

# COSTRUZIONI IDRAULICHE

## Dighe e traverse

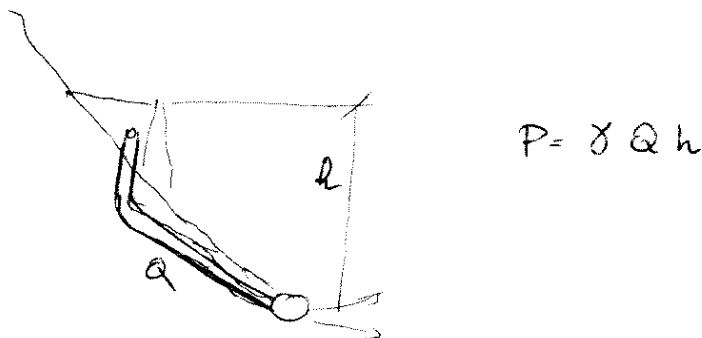
dighe: struttura in calcestruzzo alta e trattenere un volume d'acqua (volume di regolazione della diga). Realizzate in terreni con pendenza 1-10%.

traverse: posta in terreni dove pendenza  $0,1\% \pm 0,2\%$ . Sono barriere poste in un corso d'acqua e ha volumi praticamente nulli a monte. Serve ad alzare il livello idrico di 4-20 m.



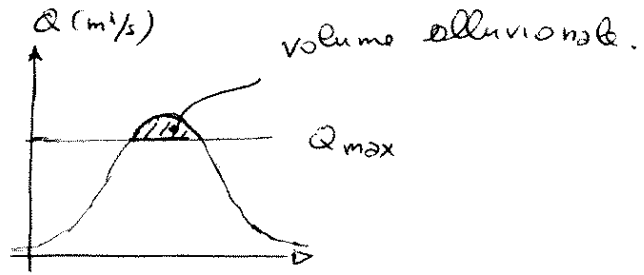
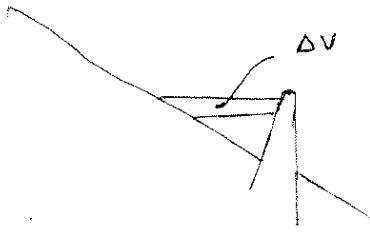
Lo scopo principale di dighe e traverse è di trattenere l'acqua per le persone e per irrigare i campi. La parte energetica delle dighe serve come giustificazione economica.

Lo scopo della traverse è anche per evitare di prendere sabbia e ghiaia attraverso la presa.



Dighe usano portate basse ma salti molto alti ( $h$  adine  $10^2$ )  
Traverse usano salti bassi (5-20 m), ma portate alte.

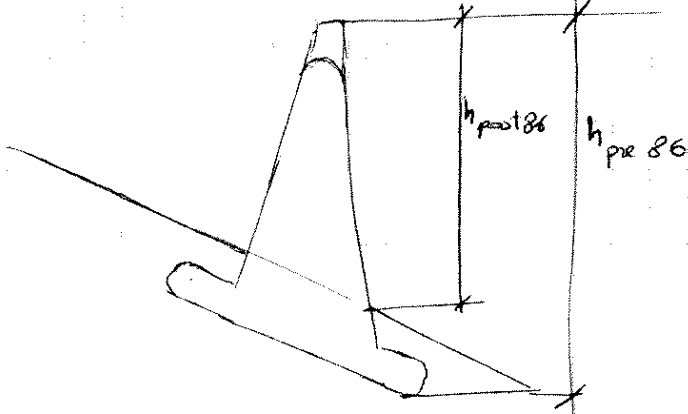
## Dighe e protezione del territorio



Se mi so che arriva una piena sovrato il subentro di un  $\Delta V$  in modo da accogliere il volume alluvionale. In questo modo proteggo il territorio a valle.

Problema: per i gestori il  $\Delta V$  che viene buttato via sono ME. Se le previsioni di piene sono giuste il gestore non perde nulla, viceversa qualcuno deve rimborsare quei soldi.

~~Una volta~~ Altezza dello Diga

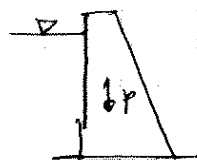


ANNI 80-90  
 È stato perso la gestione delle dighe alle regioni. Cambiato la definizione di altezza delle dighe, le dighe più piccole sono passate alle regioni. Le dighe gestite dallo stato ad oggi sono circa 700.

Diga Costituzione delle Dighe:

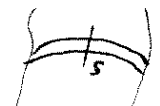
- in Terra: costruite per strati successivi con materiali incoerente compattato fino al 92-96%. Si dividono in dighe onapree (materiali sopra lo strato) e zonate (zona centrale realizzata in materiale impareggiabile, e materiali permeabili all'e monte e a valle).

- muricce: realizzate solo in calcestruzzo (gravito)



resistono alle spinte dell'acqua grazie al loro peso

- ad arco

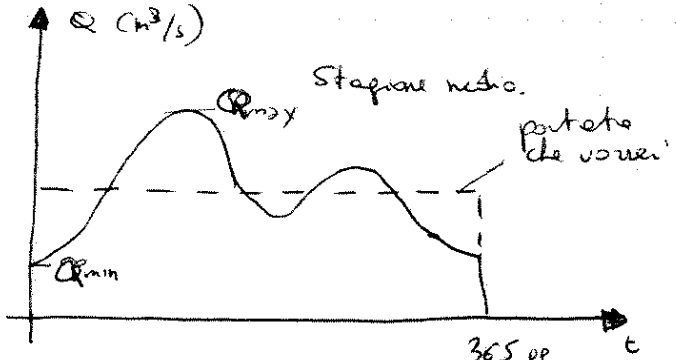


Lo spessore è  $\frac{1}{5} \div \frac{1}{10}$  dell'altezza.

Scegliamo le piume sulle spalle delle dighe per effetto arco.

### DIMENSIONAMENTO del SERBATOIO

La diga crea un accumulo d'acqua. Quanto acqua mi serve per sopprimere ad un certo bisogno??



Doppio picco di un fiume glaciale. (Picco di scioglimento della neve e picco di piogge estive).

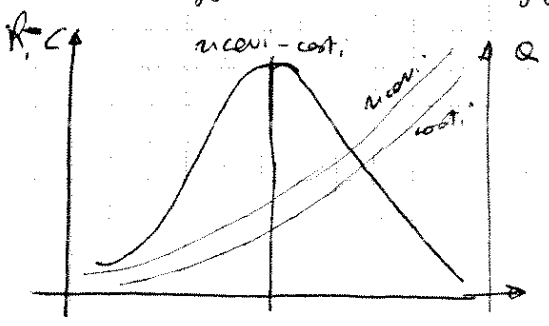
La diga nasce per regolarizzare le curve a sinistra.

Si vorrebbe regolarizzare il corso d'acqua, cioè voglio prendere una portata costante.

Ho due metodi: - prendo portate sempre inferiori al minimo - ottengo una potenza minima  $P_{min} = \gamma Q_{min} H$ .

- uso tutte le portate che mi può dare il fiume  $P_{max} = \gamma Q_{max} H$

A noi interessano i kWh prodotti. Se metto potenza elevata produco di più che mettendola la portata minima. Ma neanche l'energia fa la differenza. La differenza si ha per i costi.



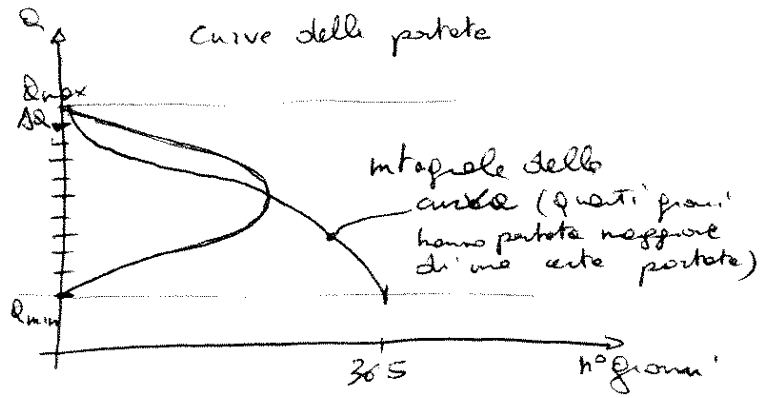
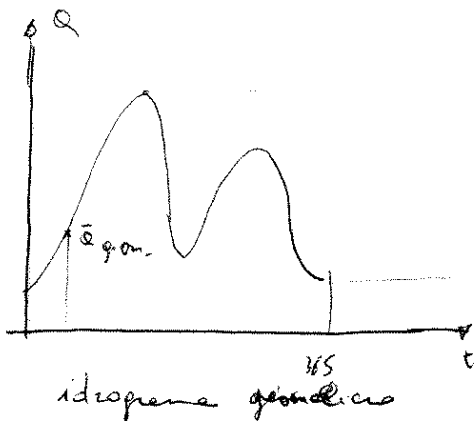
Conviene quindi usare una  $Q_{media}$

$$Q_{media} = \frac{1}{365gg} \int_0^{365} Q dt$$

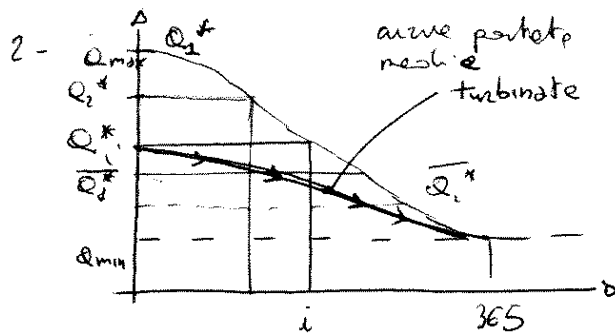
Il dimensionamento del serbatoio è in modo che questo il volume è  $\neq$  di quello che mi serve lo netto nel serbatoio, questo ne ha di nuovo vuoto il serbatoio.

Questo processo è la regolamentazione (o laminazione) della portata.

1° domanda: serve o no regolarizzare la portata e costruire un serbatoio?



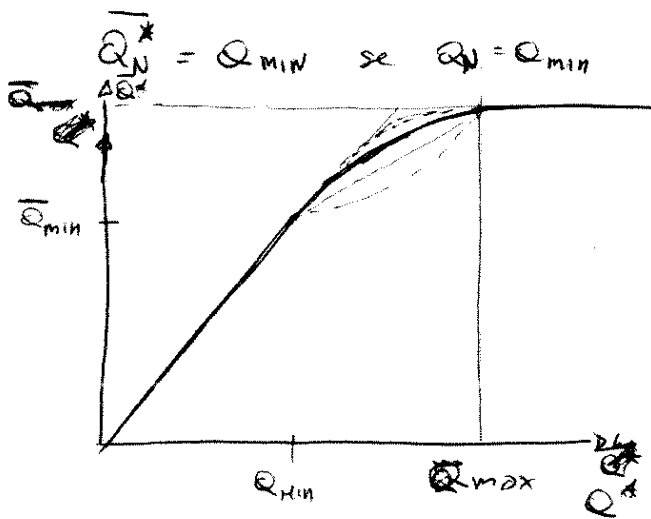
Mi serve per sapere quanti giorni usano la macchina



Per ~~365~~ i giorni ho portata maggiore di  $Q_1^*$ . Per 365-i giorni ho la macchina non usata al 100%

$$\overline{Q_1^*} = \overline{Q_1}$$

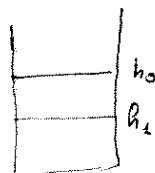
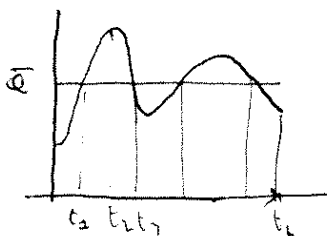
$$\overline{Q_2^*} < \overline{Q}$$



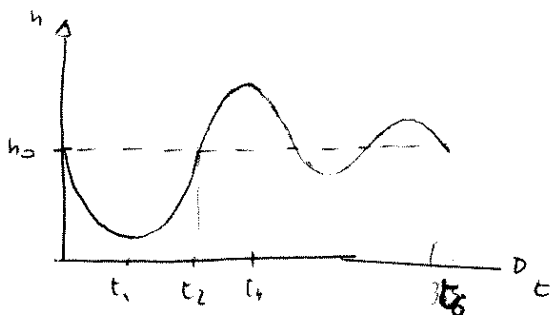
Tanto più il fine si avvicina al 45° più è utile. Tanto meno è utile il serbatoio.

Invece per se le curve si allontanano dal 45° tanto più sono utili a dighe

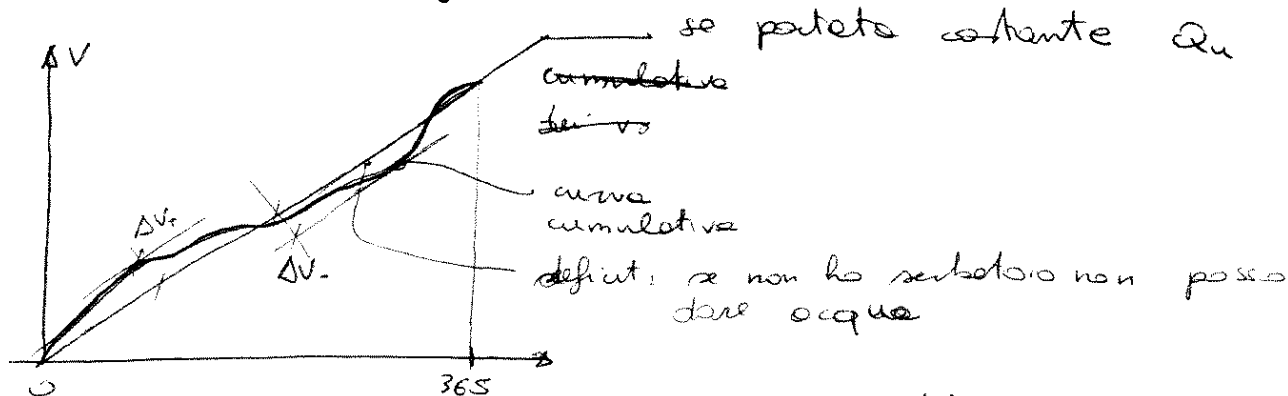
2- Supponiamo di avere un serbatoio che ha un livello d'acqua  $h_0$ . Dal serbatoio esce la portata  $Q_u = \text{costante} = Q_{\max}(Q) = \overline{Q}$



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



$$V = \int_0^t Q(t) dt$$



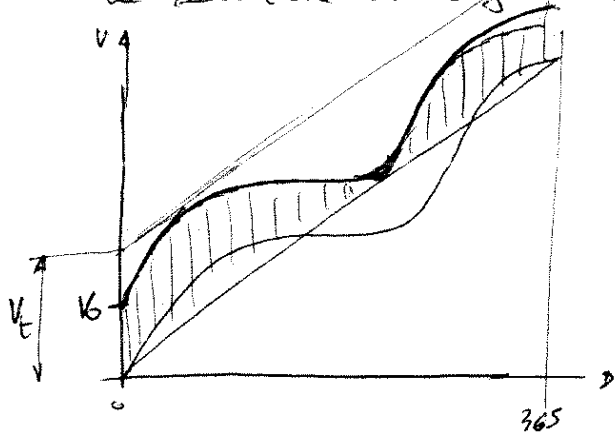
se portata costante  $Q_u$

cumulativa  
di  $Q_u$

curva  
cumulativa

deficit: se non ho serbatoio non posso  
dare acqua

la soluzione al deficit è sfruttare verso l'alto la curva

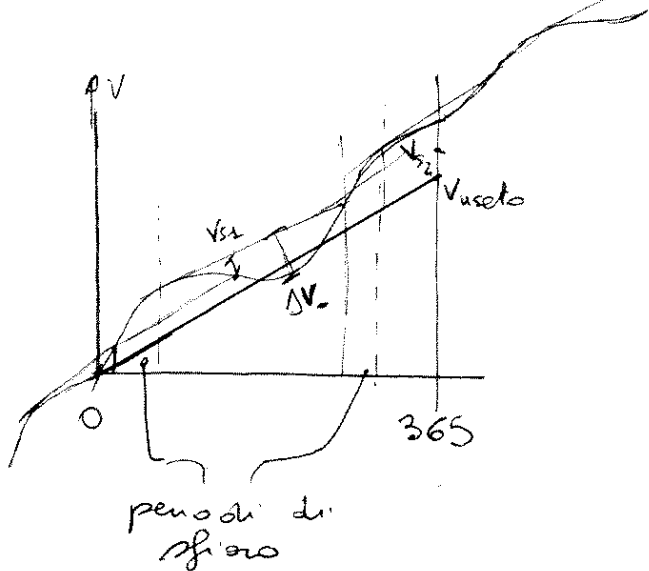


$V_0$  è il volume minimo con cui  
devo partire affinché io possa  
sempre produrre con portata  
 $Q_u$

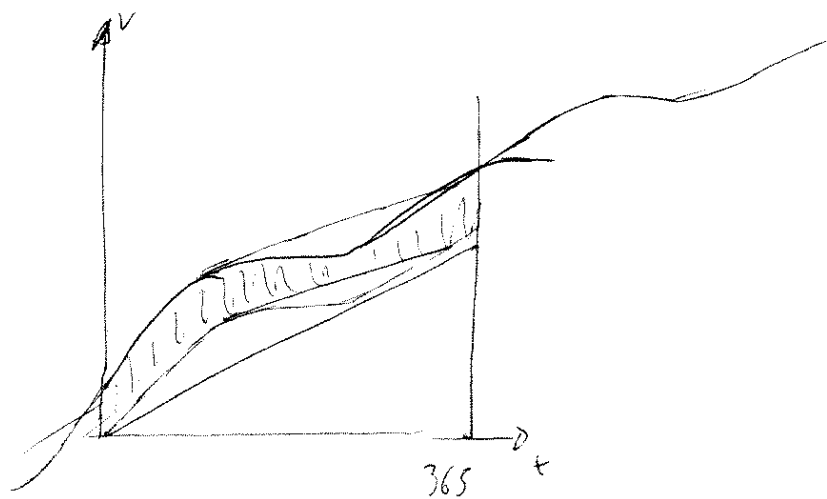
$V_t$  è il volume minimo che deve  
possedere il serbatoio

$V_t$  = Volume total

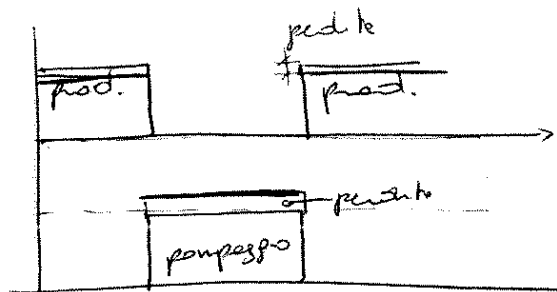
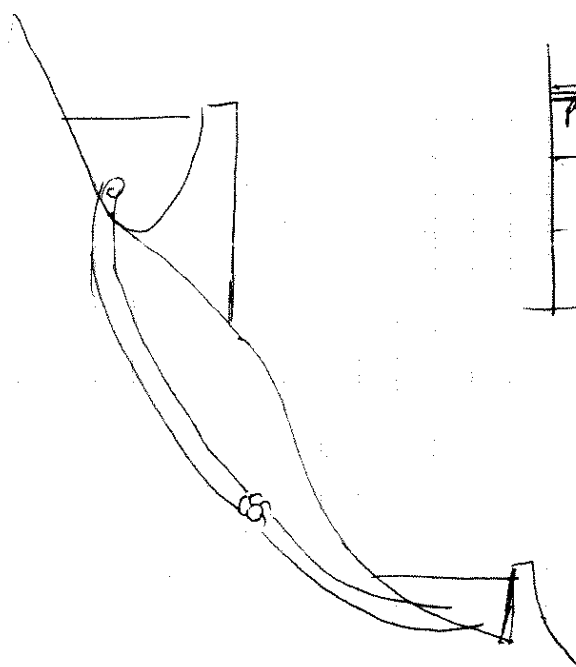
la regolazione non è mai completa, ma è sempre  
incompleta: — con sfioro ( $Q_u < \bar{Q}$ ) Per legge si  
ha il deflusso minimo vitale (DMV).



Suflino verso l'alto la curva di  $\Delta V$

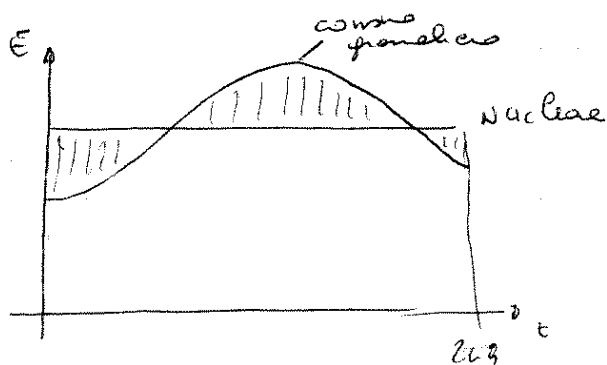


bilancio del pompaggio



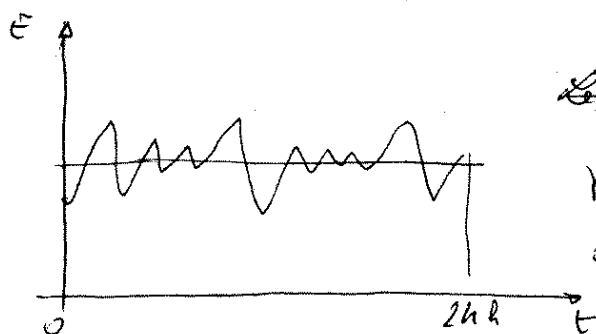
Usa più energia e pagare di quanto ne produce. Quindi consumo energia.

Il tutto in ogni periodo quando pompa ha dell'energia in surplus e quindi è economicamente conveniente.



Motivo per cui sono stati fatti i doppi serbatoi.

Oggi la produzione è impedita

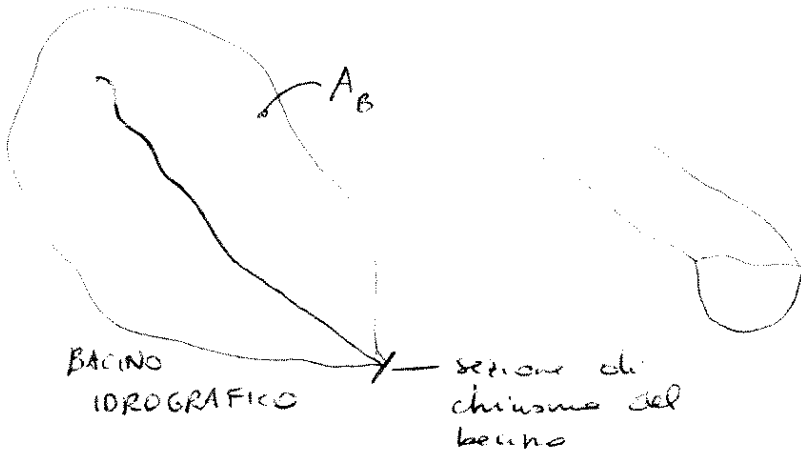


Le due serbatoi di pompaggio servono per poter accumulare l'energia prodotta dal fotovoltaico o dall'eolico.

Esistono anche serbatoi di regolazione giornaliera o mensile.

La grande differenza è il volume del serbatoio.

Esistono serbatoi anche pluriannuali (in genere per ragioni irrigue).



Il bacino è fornito del suolo con una certa permeabilità e corrosibile - e

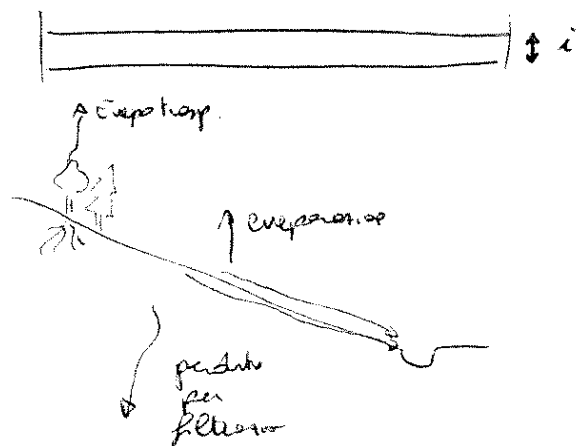
Dato l'intensità di precipitazione  $\left[ \frac{\text{mm}}{h} \right]$

si viene misurato con il pluviometro.

$$\bar{Q} = \bar{i}_B \cdot A_B \cdot \alpha$$

il acqua nel bacino può

- scolare nel fiume
- evaporare
- filtrare nel suolo
- evapotraspirazione



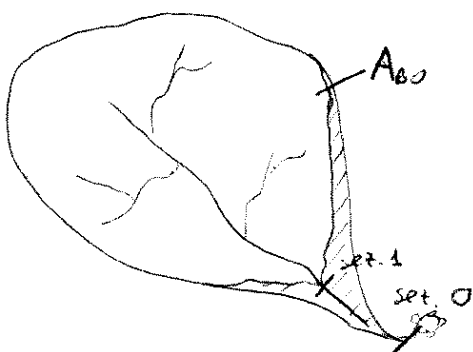
$\alpha$  è il coefficiente di deflusso (0,4 ÷ 0,8)

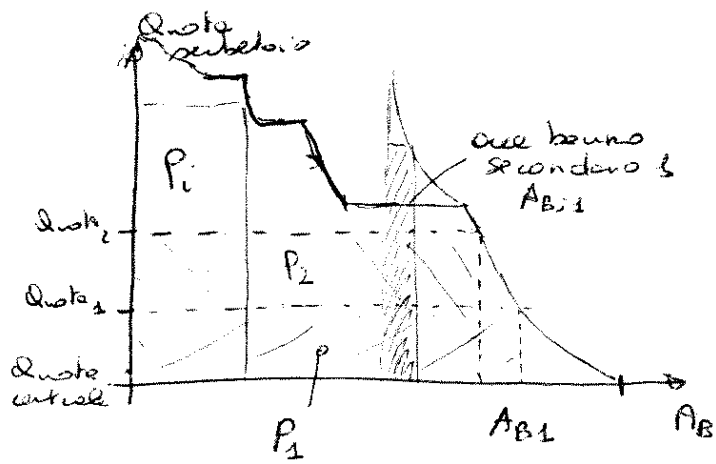
$$\alpha i_B = \text{costante}$$

$$P = \gamma Q H = \gamma \alpha i_B A_B \cdot H$$

variabile

$$B = 0 \quad (H = 0)$$





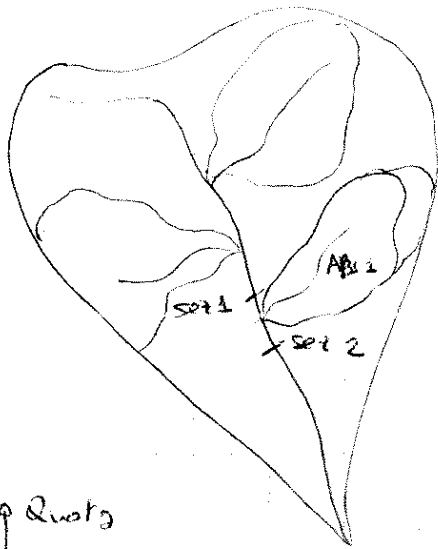
Se si porta a monte il serbatoio diminuisce  $Q$ , ma  $H$  aumenta.

$$Q_1 = \alpha \bar{v}_B AB_1$$

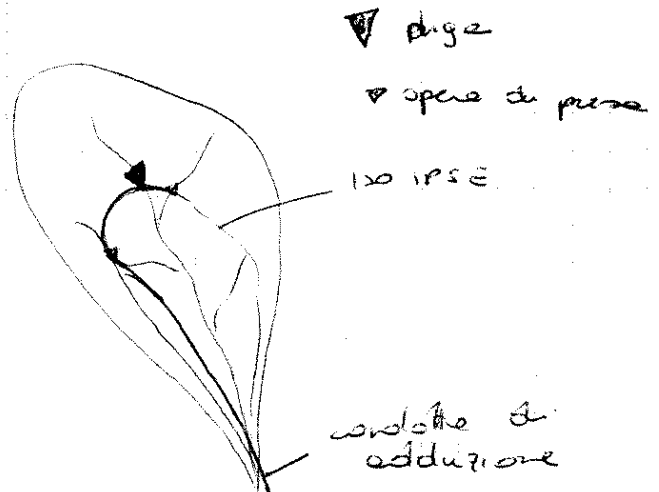
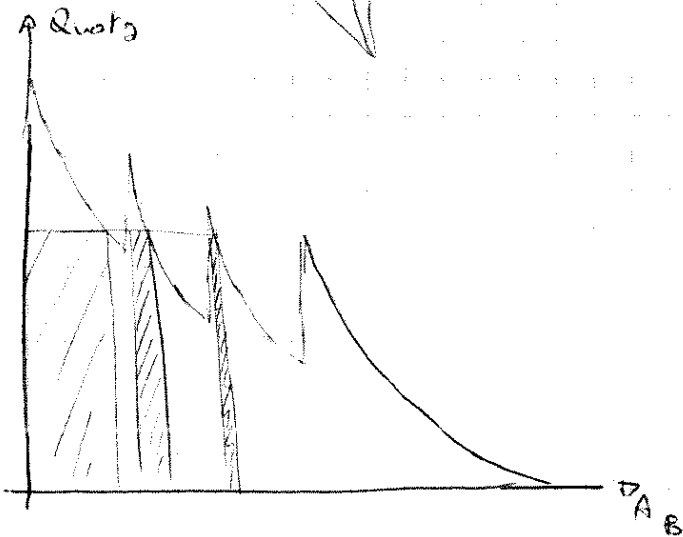
$$H: \text{quota}_2 - \text{quota attuale}$$

$$P_2 \propto H_1 Q_1$$

Curve ipso grafica a due quote che abbiamo ed è sopra di una quota



Il serbatoio può anche essere messo lungo il corso d'acqua secondario.

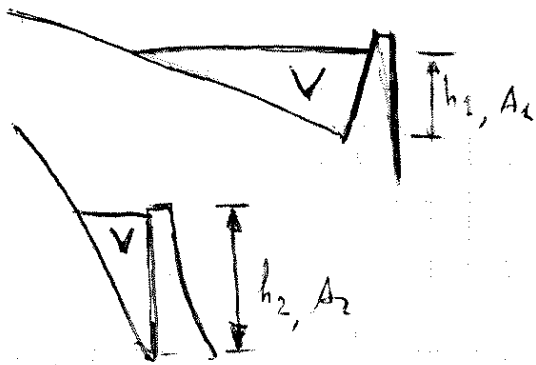


Dalle opere di presa si parte l'acqua nelle dighe principali

Ora sappiamo il volume che dobbiamo trattenerci. La domanda è quanto deve essere grande le dighe per sopportare alle portate d'acqua richieste.

Possiamo avere molte soluzioni in base all'isoprofita del terreno (pendute del terreno).

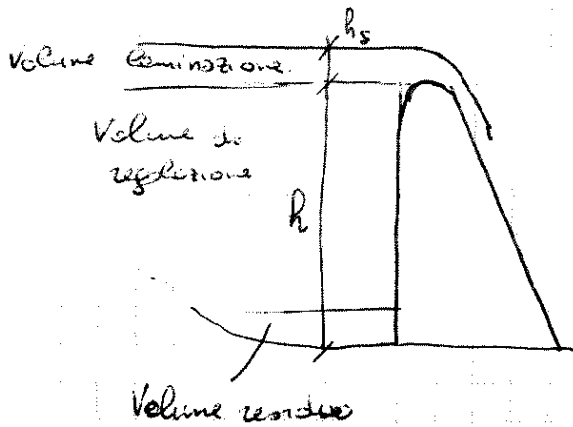




Per valutare la convenienza è necessario valutare il rapporto

$$\frac{\text{Ricavi}}{\text{Costi}} \propto \frac{V}{V_{\text{elutata}}} \propto \frac{V}{h_0 A_0}$$

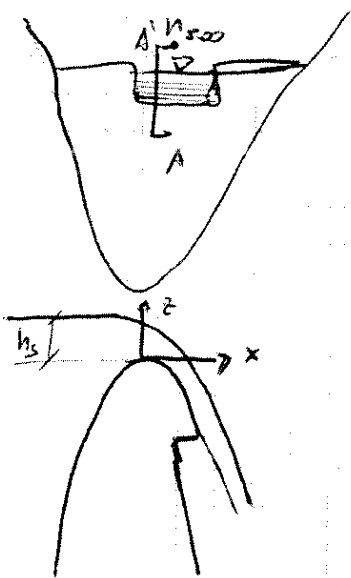
La diga da costruire avrà un'altezza  $h = f(V)$



La diga lavora normalmente senza sfiorare, nel caso di precipitazioni lo sfioratore come usua l'acqua.

$T_R$  tempo di ritorno è il tempo che passa tra due eventi catastrofici. Le strutture sono costruite in base al tempo di ritorno delle piogge.

Secondo il DPR '82 le dighe vanno dimensionate per eventi con  $T_R = 500$  anni.



Dobbiamo valutare  $h_s$  in modo da poter dimensionare l'altare della diga.

Lo sfioratore è regolato secondo la

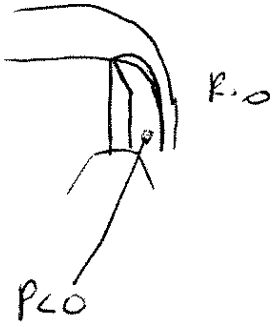
$$\text{fun: } \frac{z}{h_s} = \alpha \left( \frac{x}{h_s} \right)^\beta$$

La portata in uscita sarà

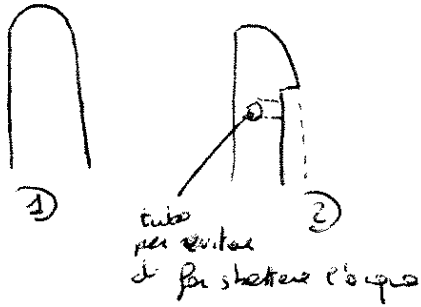
$$Q = C \cdot L \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

$C$ : coefficiente di deflusso è funzione del tipo di stramezzo

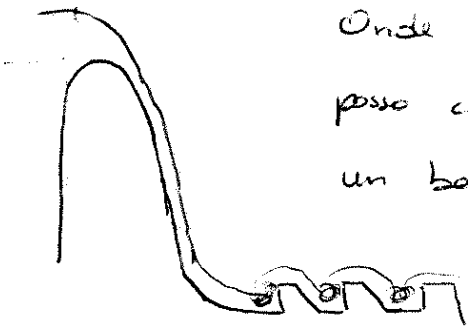
Lo sfioratore è fatto così perché la pendenza tra l'asse l'acqua e sfioratore diventa così il volume diminuisce e l'acqua comincia a sbattere



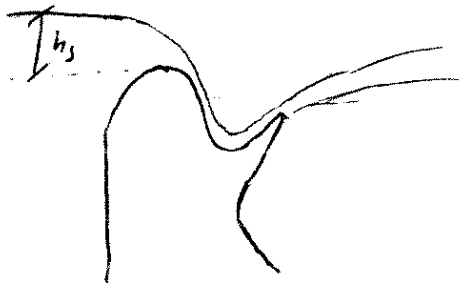
Tipi di sfioratori:



Onde evitare che l'acqua che esce dallo sfioratore possa causare danni ai valli dello sfioratore viene costruito un banco di dissipazione - P



Altro modo per togliere l'acqua in eccesso è questo:



il getto si spacca e a valle non è altro che una pioggia. Inoltre <sup>anche</sup> ~~non~~ se serve per tenere l'acqua non scende ai piedi della diga perché cade ad una distanza di metri dalla diga.

L'altezza della diga è  $h_{TOT} = h + h_s + \text{franco totale}$

Il franco totale  $f_r = f_{\text{vento}} + h_{\text{ONDE}}$   
 ↓  
 1,5 m calcestruzzo  
 + 4 m terra. (le dighe in terra non può mai essere smantata)

La diga e monte crea un bacino. La distanza massima tra la



diga ed i bordi del bacino è il fetch massimo

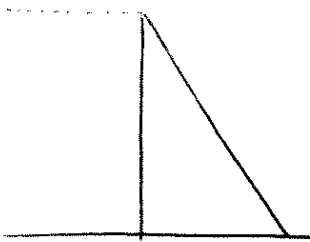
$$h_{onda} = f(ft, \bar{u}_{vento})$$

fetch                      velocità vento

$$\frac{g h_{onda}}{U^2} = \alpha \left( \frac{g ft}{U^2} \right)^\beta$$

Quindi  $h_{tot} = h + h_s + h_{onda} + p_{netto}$

### Analisi delle forze



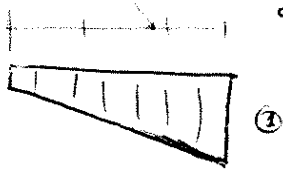
Dobbiamo valutare le forze

- trazione  $\frac{\sum F_o}{\sum F_v} \leq \frac{3}{4}$

- ~~Non~~ <sup>deve essere presente</sup> trazione



Se R cade ~~fuori~~ <sup>nel</sup> terzo medio la distribuzione di  $\sigma$  è trapezoidale, se cade nel terzo medio ( $\frac{R}{3}$ )

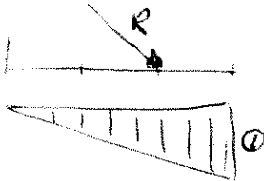


la distribuzione è trapezoidale

A noi interessa che:

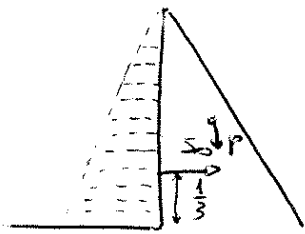
② e ① compressioni non unificata

③ ~~è~~ <sup>ha</sup> ~~comp~~ trazione.



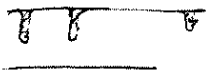
trazione

La diga deve avere R che cade dentro il terzo medio.



$$S_0 = \frac{1}{2} \gamma h^2$$

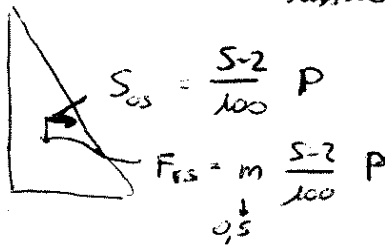
16° problema del ghiaccio si ha questo cioè il disgelò si forma dai crateri durante la notte <sup>si spacciano</sup> durante il giorno, e notte l'acqua <sup>congelata</sup> scappolata nei crateri <sup>si spinge</sup> ed inizia a spingere contro la parte dello zigo



Altre sollecitazioni importanti sono dovute ai sismi. Un sismo può causare due effetti diretti ed indiretti:

Definiamo S il coeff. di sismicità. ( $S = 3+12$ )

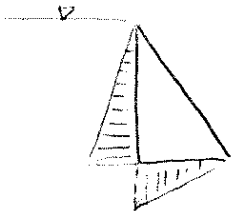
effetti diretti - oscillazioni  
- sussultano



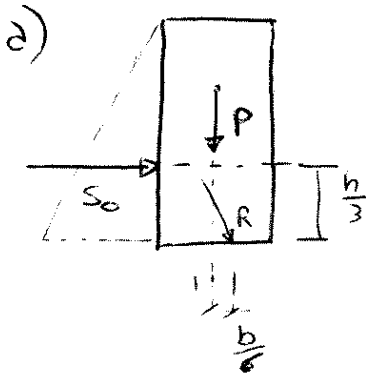
effetti indiretti: la diga che si muove per colpo del sisma non riesce a mantenere l'acqua. Si genera un profilo di pressione con m figura



Sulle dighe agisce anche la sottopressione dell'acqua, che spinge la diga verso l'alto.



Esempio



$$S_0 \cdot \frac{h}{3} - P \frac{b}{6} = R \cdot 0$$

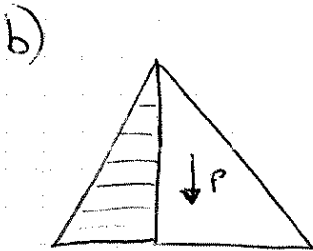
$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{h}{3} - \gamma_{ces} B h \cdot \frac{B}{6} = 0$$

$$\frac{B}{h} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_{ces}}}$$

$\gamma_{ces}$ :  $\gamma_{colata\ intera}$

$$B \geq h \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_{ces}}}$$

$$\approx \sqrt{\frac{1000}{2600}} \approx 0,75 = 0,8$$



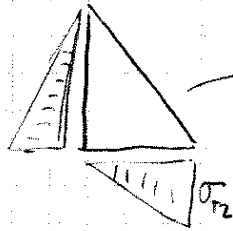
P agire su un terzo nella

$$S_0 \frac{1}{3} h = P \frac{B}{3} \Rightarrow \frac{B}{h} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_{ces}}}$$

stare base della diga rettangolare.

Si costruisce quindi: le dighe triangolare perché:

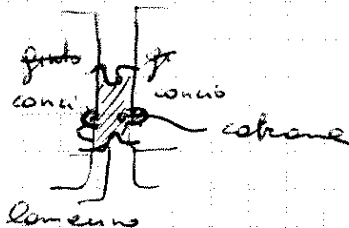
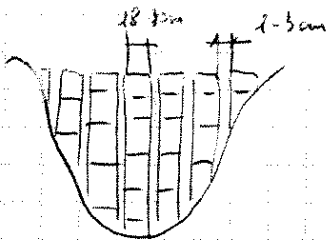
- costo minore
- $\sigma_{tra} = \sigma_{tra}/2$



triangolo  
fondamentali  
rankine

Le dighe sono una successione di corni separati e ripetuti.

Questo perché se si gettano le dighe tutte insieme mentre si  
solidificano si romperebbe. Quindi i corni vengono giuntati.



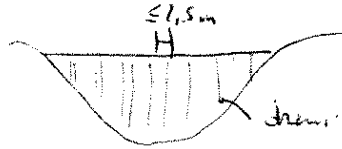
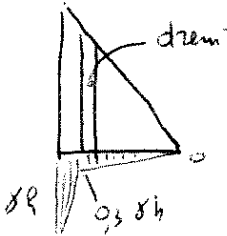
Il lamina serve per  
tenere il concreto.

Se consideriamo anche il sottopavimento che viene sostituito da  
 $\delta_{es} - \delta$

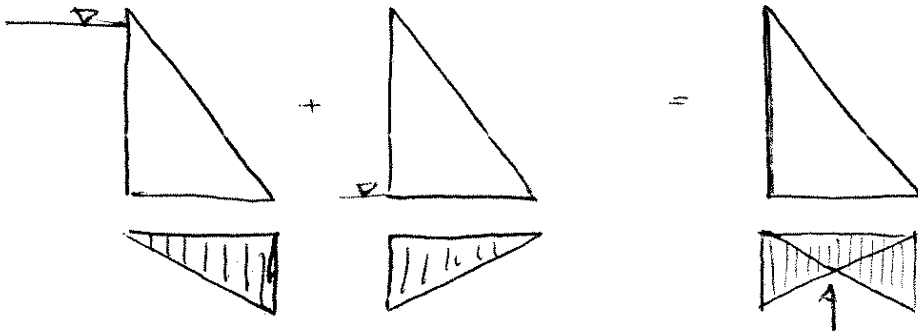
Quindi  $\frac{B}{h} = \sqrt{\frac{\delta}{\delta_{es} - \delta}}$



Per togliere l'acqua da sotto la diga inseriamo i DRENI

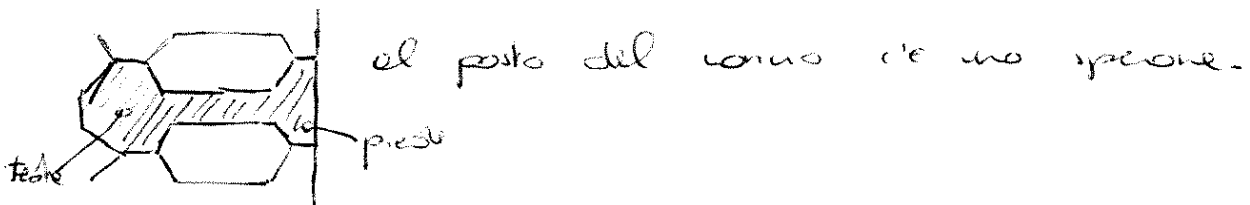


Diga monica



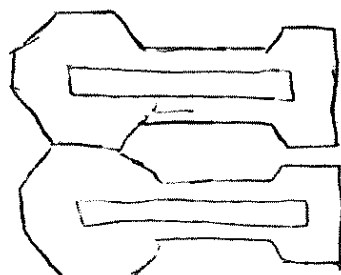
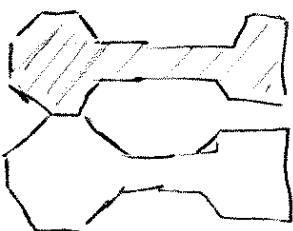
materiali sempre sovrachiusurati

Per risparmiare sul materiale rispetto al dimensionamento

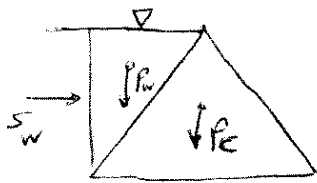


Dall'estero non c'è differenza tra dighe e spioni e dighe monica.

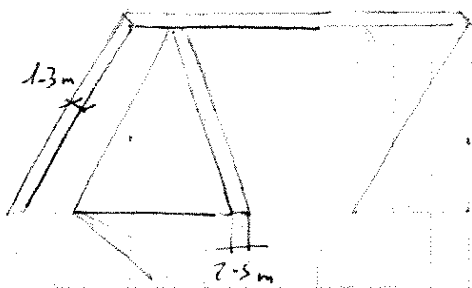
Altri tipi di spioni:



Il problema delle dighe a speroni è che è troppo leggera e quindi non resiste alla spinta dell'acqua. Per risolvere il problema uno fanno così:



Se costruiamo le dighe a speroni, cioè le dighe a mensola



il materiale deve essere migliore rispetto a quello delle dighe massicce.

Perché il peso del calcestruzzo è nullo l'unica cosa che ci interessa è che

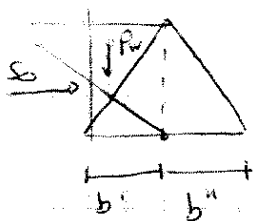
$$\frac{S}{P_w} < \frac{3}{4}$$

$$S = \frac{1}{2} \gamma h^2 \quad P_w = \frac{1}{2} b' h \gamma$$

$$\text{Da cui si ottiene } \frac{h}{b'} \leq \frac{3}{4} \quad \text{cioè}$$

$$b' \geq \frac{4}{3} h$$

Ora dobbiamo sapere quanto sono grosse le mensole.



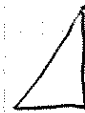
$B = b' + b''$  la risultante delle forze

deve passare per il centro della base

cioè la  $\sigma$  avrà andamento rettangolare.

Sfrutto appieno tutto il materiale.

La diga a mensola è fatta

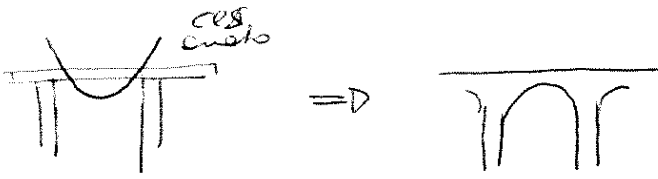


perché  $b'' = 0$

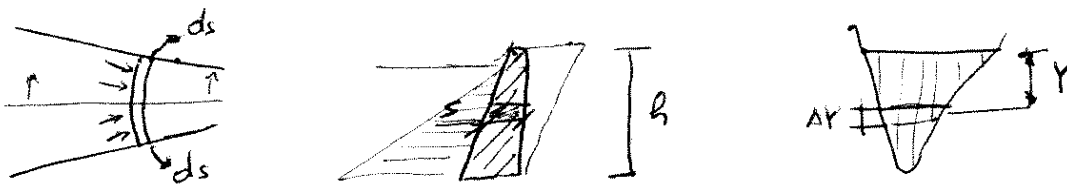
Le dighe a speroni sono un ibrido tra quelle a mensola e quelle massicce. Le dighe a speroni e le mensole sono dette "alleggerite".

# Dighe ad Arco

Le mura deve essere altrettanto curvo. Oppure posso avere un arco

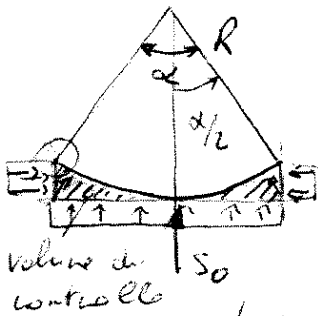


# Dighe ad ARCO



Restano una lesia della diga e profondità  $Y$ .

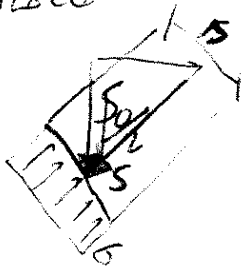
Sull'arco agisce una spinta idrostatica



$$S_0 = \gamma Y \Delta Y \cdot 2R \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$S_0 = S \cdot \sigma$$

$$S = \frac{S_0}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$



$$\frac{\gamma Y \Delta Y \cdot 2R \sin \frac{\alpha}{2}}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \Delta F \cdot \sigma$$

$$\sigma = \frac{\gamma Y R}{\sigma} = \frac{PR}{\sigma}$$

Si ha che  $\sigma < \gamma$  nelle volte per la diga non fatte così. Io voglio avere un arco delle mura al fondo.

La diga in sezione è fatta così



perché quando scende l'acqua non rimane il capo diga. È perché permette la deformazione della diga



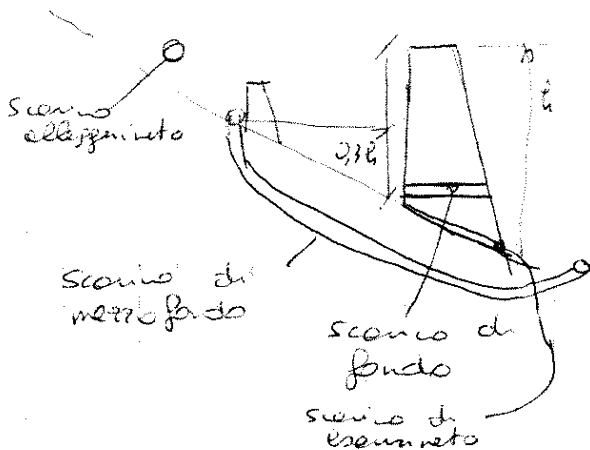
Si fanno anche Dighe e foro d'aria, me nemice. <sup>Campo</sup> ~~so~~

Hoare Dam

Anche le dighe ed arco sono realizzate per canali verticali.  
successivi. <sup>Tra</sup> I canali viene montata la botte (a fine inverno).

Quando le dighe sono ad allagarsi (in estate) le dighe iniziano a comprimersi e quindi resistono meglio alla spinta dell'acqua.

## DIMENSIONAMENTO delle CONDOTTE



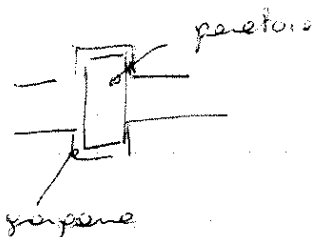
Il problema principale quando costruisce una diga è decidere il fine. Deve costruire una AVAN DIGA. Nell'avanzata si trovano una parte che mi pareva l'acqua a valle delle dighe.

Di solito lo scanno di netto fondo è

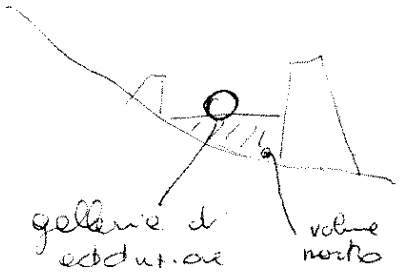
è un centinaio di metri a monte della diga. Oltre allo scanno di fondo netto fondo si può avere uno scanno di fondo. (NOTA: le dighe in terra non hanno nessun scanno di fondo) all'interno del corpo diga). L'utilità dello scanno di fondo è nel liberare la diga dai sedimenti che la intascano.

Sotto lo scanno di fondo si trova lo scanno di esauimento che si usa solo per svuotare la diga per effettuare manutenzione.

Più in alto dello scanno di netto fondo si trovano scanni di allagamento (per regolare il livello dell'acqua nella diga).



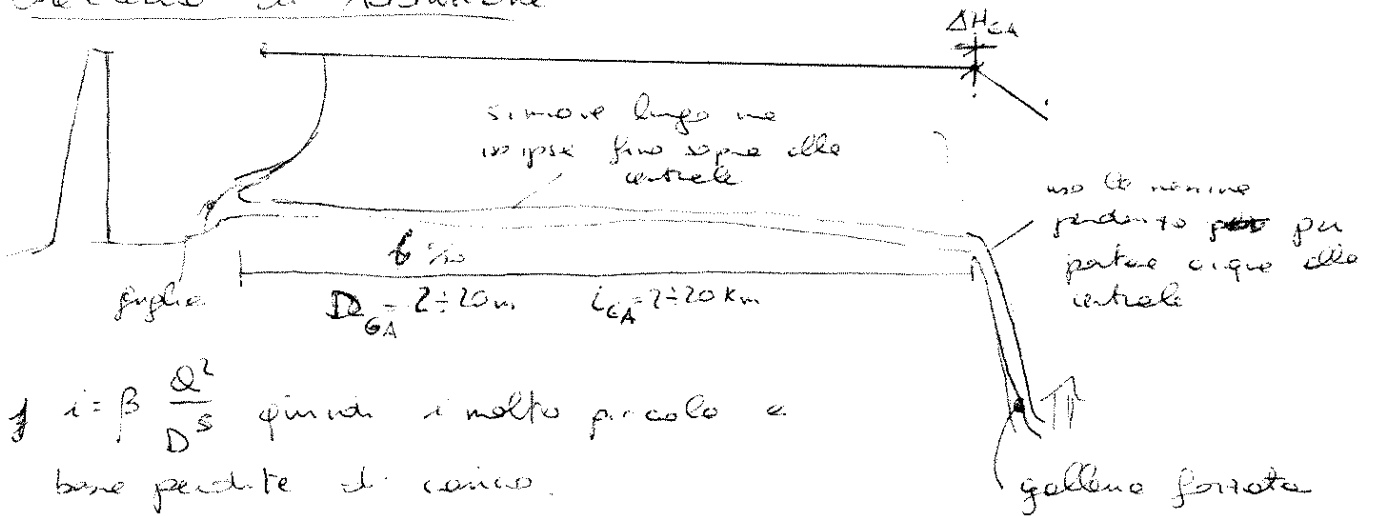
Per poter muovere il paratore è necessario allungare il cavo (da cui il nome allungamento dello scanno).



Ultimo scema dello tipo è la galleria di adduzione che non va né troppo in alto (perdo acqua) né troppo in basso (sedimenti). Inoltre se netto la galleria di adduzione troppo in basso diventa difficile ripulire la parate. Per risolvere il problema

si possono mettere più prese in verticale che fanno riferimento allo galleria di adduzione.

### Galleria di Adduzione



$f = i = \beta \frac{Q^2}{D^5}$  quindi è molto piccolo e  
base perdite di carico.

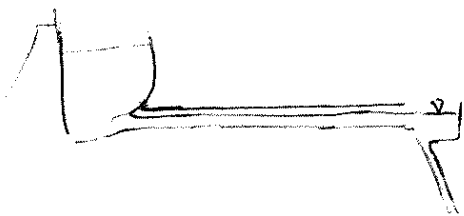
$$\Delta H_{GA} = i L_{GA}$$

La galleria forata è in metallo con lunghezza dai 200m ai 1500m  
diametro  $0,5 \div 2$  m

$$f = \beta \frac{Q^2}{D^5} \quad \text{se in presenza}$$

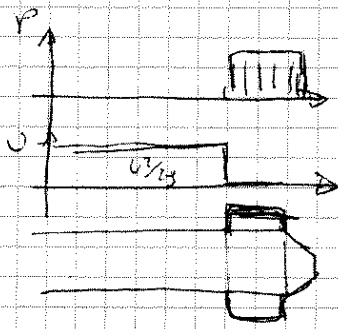
$$U = K \sqrt{Ri} = \quad \text{se condotta e pelo cheso.}$$

Di solito la condotta e pelo cheso costa meno, ne bisogna fare un beano di carico.



Un altro difetto del pelo cheso è che butta via il carico. Se in presenza di pioggia (vento) se pelo cheso (ign) è molto vibrante se in presenza.

Condotta in pressione e chiusa in maniera brusca  
l'otturatore.



Devo dimensionare la tubazione per resistere allo sforzo.

Problema la galleria d'adduzione è in acciaio - in questo caso c'è l'onda alla velocità del suono. Il colpo d'ariete diventa più forte

$$c_2 = \sqrt{\frac{E_p}{1 + \frac{D E}{S E}}}$$



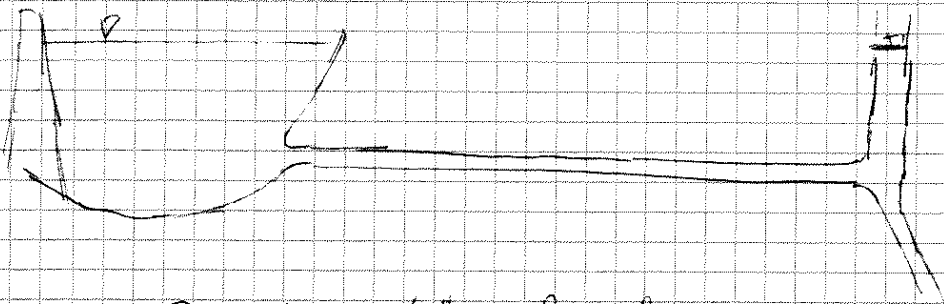
$$\left( \Delta H = \frac{v_1 c}{g} \right), \text{ la galleria}$$

se parte si rompe. Va quindi protetta

la galleria dal colpo d'ariete.

Inoltre se viene l'otturatore prima che il colpo d'ariete si dissipasse, ma ora la produzione non costante.

Devo fare in modo che il colpo d'ariete si estingua velocemente: costruisco un pozzo piezometrico



Il colpo d'ariete viene dissipato nel pozzo piezometrico

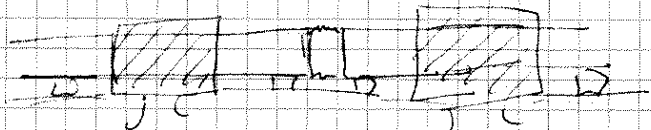
Oggi la condotta forata è in cemento gettato con anche le ventole.

### Condotta forata

Il tubo è fissato mediante giunti e soffietti che evitano le dilatazioni della tubazione.

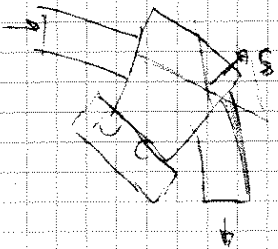
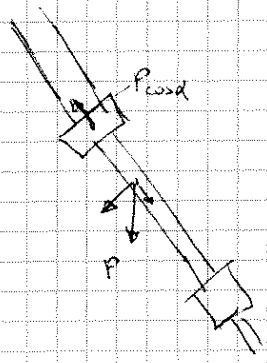


Il tubo è fissato in modo elicoidale e tenuto ogni 50-60 m



In netto a loro degli appoggi interni su un più scivolare (appoggi a rotelle o con rulli)

Vogliamo ridurre le forze che agiscono sui blocchi e le forze che agiscono sono



- peso
- spinte di dilatazione per effetto (può creare le curve delle scelte dello appoggio e mille)
- ~~costo~~ spinte nelle curve (reazione delle direzioni delle pile di nota e spinte idrostatiche)

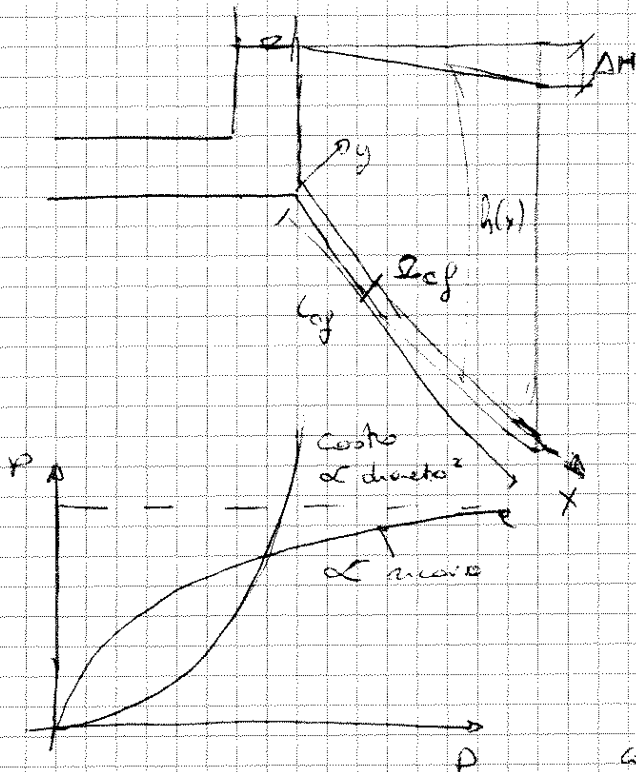
Dinamizzazione della condotta.

più aumentata la velocità più si alza il cono massimo e la potenza. la potenza max sarà data dal cono massimo. (che si ottiene con  $D \rightarrow \infty$ ). Tuttavia ci noi riteniamo il nuovo (costo max \* potenza max \* T max).

Dobbiamo minimizzare i guadagni.

$$C = \frac{\text{Spesa } T}{1} = \int_0^{L_{cf}} \beta \frac{Q^2}{D^5(x)} dx \cdot Q \cdot C_{max} T$$

Costi per unità prodotta



$$C_{cond} = C_{sp} \cdot P_{cf} \cdot \alpha$$

$\downarrow$   
 $\text{€ / kg}$

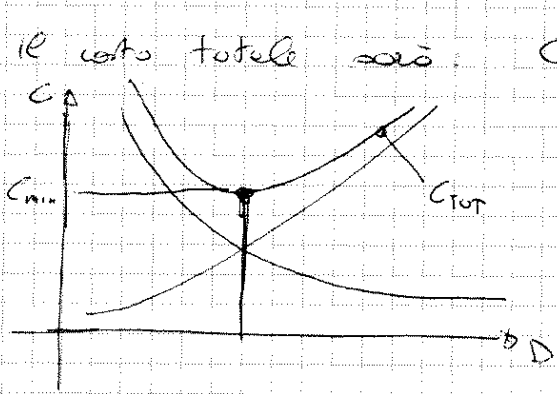
coefficiente di aumento

$$P_{cf} = \int_0^{L_{cf}} s \pi P_{max} dx = \int_0^{L_{cf}} \gamma Y(x) \frac{D^2(x)}{2\sigma} \pi dx$$

$$s = \frac{P \cdot D(x)}{2\sigma} = \frac{\gamma Y(x) D(x)}{2\sigma}$$

$$C_{cond} \propto C_{sp} \int_0^{L_{cf}} Y(x) D^2(x) dx$$

$$C \propto \int_0^{L_{cf}} \frac{Q^3}{D^5(x)} dx$$



$$C_{TOT} \propto \int_0^{L_{eff}} \gamma(x) D^2(x) dx + \int_0^{L_{eff}} \frac{Q^3}{D^5(x)} dx$$

Per trovare il  $C_{min}$  dobbiamo derivare  $C_{TOT}$  rispetto a  $D$  e trovare il punto = 0

$$-\int_0^{L_{eff}} \frac{Q^3}{D^6} dx + \int_0^{L_{eff}} \frac{Q^3}{D^6} \gamma D(x) dx$$

Suppongo che  $D$  sia costante costante

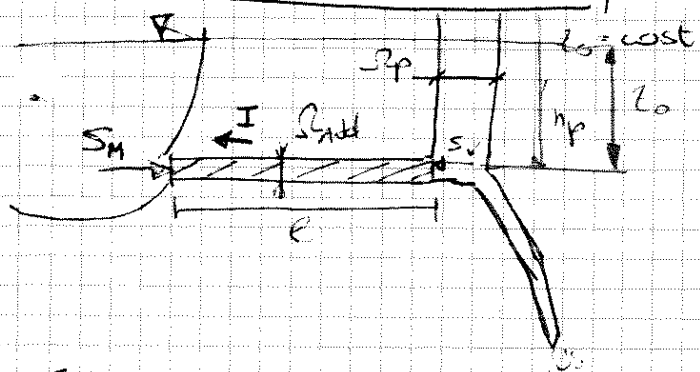
$$-L_{eff} \frac{Q^3}{D^6} + \gamma D \int_0^{L_{eff}} \gamma(x) dx = 0$$

$$D = \sqrt[7]{\frac{Q^3 L_{eff}}{\int_0^{L_{eff}} \gamma(x) dx}} = \sqrt[7]{\frac{Q^3}{\gamma_{medio}}}$$

Il diametro è costante a tratti

Nelle realtà accade che il diametro diminuisce con l'aumentare della profondità.

### Pozzi Piezometrici



Quanto deve essere alto il pozzo e quanto deve essere il valore  $R_p$ ?

il nostro riferimento di altezza è  $z_0$

Volume di controllo: galleria di adduzione  $V = \Omega_A \cdot e$

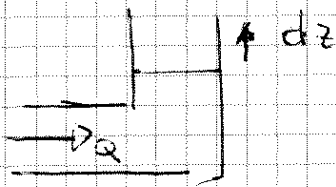
$$S_M = \gamma \cdot z_0 \cdot \Omega_A$$

$$S_V = (z_0 + z) \delta \cdot \Omega_A$$

$$I = \rho \cdot \Omega_A \cdot e \frac{dV}{dt}$$

$$\gamma \cdot z_0 \cdot \Omega_A = \delta (z_0 + z) \delta \cdot \Omega_A + \rho \cdot \Omega_A \cdot e \frac{dV}{dt}$$

$$\gamma z + e \frac{dV}{dt} = 0$$



$$\frac{dz}{dt} \rho_p = Q - U \rho_A$$

$$U = \frac{dz}{dt} \frac{\rho_p}{\rho_A}$$

$$\rho z + \frac{\rho}{g} \frac{\rho_p}{\rho_A} \frac{d^2 z}{dt^2} = 0$$

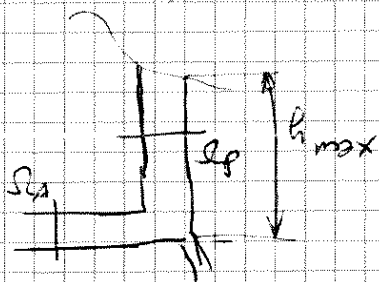
$$T = \sqrt{\frac{\rho}{g} \frac{\rho_p}{\rho_A}}$$

$$z + T^2 \frac{d^2 z}{dt^2} \Rightarrow z = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) + B \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$$

Vogliamo che  $T$  sia il più piccolo possibile.

Quindi  $\sqrt{\frac{\rho}{g} \frac{\rho_p}{\rho_A}}$  deve essere piccolo  $\Rightarrow \rho_p$  piccolo

Il limite fisico impone l'alternanza del pozzo



Condizioni al contorno

$$t=0 \Rightarrow z=0 \Rightarrow B=0$$

$$t=0 \Rightarrow u=U_0$$

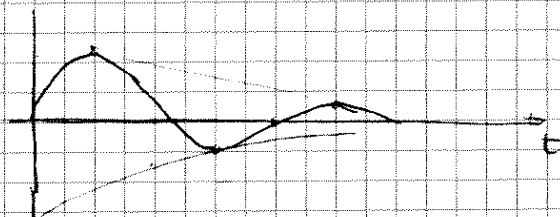
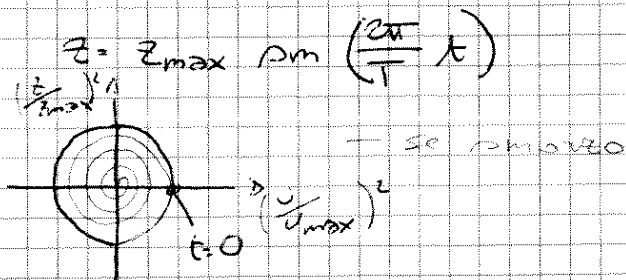
$$U = \frac{dz}{dt} \frac{\rho_p}{\rho_A} = \frac{\rho_p}{\rho_A} A \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \frac{2\pi}{T}$$

$$U_0 = \frac{\rho_p}{\rho_A} \cdot A \frac{2\pi}{T} \Rightarrow A = U_0 \frac{T}{2\pi} \frac{\rho_A}{\rho_p} = \frac{U_0}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{g} \frac{\rho_p}{\rho_A}} \sqrt{\frac{\rho_A}{\rho_p}} =$$

$$= \frac{U_0}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{g} \frac{\rho_A}{\rho_p}}$$

$A$  è la massima altezza.

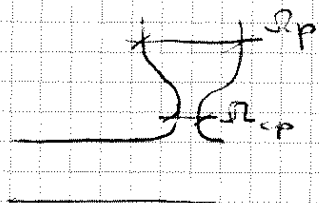
$$\left(\frac{z}{z_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{U}{U_{\max}}\right)^2 = 1$$



Problemi:

- sintonizzati
- limitare il  $z_{\max}$

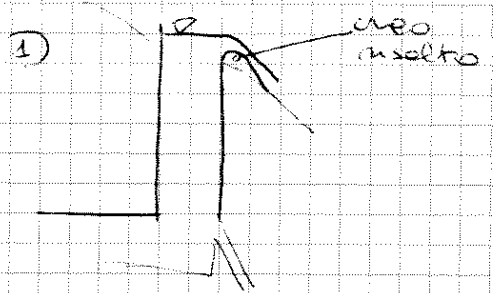
Per smontare deve lavorare sul posto piezometrico



Un rotolo è usare un busco allargamento. È poco utilizzato perché è difficile valutare la perdita.

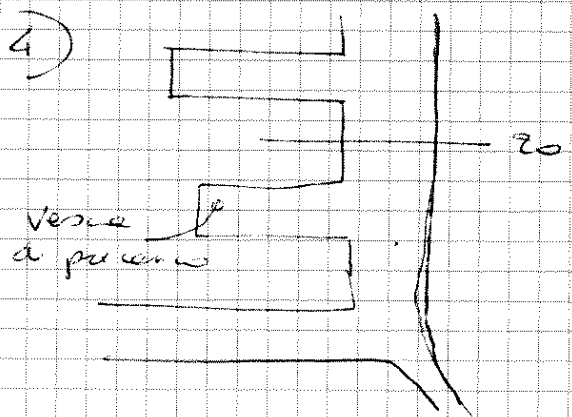
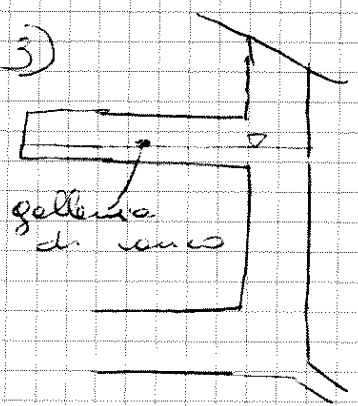
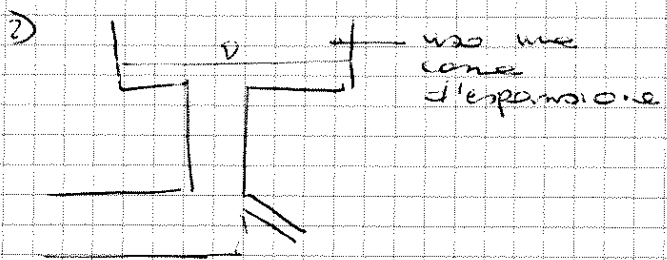
Altra problema di questa soluzione è il fatto che non interrompe il colpo d'ariete.

Limitare e max

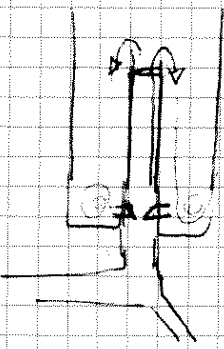


Problema di questa soluzione

- butto via l'acqua
- non è praticabile dal punto di vista delle manovre (o non si sono finiti via).



Posto Sbornata



Questo tipo non viene quasi mai usato

