precipitazioni, i , e calcolare il volume annuo di acqua che vorrei turbinare:

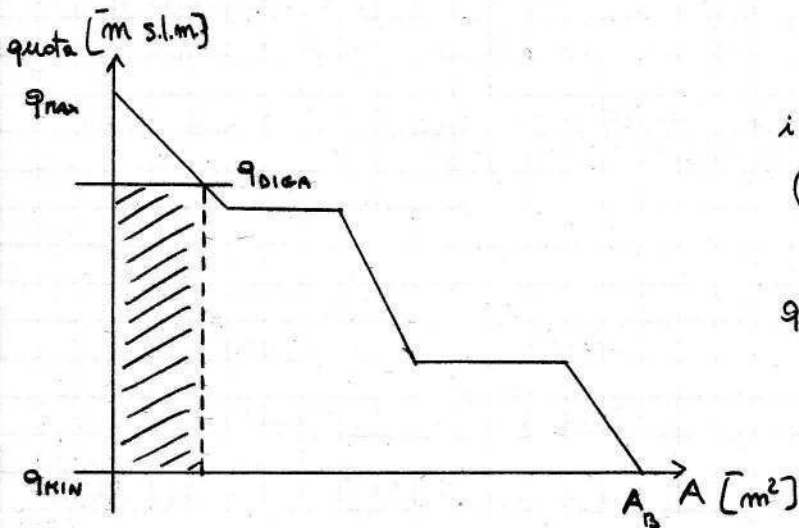
$$V_{\text{ANNO}} = i \cdot A_B$$

Definendo la portata media $\bar{Q} = \frac{V_{\text{ANNO}}}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$ si può ricavare l'energia potenziale:

$$P = \gamma \cdot \bar{Q} \cdot H \quad \text{dove } \bar{Q} = f(A_B)$$

che, si nota, dipende primariamente dalla quota a cui l'acqua precipita.

Tracciando la CURVA IPSOGRAFICA si vede che l'energia P corrisponde all'area tratteggiata:



i tratti orizzontali corrispondono agli affluenti (sono aree di bacini secondari A_{BS})

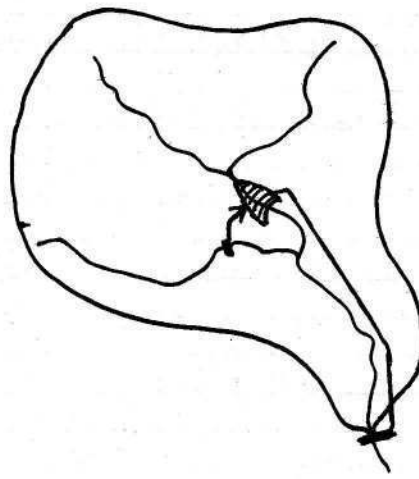
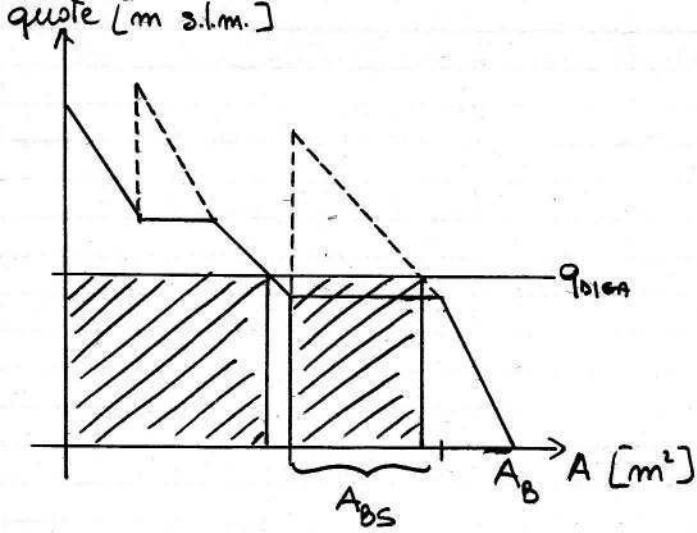
q_{diga} = quota della diga

$$P = \gamma \bar{Q} H \quad \text{con } H = \text{quota del pelo libero nell'invaso}$$

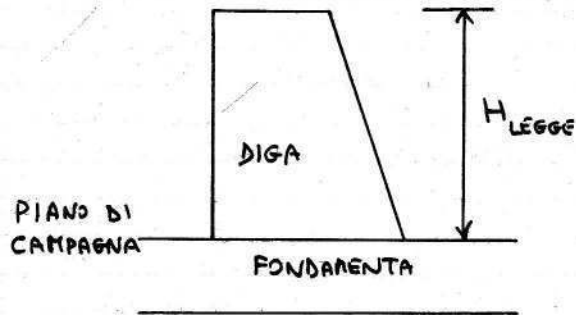
$$\bar{Q} = \frac{i \cdot A_B}{T} \quad \text{portata media, supponendo } i = \text{costante si ha } \bar{Q} = \text{costante} \cdot A$$

Allora $P = C \cdot \gamma \cdot H \cdot A$. $H \cdot A$ è il parametro da massimizzare per decidere la quota dello sbarramento.

Se, per ragioni diverse da quelle di stampo economico, lo sbarramento deve essere posizionato a monte della confluenza del corso principale e di un suo affluente, risulta utile prevedere una derivazione da tale affluente verso il bacino sul fiume principale in modo tale da non sprecare un grande volume d'acqua ed aumentare l'energia P .



Caratteristiche principali di una diga

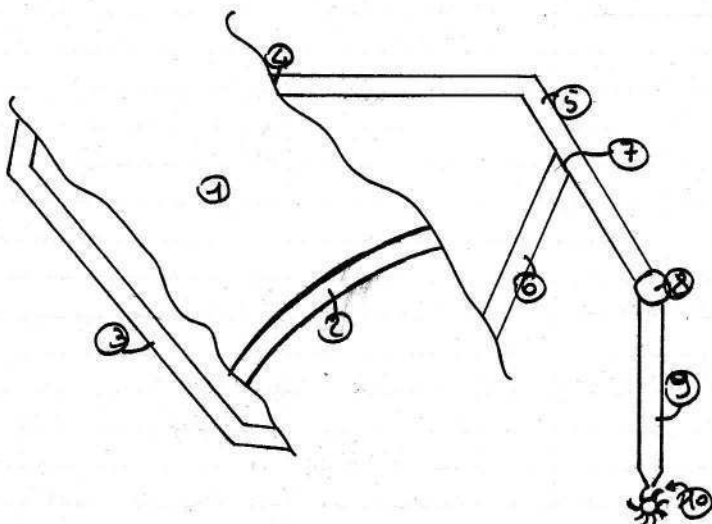


GRANDI DIGHE $\begin{cases} H \geq 15 \text{ m} \\ \text{oppure} \\ V_{TOT} \geq 10^6 \text{ m}^3 \end{cases}$

rientrano nel RID (registro italiano dighe) e sono di competenza nazionale

Se $H < 15 \text{ m}$ e $V_{TOT} < 10^6 \text{ m}^3$ sono di competenza regionale.

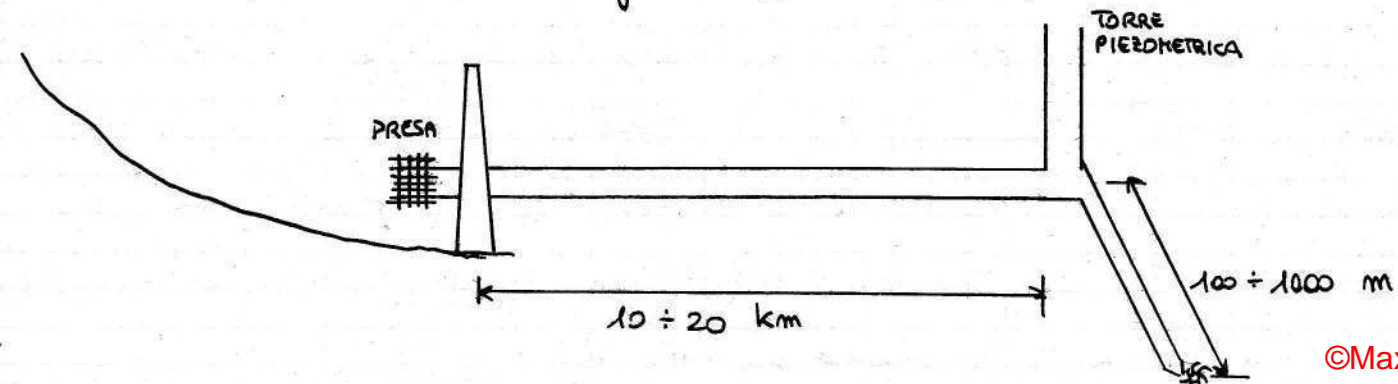
→ Pianta di uno sbarramento artificiale



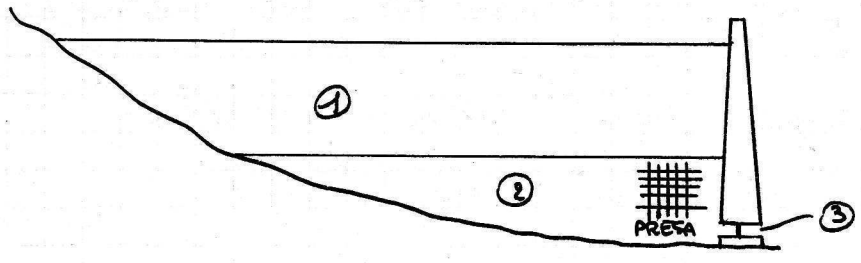
- | | |
|-------------------------|----------------------|
| ① INVASO | ⑥ BYPASS |
| ② CORPO DIGA | ⑦ PARATOIA |
| ③ SCARICO DI FONDOPONDO | ⑧ TORRE PIEZOMETRICA |
| ④ PRESA | ⑨ CONDOTTA FORZATA |
| ⑤ ADDUZIONE | ⑩ TURBINA |

Il ③ e il ⑥ servono per svuotare l'invaso.

→ Sezione di uno sbarramento artificiale (non in scala)



-> Definizione dei volumi

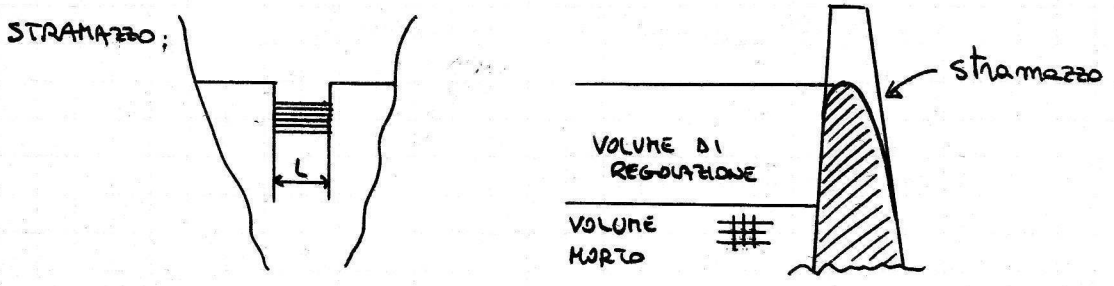


- ① VOLUME DI REGOLAZIONE
- ② VOLUME MORTO
- ③ SCARICO DI FONDO

Il volume morto serve per mantenere l'opera di presa sempre sotto carico.
 Lo scarico di fondo serve per far defluire il volume morto, che altrimenti si riempirebbe di detriti e depositi.

-> Gestione delle piene

E' di vitale importanza analizzare le eventualità di piene del corso d'acqua e quindi progettare organi di sicurezza (SFORATORI) che permettano di resistere a tali eventi di tipo eccezionale. L'esempio più diffuso di tali organi di sicurezza e' lo SFORATORE A STRAMAZZO;



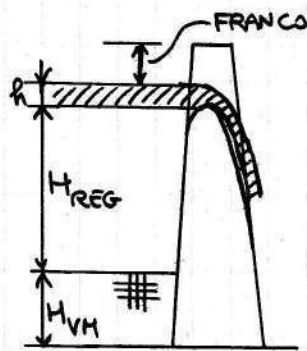
questo tipo di soluzione permette alla vena fluida di non cozzare con le pareti della montagna (non erode la roccia) e di staccarsi dal paramento di valle della diga. Nel funzionamento ordinario della diga gli sfioratori non sono attivi. Devono essere comunque progettati per poter far defluire una portata di piena che può verificarsi ogni 1000 anni. Nel caso di piena, pertanto, la portata defluita sarà pari a

$$Q_{1000} = c \cdot \sqrt{gh} \cdot L \cdot h = c_1 \cdot L \cdot h^{3/2}$$

Le soluzioni fin qui mostrate NON SONO VALIDE per le dighe in terra, in quanto se la diga e' in terra non possono essere condotte, né sfioratori nel corpo diga.

→ Franco

Si definisce FRANCO la parte di diga che non può essere MAI lambita dall'acqua:



il volume trattenuto è chiamato VOLUME DI LAMINAZIONE.

Il franco viene calcolato con la seguente formula

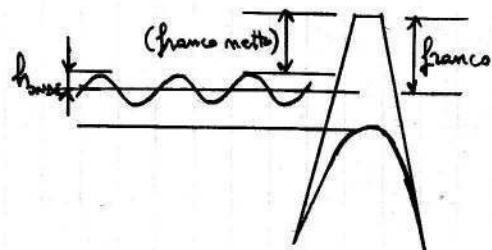
$$\text{franco} = (\text{franco netto}) + h_{\text{ONDE}}$$

$$\text{dove } (\text{franco netto}) = \begin{cases} 1,5 \text{ m} & \Rightarrow \text{digue in calcestruzzo} \\ 4 \text{ m} & \Rightarrow \text{digue in terra} \end{cases}$$

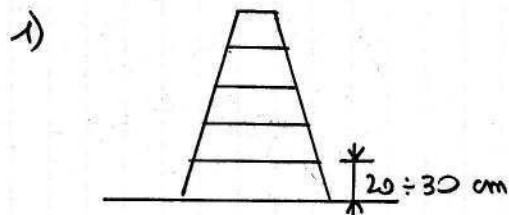
$$e \quad h_{\text{ONDE}} = f(u^2, \text{fetch})$$

↑
velocità media
del vento

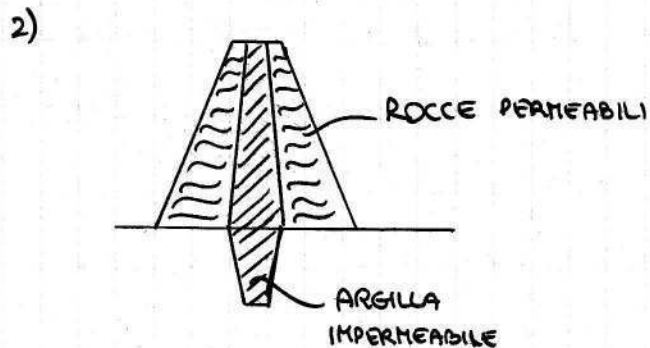
↑
distanza di acqua
libera sottoposta all'azione del vento



→ Tipologie di dighe, in relazione al materiale utilizzato (alcuni esempi)

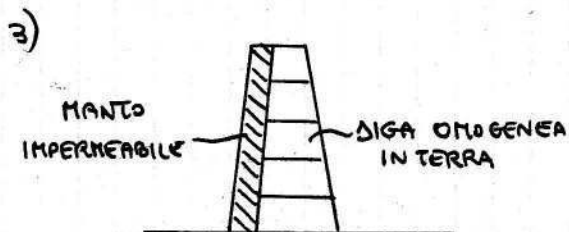


DIGHE OMOGENEE IN TERRA



DIGHE ZONATE IN TERRA

Le rocce permeabili conferiscono stabilità alla struttura, grazie al loro peso.

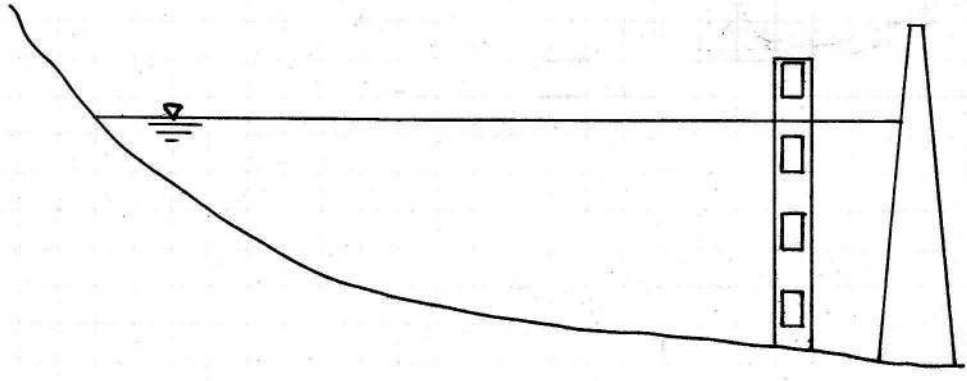


DIGHE OMOGENEE CON MANTO

4) DIGHE IN CALCESTRUZZO

→ Opera di presa alla francese

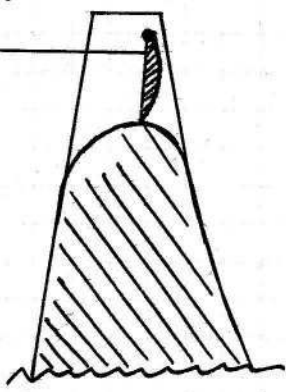
Ha il vantaggio di captare l'acqua sempre dal livello più alto possibile. Questa acqua è più pulita di quella che sta sul fondo, o più calda di quella più profonda (specialmente se la captazione si fa per uso irriguo). Inoltre risulta più semplice movimentare le paratoie, poiché il carico su di esse è minore.



→ Tipologie di sfioratori

È stato più analizzato il caso di SFIORATORI A STRAMAZZO. Si può aggiungere il fatto che lo stramazzo può essere anche regolabile a mezzo paratoia come nella figura seguente.

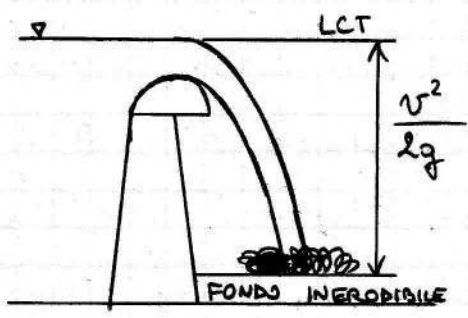
MASSIMO INVASO



la quota di massimo invaso è quel livello del pelo libero che non deve essere MAI superato.

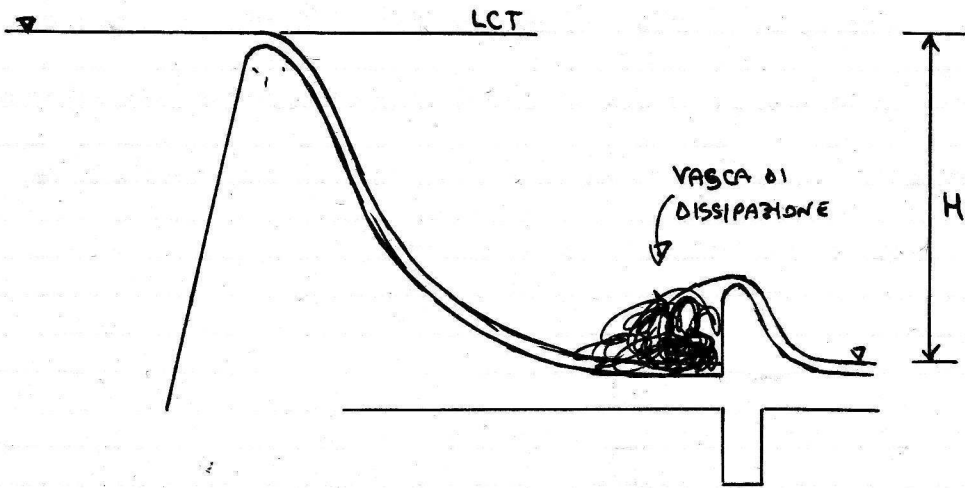
Altri tipi di SFIORATORI SUPERFICIALI si differenziano nel modo con cui viene dissipata l'energia della vena fluida sfiorata. Possiamo distinguere:

a) SFIORATORI A SALTO

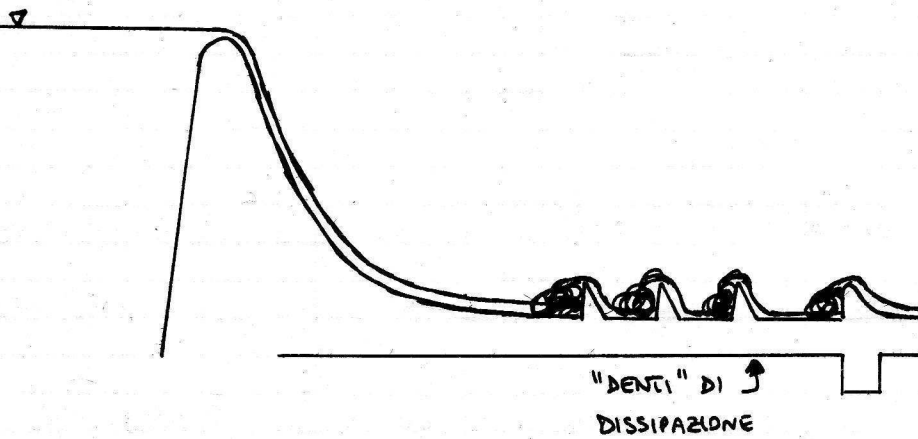


$$Q = c \cdot L \cdot h^{3/2}$$

b) SFIORATORI CON DISSIPATORE

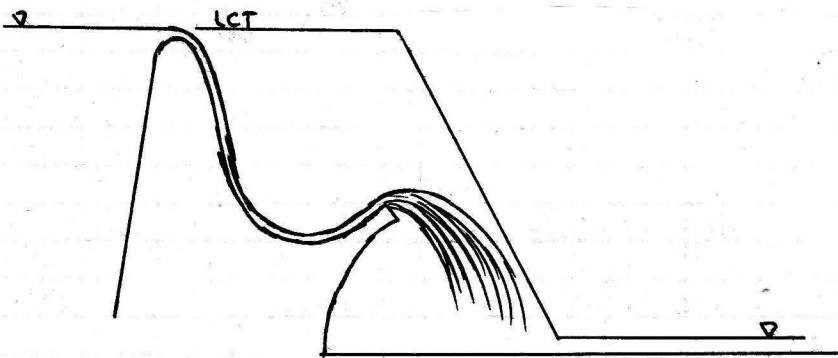


Dissipazione in TURBOLENZA.



Dissipazione per ATRITO CON L'ARIA.

c) SFIORATORI A SCIVOLO o "SKI-JUMP"



Esistono SFIORATORI INTERMEDI del tutto analoghi a quelli superficiali.

Un'ultima tipologia di sfioratori è quella degli SFIORATORI A CALICE. Si presentano sostanzialmente come degli imbuto. Sono tipicamente scenografici, quando sono in funzione, ma hanno lo svantaggio di essere facilmente ottunabili (detriti, trasporto solido, ecc... possono ostruire il canale di scolo a valle o lo sfioratore stesso).