



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 843

DATA: 12/03/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Muratore

MATERIA: Impianti Idroelettrici

Prof. Poggi

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

- potenza elettrica installata: potenza complessiva dell' (3)
 motori idroelettrici installati, compresi eventuali usi.

La potenza nominale di un impianto è data dalle seguenti espressioni:

$$P = \gamma \cdot Q \cdot \Delta H$$

con:

γ : peso specifico H_2O

Q : portata $\frac{m^3}{s}$

ΔH : salto naturale disponibile

Perché costruiamo le dighe?

Superfici di osservazione sul fiume:

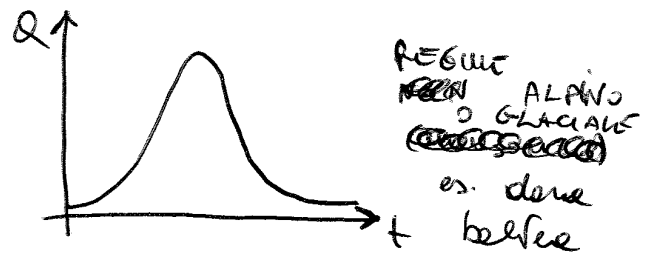
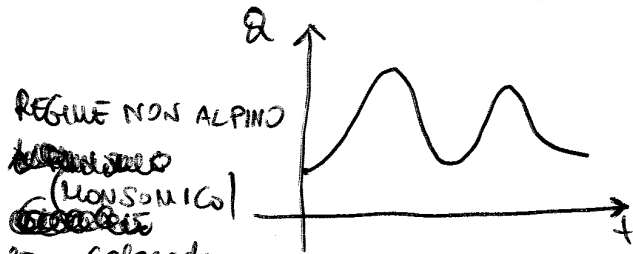
La rete presa d'acqua l'anno Q_f ha l'andamento mostrato nel grafico qui accanto. Una diga permette di accumulare l'acqua in eccesso (quando $Q_f > Q_u$), in attesa di lavorare alle portate in cui $Q_f < Q_u$.

Il volume trattenuto è un certo volume in eccesso ed è quello che deve essere immagazzinato nel serbatoio.

SERBATOIO: distribuiscono il volume in eccesso (uguagliando le portate) ma anche l'energia prodotta.

La presa Q_f è conosciuta dal studio delle costitutive idrologiche del fiume stesso, cioè del grafico di somme portate acqua in un fiume in funzione del tempo. R

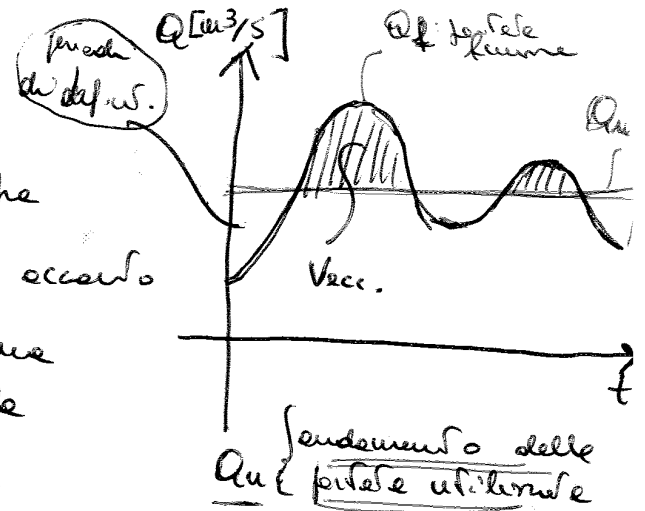
Esistono varie diversi regimi fluviali:



A seconda del tipo di impianto si utilizzano 2 diversi tipi di turbine:

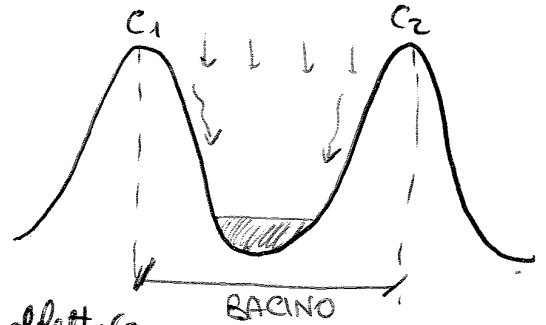
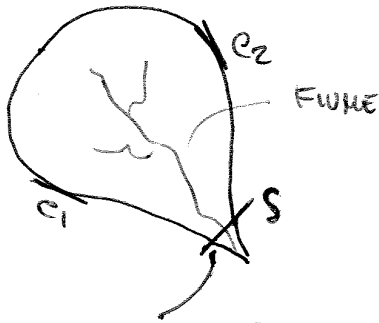
- Turbine Pelton: alto ΔH , bassi Q
- a Kaplan: alto Q ; bassi ΔH

la corrente



5

Per capire e determinare il ciclo orologio devo studiare il beam idrografico, da t quelle porzioni di tempo che contribuisce alle portate del fiume.



SEZIONE DI CHIUSURA → sezione dove si può costruire l'impianto idroelettrico.

C: confini del beam.

Se spento le zone di dispersione in valle e nelle anfratte l'area del beam. L'acqua che rimane le zone di dispersione è quella compresa nel beam idrografico. Da dove arriva quest'acqua? L'acqua cade dal cielo.

- un buon 10 ÷ 30% di quest'acqua rimane sulle frange degli alberi
- 20 ÷ 80% va nel sottosuolo.

La acqua che rimane, scende sul terreno e diventa i fiumi di dimensioni le zone di dispersione.

Le perdite di acqua di dispersione in $\frac{mm}{hora}$, il tempo che impiega l'acqua portata al suolo verso le zone di dispersione in definite tempo di conversione; e secondo del tipo di terreno il tempo di conversione può cambiare notevolmente.

Per quanto riguarda la prod. di energia il terreno impermeabile è il caso peggiore, è molto più probabile un terreno poroso.

Una parte dell'acqua portata non arriva mai alle zone di dispersione, in quanto rimane in superficie: è la quota di evapotraspirazione.

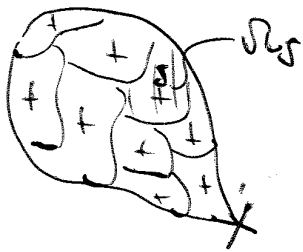
Per misurare le velocità ^{o per processi} a loro volta altri metodi: 7
 metodo doppler.

Le curve di deflusso o altre annualmente in secondo
 a e h in una stessa pendenza.

Le sezioni di misura non ce ne sono molte \Rightarrow un po' pesante
 due anni
 20.

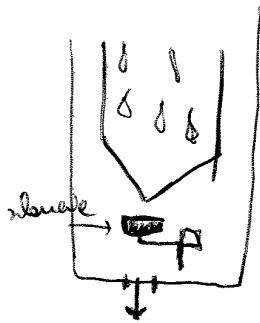
METODO INDIRETTO:

Con il secondo ~~o~~ metodo o riferimento alle piogge,
 ricaviamo le portate da una misura delle piogge.



Si suddivide il bacino idrografico in
 più sezioni e all'interno di ciascuna area
 si dispone una stazione di misura delle
 piogge.

\Rightarrow le misure dell'intensità di pioggia i $[\frac{mm}{ore}]$ viene
 tramite il coefficiente baseleante.



si misura il basaleante di un'ora.

\Rightarrow E' con contenitore di raccolta le piogge,
 quando è pieno (per una definite quantità di acqua)
 si svuota; un contatore conta quanti volte si è

svuotato e da questo caso quanto ha piovuto (intensità
 di pioggia)

$$i_j [\frac{mm}{ore}]$$

$$Q_j = i_j \cdot \sigma_j = [\frac{mm}{ore} \cdot km^2]$$

$$Q_{TOT} = \sum_{j=1}^M Q_j$$

Popolo deve negoziare o calcolarlo le perdite presso le sovane (9)
 la chiusura, ci si deve domandare se è necessario le costanti
 - una diga o di una traversa.

Qual'è la diff. Tra una diga e una traversa?

- non le dimensioni;
- non la forma (forma);

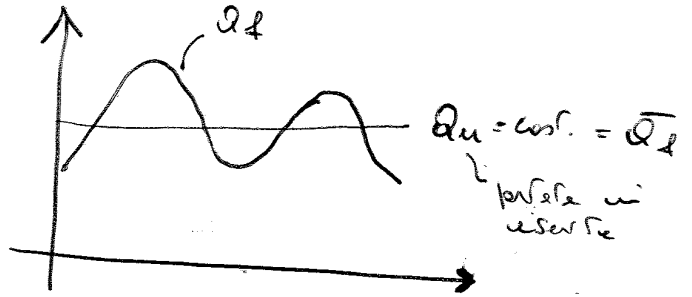
la differenza è nella funzione:

- DIGA: può regolazione le perdite;
- TRAVERSA: non regolarizza nulla, ^{serve in le} produce ^{di energia} (anche meglio più delle dighe);

⇒ la differenza è dovuta alle perdite turbinate

Se turbato tutto il volume trattenuto e lo utilizzo in maniera costante ⇒ ho una diga

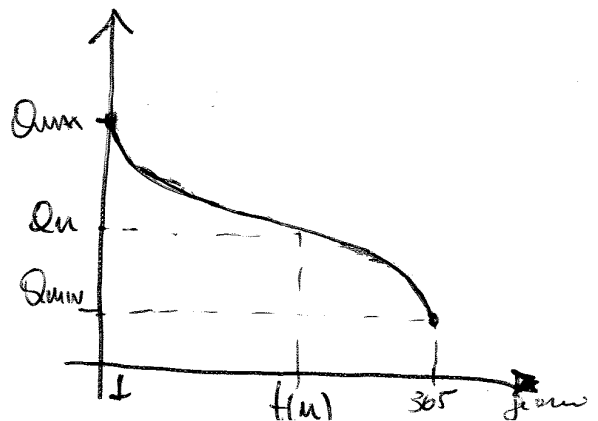
la diga con il suo sistema può continuare a mantenere le perdite costanti per 400 ore o più senza sosta.



→ DISPENSA OFFICINA.

Per rispondere alle domande iniziali è necessario tracciare la CURVA DELLE DURATE che indica il n° giorni in cui ~~una~~ ~~2000~~ per i quali si ha una determinata perdita. Queste curve si tracciano a partire dal grafico delle perdite Q_d in funzione del tempo; se ne calcola la ^{distribuzione} funzione di probabilità e lo si normalizza su 365 gg.

Le curve di durata riportate in queste il numero dei giorni in cui la perdita è \geq a quelle in oggetto; è una curva decrescente, in funzione dell'anno la curva può anche crescere. dipende dalla ~~1. momento~~.



1° caso significa che i è legata alle dimensioni delle macchine, (11)
 e quindi al costo.

$$C_{TOT} = f(P_{max})$$

↳ costo totale delle macchine \Rightarrow funzione crescente delle potenze installate

$$P_i = Q_{MAX} \cdot (P(t))$$

$$E_1 = \int_0^T P(t) dt = \gamma H \int_0^T Q(t) dt = \gamma H W_{TOT} = \gamma H \bar{Q}_1 \cdot T = \gamma H \bar{Q}_1 T$$

W_{TOT} : volume totale di acqua turbinate

\Rightarrow la potenza media turbinate dell'impianto coincide con \bar{Q}_1 (potenza media del fiume)

2° CASO

$$Q_i^* = Q_2 < Q_{max}$$

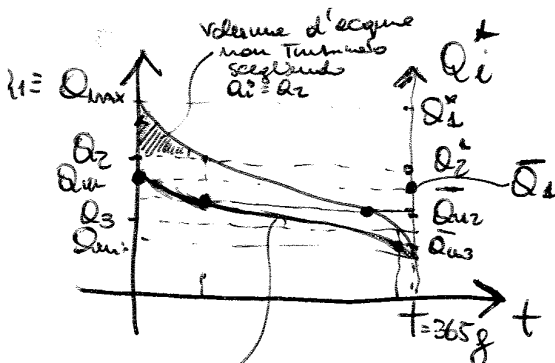
Q_2 : potenza massima turbinate

$$\bar{Q}_{ur} < \bar{Q}_1$$

$$P_{max} = \gamma H Q_2$$

$$E_2 = \int_0^T P(t) dt = \gamma H \int_0^T Q_2(t) dt = \gamma H W_{TOT} = \gamma H \bar{Q}_{ur} \cdot T$$

\bar{Q}_{ur} = valore medio di potenza turbinate nel caso (2)



CURVA DI UTILIZZO

La curva tracciata in verde è la curva che interseca tutte le potenze medie turbinate per i diversi valori delle Q_i^* [Q_{max} ; Q_{min}]

Quanto vale il guadagno?

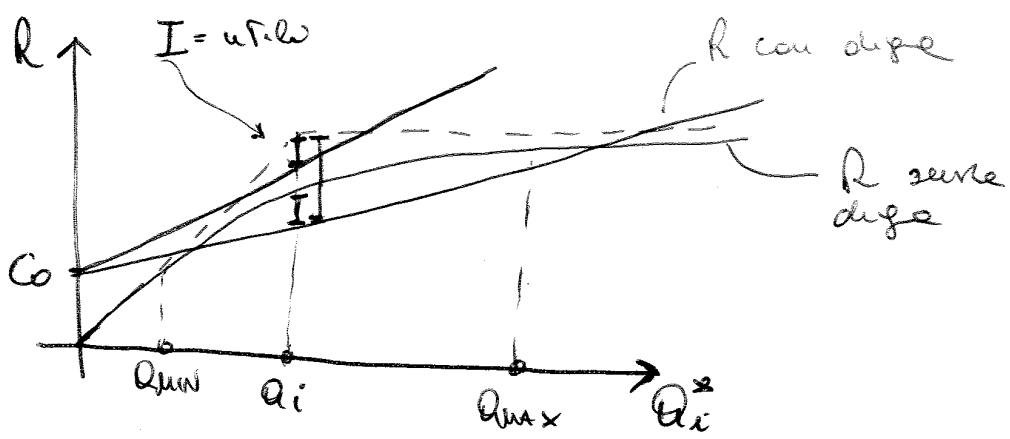
$$E_i = \int_0^T R(t) dt = \int_0^T \gamma H Q dt = \gamma H \int_0^T Q dt = \gamma H \bar{Q}_{ui} \cdot T$$

$$\Rightarrow R = E_i \cdot C_e = \gamma H \bar{Q}_{ui} \cdot T \cdot C_e = \underbrace{\gamma H T C_e}_{\text{cost.}} \cdot \bar{Q}_{ui}$$

\downarrow Ricavo \downarrow Costo unitario dell'energia (supponiamo costante)

\Rightarrow vediamo come il ricavo e un costo costante seguono lo stesso andamento di \bar{Q}_{ui} tant'è che in relazione a Q_i

Dobbiamo considerare che per recuperare l'utile devo tenere in considerazione anche i costi:



C_0 : costi fissi dell'impianto

Se le curve dei costi sono quelle con area utile in ogni caso (se si fanno le dige che se non le faccio);
 Se le curve dei costi sono quelle blu area utile solo nel caso di un certo numero di dige.

La ipotesi ideale Q_i^* ^{qui si fa riferimento nel grafico} è quella che massimizza gli utili (distanza tra curve dei ricavi e quella dei costi)

$$Costi = f(Q_i) = C_0 + a \cdot Q_i \Rightarrow \text{funzione dei costi}$$

DETERMINAZIONE CAPACITÀ DI COMPENSO

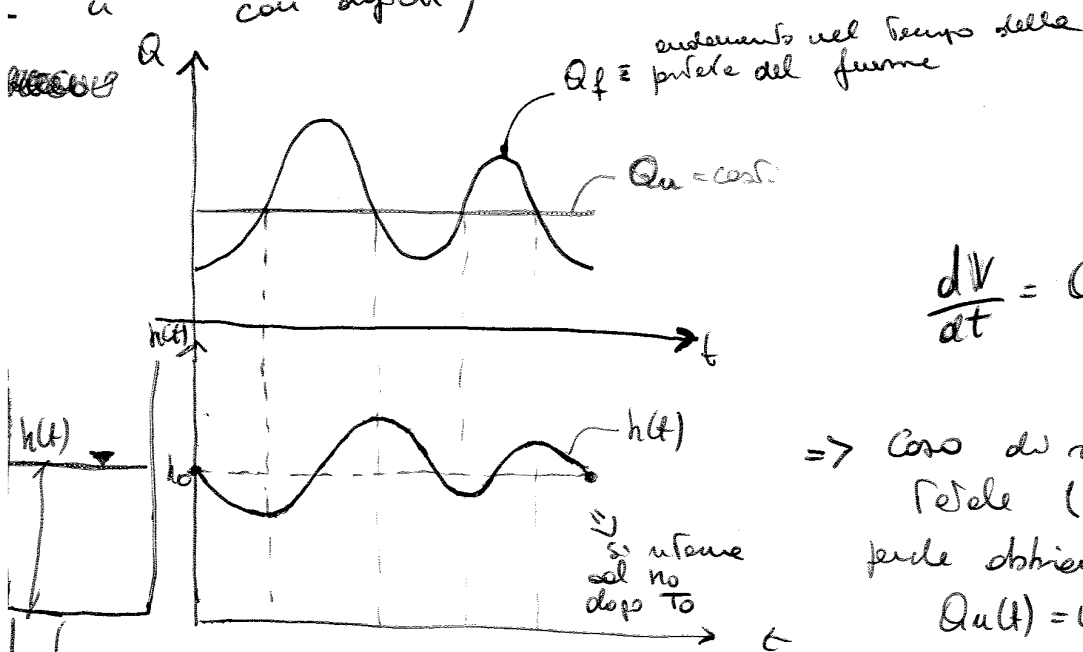
(15)

La capacità di compenso V_0 deve consentire di mantenere in ogni istante la diff. tra le portate entranti e le portate uscenti; il calcolo di tale capacità si effettua integrando l'equazione di continuità del serbatoio.

L'eq. di continuità mostra che i massimi e i minimi relativi di $V(t)$ si hanno quando $\frac{dV}{dt} = 0$ cioè quando $Q_i(t) = Q_u(t)$

Per trovare la capacità di compenso V_0 , raramente con n fe in via analitica, si applicano metodi numerici alle differenze finite oppure metodi grafici. La determinazione della capacità di compenso avviene con procedure differenti a seconda del tipo di regolazione:

- regolazione completa;
- " con sfior;
- " con deficit;



$$\frac{dV}{dt} = Q_i(t) - Q_u(t)$$

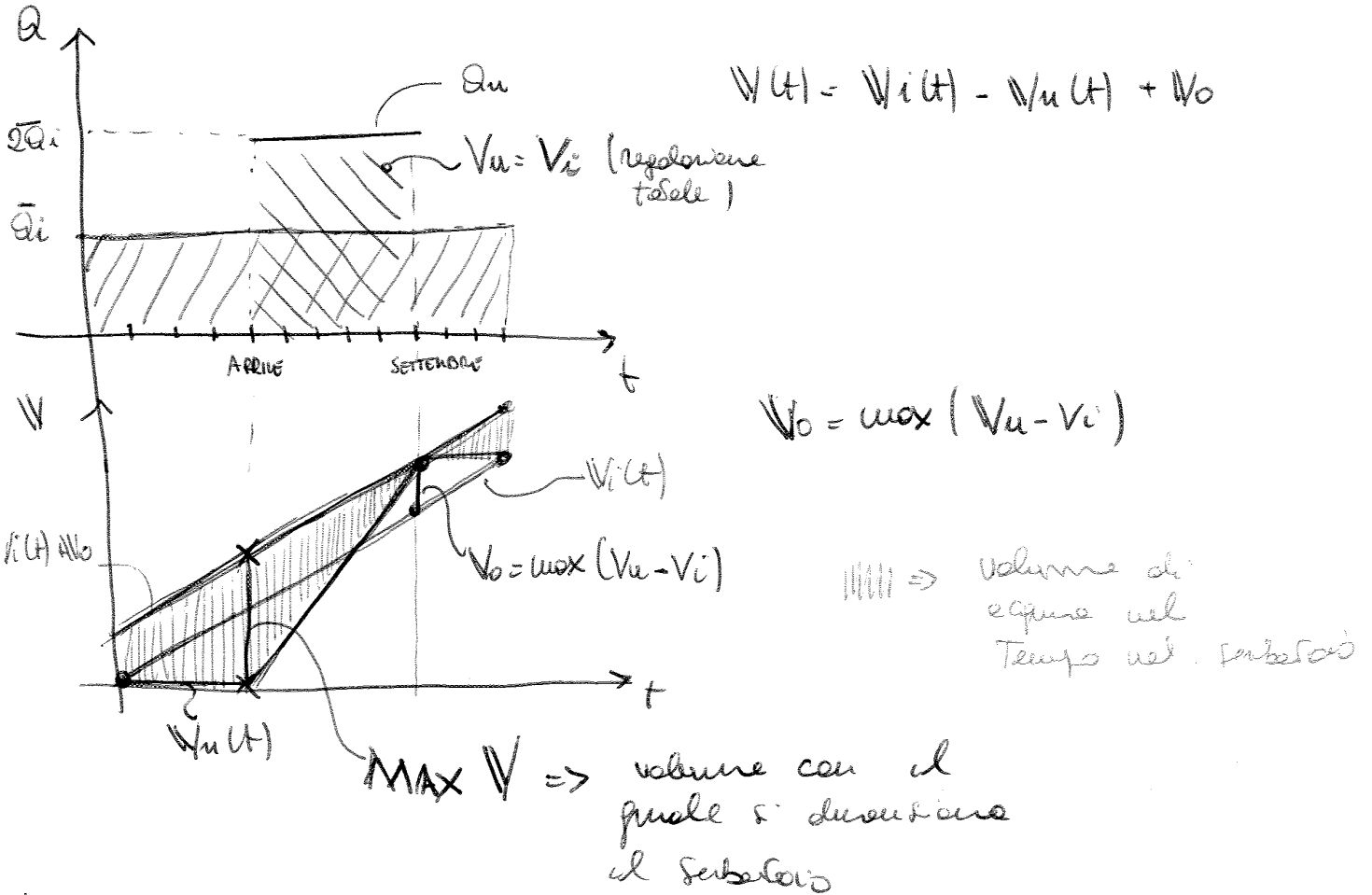
⇒ Caso di regolazione fidele (lo scavo senza perdite abbiamo imposto $Q_u(t) = Q_u = \text{cost.}$)

$A_b = \text{cost.}$
 $h(t) \Rightarrow \text{variabile}$ } ⇒ $V(t) = A_b \cdot h(t)$

— possibile schematizzare la zona della diga

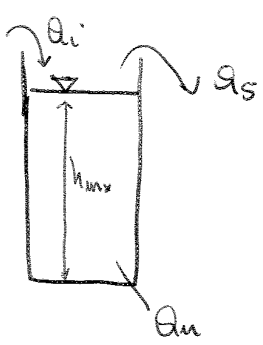
REGOLAZIONE STAGIONALE

$$Q_u = \begin{cases} Q_u = 0 & \text{GENNAIO - MARZO} \\ Q_u = \text{cos.} & \text{APRILE - SETTEMBRE} \\ Q_u = 0 & \text{OTTOBRE - DICEMBRE} \end{cases} \quad Q_i = \text{cost.} \Rightarrow \text{portata in ingresso}$$



Adesso ci chiediamo, come modularne come voglio?
 Quanto modulare ~~è~~ ~~è~~ una questione economica, più grande è il serbatoio più grande è il costo dell'investimento. La regolazione totale non è mai possibile per legge perché non possiamo usare tutta l'acqua ~~addizionale~~ per evitare di danneggiare l'ecosistema, dobbiamo lasciare il DMV \$\Rightarrow\$ volume minimo di acqua che deve essere e volle per salvaguardare l'ecosistema. La regolazione ^{Totale} è il meglio per i vicini ma non è detto che lo sia per gli ut-ili, allora senza altri ~~...~~

dove c'è lo sfavo il serbatoio è pieno.



il serbatoio è pieno e
 se $Q_i > Q_u \Rightarrow$ sfioramento

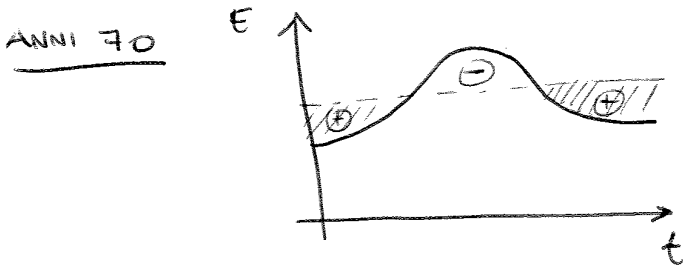
se $Q_i = Q_u$ non ho più sfioramento cioè il serbatoio resta pieno.

se $Q_i < Q_u \rightarrow$ il serbatoio si svuota.

Il grafico tracciato in precedenza è produttivo.

Il volume del serbatoio è $\frac{1}{2} \cdot \dots$

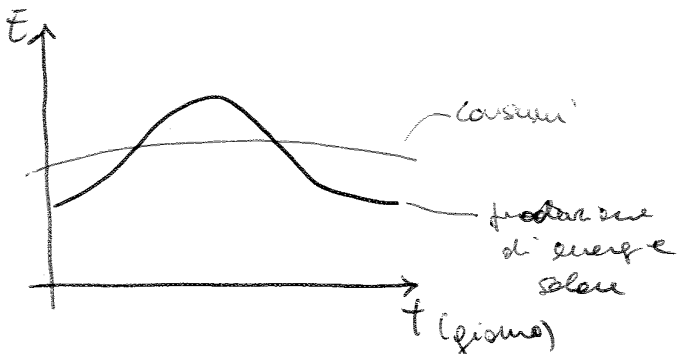
IMPIANTI IDROELETTRICI



Audacemente dei BWh richiesti negli anni 70

~~Il serbatoio~~ L'energia prodotta con gli impianti nucleari rappresenta una contributo costante, in questo processo energetico avevano molto senso gli impianti a serbatoio (memoravano quando avevano troppa energia, turbavano quando ne mancava).

Al giorno d'oggi non ^{abbiamo} più il nucleare ma è causa del Sole abbiamo una situazione simile:



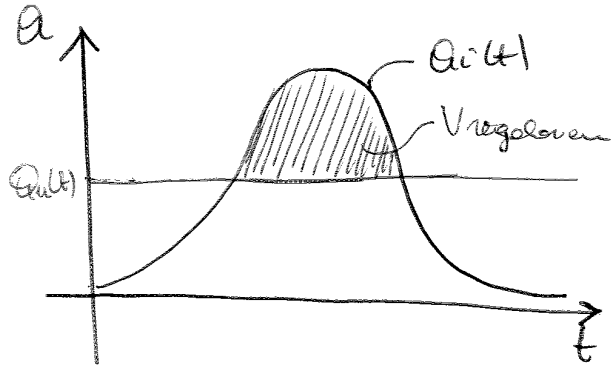
Quali sono le soluzioni?

SMART GRID \rightarrow CONSUMI

SERBATOI \rightarrow ACCUMULO

Per aumentare il rapporto ~~costi~~ benefici / costi si deve (21)
 aumentare il rapporto $\frac{V_{regolazione}}{A_H}$, in quanto i benefici
 sono collegati al volume di regolazione creato dalla diga.
cos'è il volume di regolazione?

È il volume che si muove nel bacino.



Il volume ~~totale~~ totale del bacino
 è sempre $>$ del volume
 di regolazione.

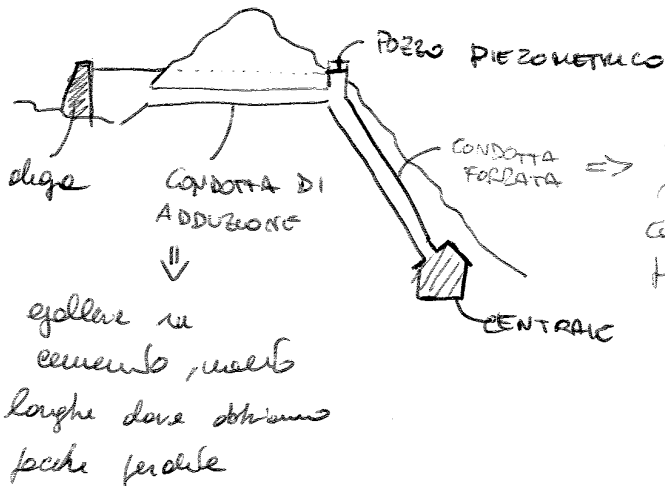
Per la costruzione di un impianto idroelettrico, è
 necessario che l'impianto rientri in un piano organico
 esteso a tutto il bacino o sottobacino da utilizzare. Lo
 studio e la realizzazione del piano di utilizzazione di un
 bacino idrografico avvolge problemi di varie nature
 (tecniche, economiche, finanziarie) per le cui soluzioni
 l'individuazione degli spreadsheet, si tende ad ottenere il
 max beneficio complessivo con i mezzi + economici.
 È necessario fare un esame delle carte topografiche della zona
 e delle curve di livello per poter individuare il caso
 d'acqua interessato e i suoi affluenti, si individuano
 ventualmente le località dove costruire stazioni secondarie
 per la funzione di coprire i tronconi o sottobacini. La
 morfologia dei versanti permette di scegliere l'uno o
 l'altro dei versanti opposti della valle per il ricambio
 dei condotti derivatori, in galleria o all'aperto. Sono
 necessarie visite sul luogo per la funzione di una
 dettagliata conoscenza locale sulle usanze del Tenere.
 È necessario mettere anche adeguate di natura tecnico

Avendo esposto $V = A \cdot i_{pe}$, varee trasfere alle turbine tutta l'energia.

vediamo qual'problem sorgono:

- perdite di carico nelle turbine ($\alpha l, \alpha' = \frac{\beta Q^2}{D^5}$);
- raccolta d'acqua in modo ottimale;
- dimensionamento delle macchine per potenze fisse;

⇒ Ecco lo schema di un bacino chiuso con dighe:



⇒ Turbine in metallo (confermo il colpo d'ariete), sono più pesanti di quelle di ghisa e abbiamo + perdite e less turbine meno rapide



• l'acqua che cade nel bacino naturale delle dighe è tutta turbinate, ma in forte perdita energia:

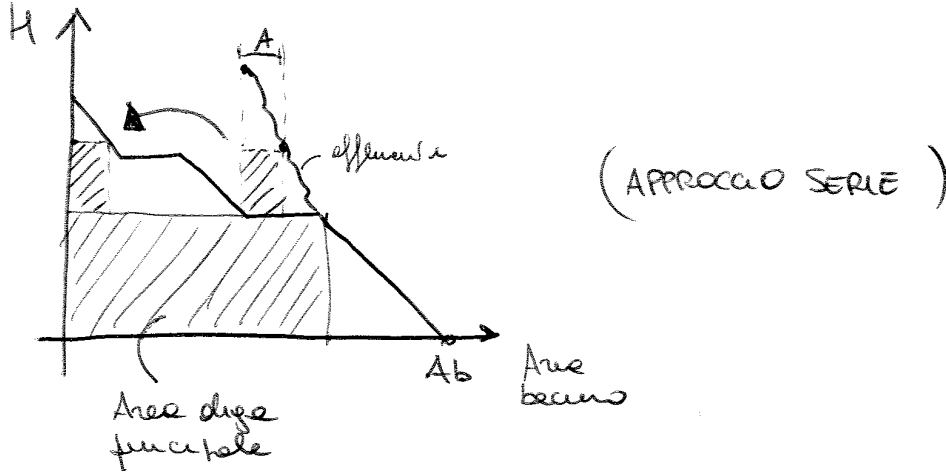
⇒ OTTIMIZZARE USANDO PIANI DI UTILIZZO

Le caratteristiche di un piano di utilizzo può trovare un certo orientamento e sussidio in speciali rappresentazioni grafiche che sintetizzano i principali elementi idraulologici di un bacino idroelettrico; fra questi vanno segnalate le curve IDRODINAMICA o curve IPSOGRAFICA.

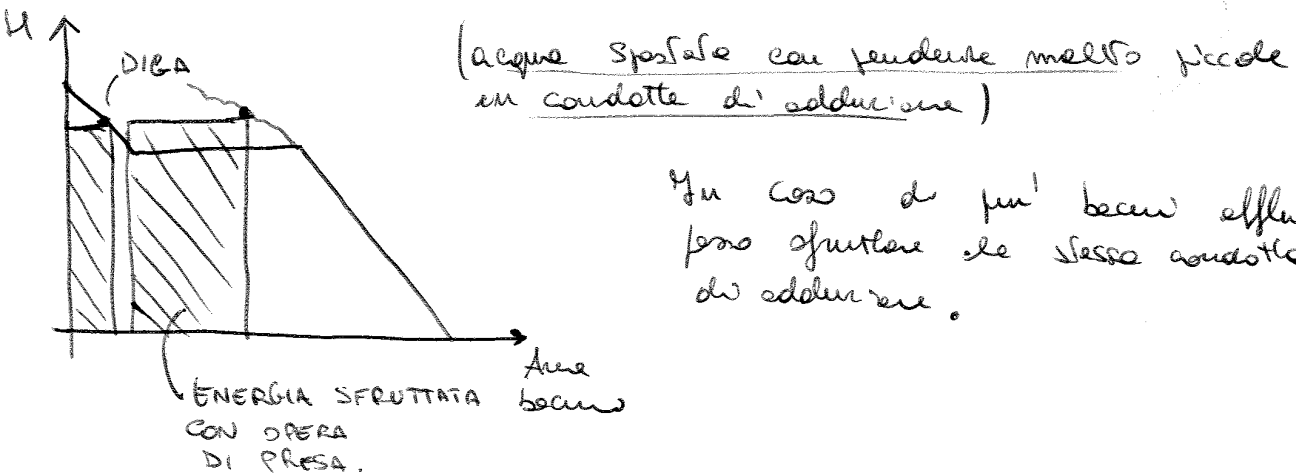
Il problema di ~~risolvere~~ ~~risolvere~~ ~~risolvere~~ per decidere le quote dello sbarramento è Ai'Hi.

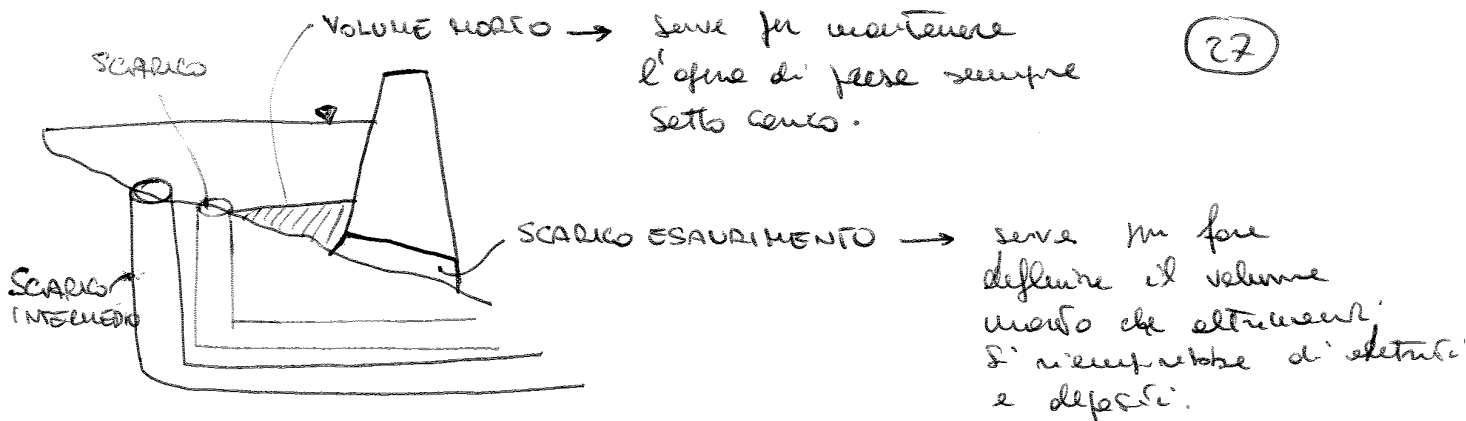
Se in regioni diverse, lo sbarramento dovesse essere posto a monte della confluenza del corso principale e di un suo affluente, risulta utile prevedere un canale di derivazione di tale affluente verso il bacino in modo tale da non sprecare un grande volume di acqua di fiume e di aumentare l'energia prodotta (fare opere di presa => lo stesso giù)

Per un'operazione Ai'Hi poter mettere più dighe, producendo più energia ma subendo i costi di ~~realizzazione~~ progetto



Altrimenti si può un altro metodo per sfruttare il bacino affluenti 'secondari': fare opere di presa e portare acqua alla diga.

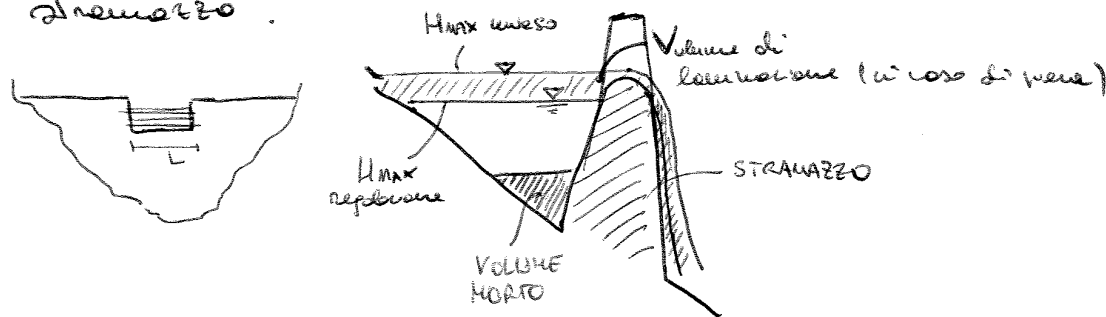




(27)

Per di più utilizziamo gli sfioratori superficiali di suo organi di scuma e scuma per fissare le pietre che devono essere previste nelle fosse di progettazione.

l'esempio più diffuso di tali organi di scuma è lo sfioratore a stramazzo.



questo tipo di soluzione permette alle acque fluide di non vedere le rocce (di cui non c'è con le parti delle montagne) e di staccarsi dal pavimento a valle della diga.

Nel funzionamento ordinario della diga gli sfioratori non sono attivi.

$$\frac{dV}{dt} = Q_i - Q_u \Rightarrow \text{quando divide lo sfioramento quello che esce è più piccolo di quello che entra}$$

⇒ Se la diga è ben progettata, sempre lo più riducendo l'effetto delle frange a valle.

gli sfioratori devono essere progettati per far defluire una portata di piena che può verificarsi ogni mille anni (ricerca di detestazioni)

Il volume di regolazione è legato all'altitudine H delle dighe dell'altitudine e della valle.

- NOTA :
- dighe epure \rightarrow base Q me elD H
 - dighe americane / americane \rightarrow alte Q me $homi$ H .

Vel primo caso utilizzazione turbine PELTON (ad azione) che sfruttano l'energia cinetica, nel secondo caso ~~caso~~ utilizzazione turbine FRANCIS o KEPLAN (sfruttano l'energia di pressione o "basse velocità").

OPERE DI PRESA

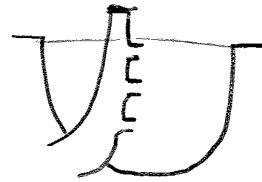
PILETTE REGOLABILI

- Alle Spagnole: ho un unica presa nella diga di parte acqua e valle



Problema: arco elevato sulle pile

- alle francesi: uso una Torre di presa



Sautage:

- sono opere meno costose sul prelievo (ma il costo totale è sempre lo stesso e dipende dal serbatoio)
- ~~queste~~ permettono captare l'acqua del livello più alto possibile, questa acqua è più pulita e più calda di quella più profonda.

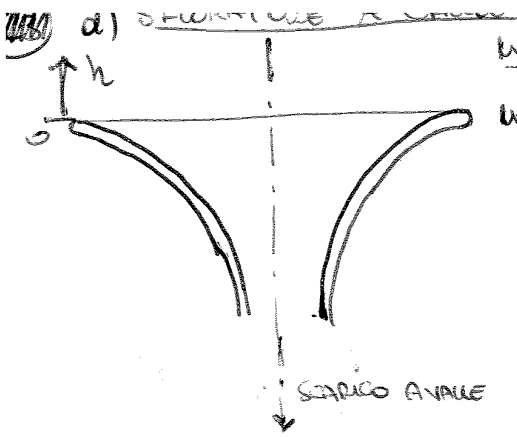
NOTA: Anche se ho un'opera di parte alle Spagnole, la presa non mette sul fondo per evitare di turbare i sedimenti.

TIPOLOGIE DI SFIORATORI

Lo sfioratore è sifonizzato può anche essere regolabile e messo a valle come nella seguente figura:



le quote di massimo invaso è quel livello al quale libero che non da 10 anni non cambia.



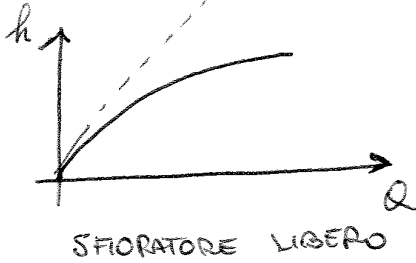
Si presentano sostanzialmente (3) come degli "inerti". Sono soggetti a frangimento solo in funzione ma hanno lo sfioratore di essere balneare ottimali,

$$Q = c \pi R^2 h^{3/2} \Rightarrow \text{SFORATORE A GALLE}$$

h: raggio dello sfioratore
h: carico sullo sfioratore

detriti, trasporsi solidi etc. possono ostruire il canale di scolo e valle o lo sfioratore stesso.

Lo sfioratore può funzionare sia come sfioratore libero, sia come sfioratore sotto battente. La differenza tra questi due casi è mostrata nei grafici seguenti e risiede principalmente nella relazione tra Q e h:



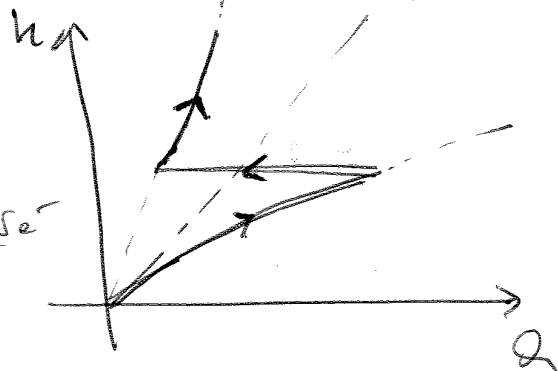
SFORATORE SOTTO BATTENTE
 $Q = CA \cdot \sqrt{2gh} \cdot (2xH^{1/2})$

↳ formula di un efflusso sotto battente.

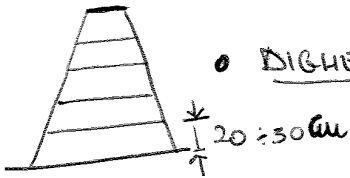
La crescita più de linearemente al crescere di h.

Il funzionamento più colossale, però risulta sferzante per la struttura, è il seguente: lo sfioratore viene a funzionare a valle e lavorare come sfioratore libero; successivamente si tappa, cioè "butta fuori" tutta l'acqua, e si perde a lavorare come sfioratore sotto battente.

Si nota come sotto battente la portata defluente sia minore che nel caso di sfioratore libero, e parte di carico h sullo sfioratore..

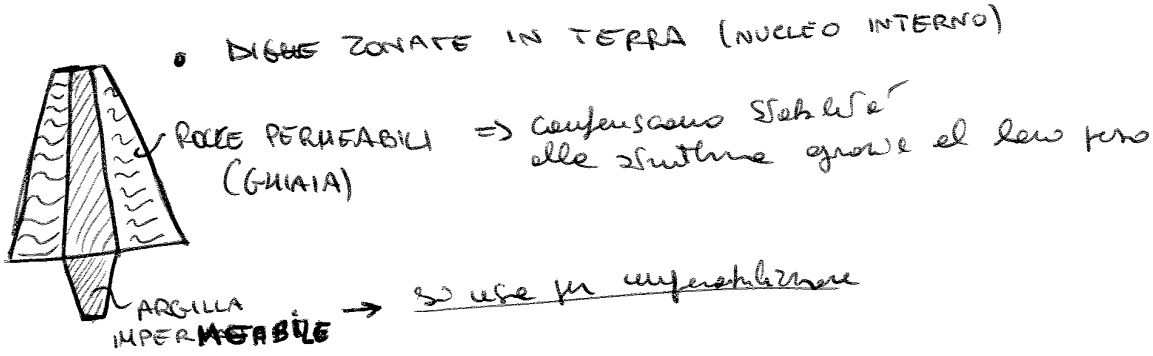


DIGHE A MATERIALI SCOLTI:

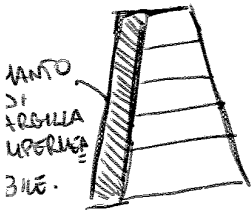


• DIGHE OMOGENEE IN TERRA:

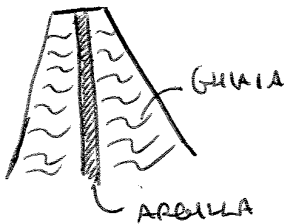
faccino snelli e compatto (elimino i vuoti), per renderlo più pesante e più impermeabile (sego principale)



• DIGHE OMOGENEE CON NANTO

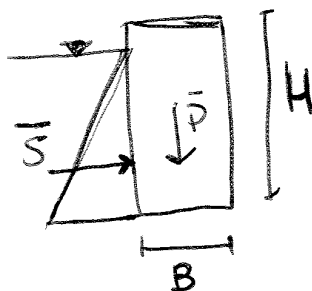


• DIGHE ZONATE IN TERRA (DIAFRAMMA)



• DIGHE IN CALCESTRUZZO:

Le forme dighe riprendono le forme di muri con terra; forme molto semplici:



DIGA PIENA:



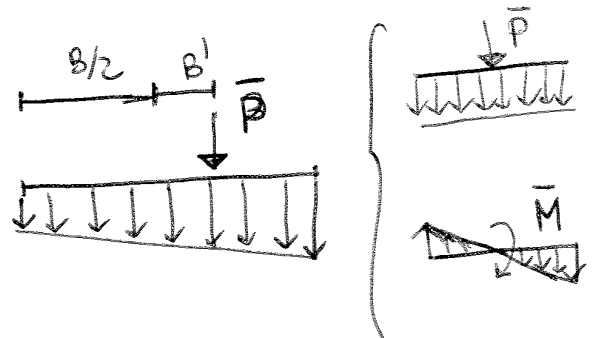
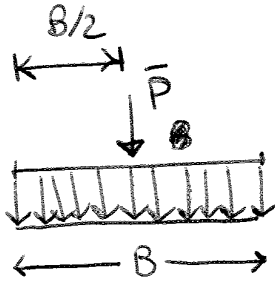
In questo ^{caso} dobbiamo comporre P e S (spinta idrostatica) e trovare la risultante.

(35)

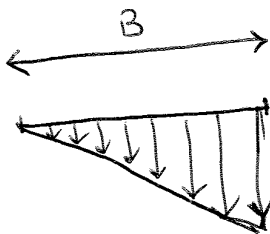
Come conseguenza di S , la forza peso P non è più applicata al centro della base ma è spostata.

Nel caso di diga vuota cioè:

Nel caso di diga piena



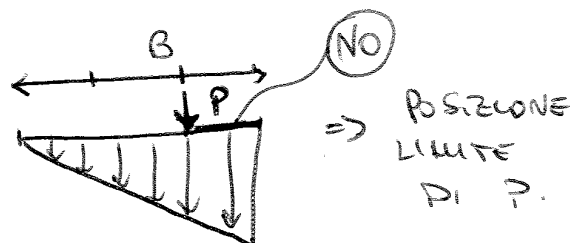
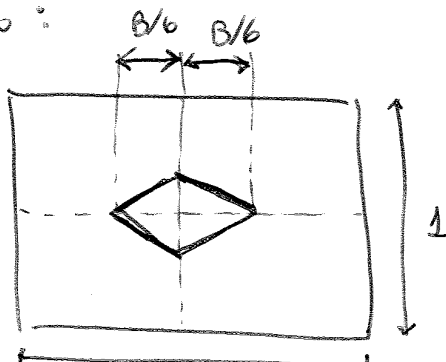
=> più un'acqua verso valle con il pt. di applicazione di P , più il momento cresce, ad un certo punto origo ad una risultante triangolare:



=> questa è la distribuzione limite che si può avere senza che nascano sfere di posizione

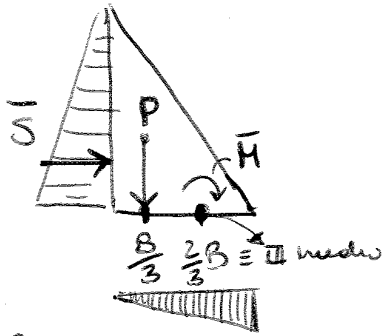
L'area del grafico è sempre \bar{P} , cambia solo la forma delle distribuzioni

Affianché la base sia sottile e solo compressione, il punto di applicazione della forza peso P deve cadere entro il terzo medio:



CASO DI DIGA CARICA:

(31)



Andiamo a valutare il momento intorno al terzo medio:

$$\sum M_{\text{medesimo}} = 0$$

$$-P \cdot \frac{B}{3} + S \cdot \frac{H}{3} = 0$$

$$P \cdot B = SH$$

$$\gamma_c \cdot B \cdot B \cdot H = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \cdot H$$

$$\boxed{\frac{B}{H} = \sqrt{\frac{\gamma_w}{\gamma_c}}}$$

⇒ Stesse relazioni del caso precedente ma in questo caso abbiamo un volume MINORE DI CALCESTRUZZO

$$\begin{cases} S = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \cdot 1 \\ P = \gamma_c \cdot \frac{B \cdot H}{2} \cdot 1 \end{cases}$$

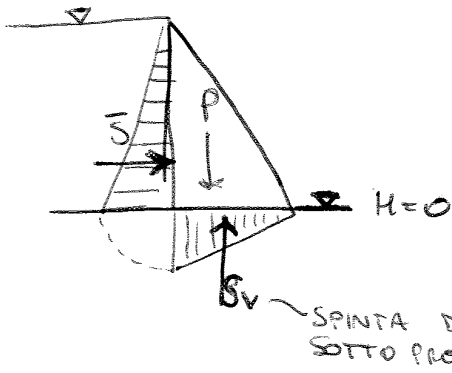
Inizialmente andò bene anche se a vertice che:

$$\frac{B}{H} \geq \sqrt{\frac{\gamma_w}{\gamma_c}}$$

VOLUME MINORE DI CALCESTRUZZO

- costo minore (metri del metro le)
- meno spinte sul terreno (metri di piana) ↓
- meno usura materiale meno fregato (costo minore)

Abbiamo poi ancora da dimostrare che soddisfatto il secondo criterio di dimensionamento (NO TRAZIONE), devo ancora soddisfare il 1° criterio.



la diga vede una spinta verticale che tende a sollevarla

La spinta di sottopressione sono generate dall'acqua di ri infiltrazione nel terreno ed di sotto delle dighe e nello stesso corpo diga (in quanto il calcestruzzo è poroso)

La sottospinta rende le dighe più leggere, meno attive e e' più usata di traslazione.

Vediamo le verifiche allo scivolamento (traslazione):

$$\frac{\sum F_o}{\sum F_v} \leq \frac{3}{4} \Rightarrow \frac{\bar{S}}{P - \bar{S}_v} \leq \frac{3}{4}$$

$$\frac{\frac{1}{2} \gamma_w H^2}{\frac{1}{2} \gamma_c \cdot B \cdot H - \frac{1}{2} \gamma_w B H} \leq \frac{3}{4} \Rightarrow \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_c - \gamma_w} \right) \frac{H}{B} \leq \frac{3}{4}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{B}{H} \geq \frac{4}{3} \frac{\gamma_w}{\gamma_c - \gamma_w}} \Rightarrow \boxed{\frac{B}{H} \geq \frac{4}{3}}$$

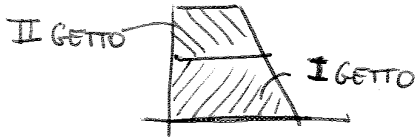
≈ 1

• Vediamo, invece, le verifiche delle resistenza statiche:

$$\sum M_{III_{medio}} = 0$$

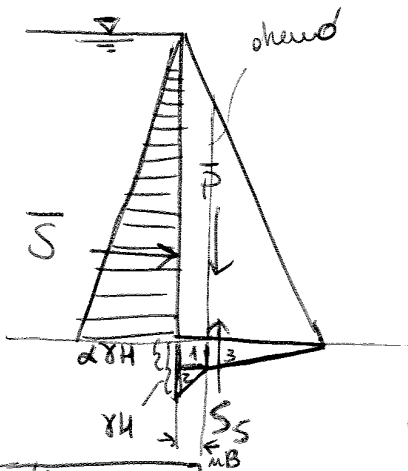
$$- P \cdot \frac{B}{3} + S \cdot \frac{H}{3} + S_v \cdot \frac{B}{3} = 0$$

NOTA: la costruzione delle dighe viene fatta a riprese di getto (41)



Nel gambetto ^{pieno} avere dell'acqua

de norme => le distanze al tra 2 dam deve essere $\leq 2,5m$.



Se effettivo il dissesto dell'acqua al termina di pressione è adatto più non c'è termina curvato.

$$S_s = S_{s,1} + S_{s,2} + S_{s,3}$$

$$M = 0,03 \div 0,01$$

$$\alpha \geq 0,35$$

$$S_{s,1} = \alpha \gamma_w H \cdot \mu B$$

$$S_{s,2} = \frac{1}{2} \mu B (\gamma_w H - \alpha \gamma_w H)$$

$$S_{s,3} = \frac{1}{2} \alpha \gamma_w H (B - \mu B)$$

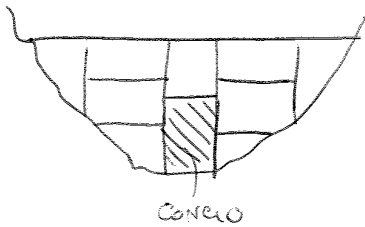
$$\Rightarrow S = S_{s,1} + S_{s,2} + S_{s,3} = \frac{1}{2} \gamma_w B H (\alpha + \mu)$$

Caso degenere $\alpha = 1$; $\mu = 0 \Rightarrow$ è il caso senza chiuso

nelle verifiche allo scombinato:

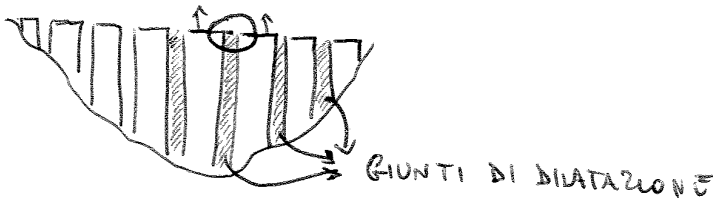
$$\frac{\sum F_o}{\sum F_v} \leq \frac{3}{4} \Rightarrow \frac{\frac{1}{2} \gamma_w H^2}{\frac{1}{2} \gamma_w B H - \frac{1}{2} \gamma_w B H (\alpha + \mu)} \leq \frac{3}{4}$$

$$\Rightarrow \left| \frac{B}{H} \geq \frac{4}{3} \frac{\gamma_w}{\gamma_r - \gamma_w (\alpha + \mu)} \right|$$

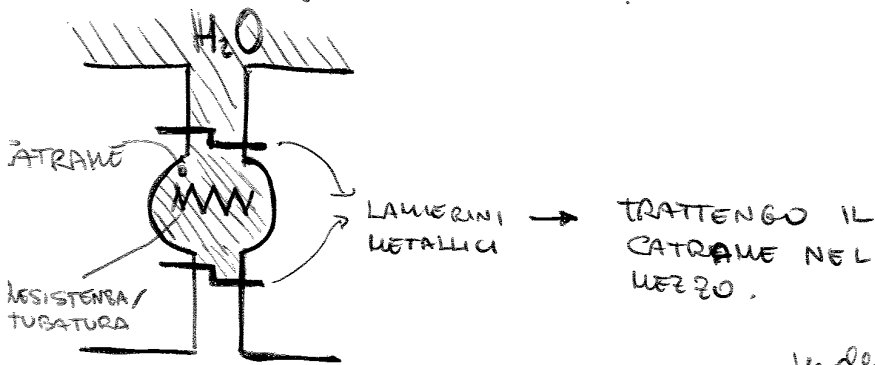


alle fine ho tutti i concetti di formazione
le dighe.

In fase di esercizio la diga deve poter essere libera di espandersi
a cause di sbalzi termici.
=> Risolto con i giunti di dilatazione;
-> nei giunti non deve penetrare acqua;



Vediamo un giunto dell'elco:

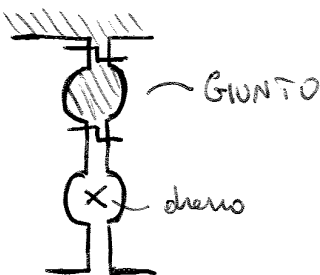


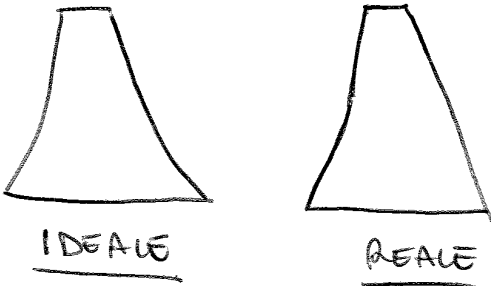
Indendo elociale

Problema -> caterame potrebbe solidificare e quindi deve
tenerlo caldo:

- serpentina con acqua calda
- resistenza (serpentina mossa da corrente elettrica)

Ci sono più che giunti, ma solitamente dietro i
giunti mette o dietro.





FORZE AGENTI SU DI UNA DIGA

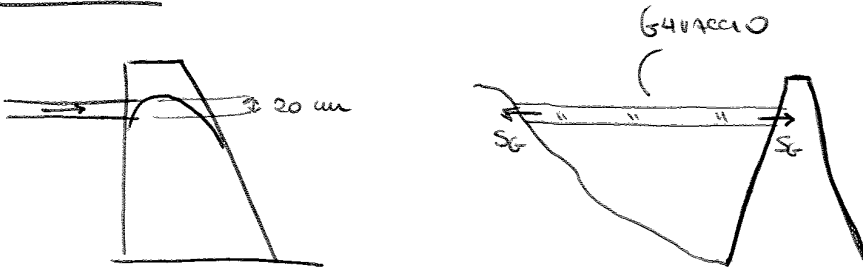
Una diga è sottoposta all'azione delle seguenti forze:

- Peso del corpo diga;
- Spinte dell'acqua;
- Sottospinte di pressione;

Abbiamo tenere conto anche delle:

- Spinte addizionali dovute al ghiaccio formato sul pelo libero dell'acqua (da considerare solamente se lo spessore del ghiaccio è di almeno 20 cm)
- forze addizionali dovute ai sismi.

GHIACCIO

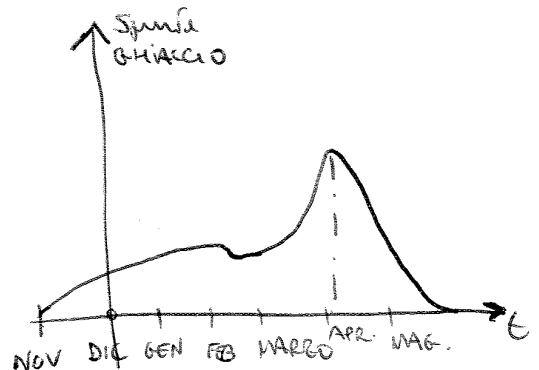


alle nostre latitudini la spinta del ghiaccio è poco importante

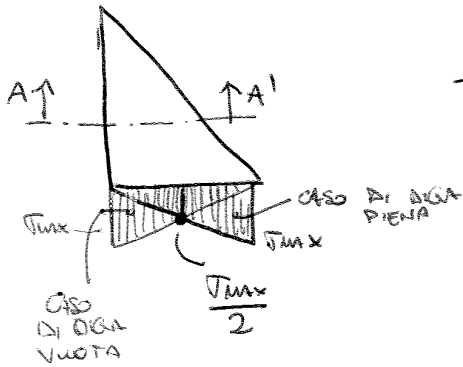
A marzo il ghiaccio si spezza e si scioglie, l'acqua entra nelle creche (neve) e si ricongela allungandosi di più (spinta maggior)



Le spinte del ghiaccio e al braccio molto elevate.



FORNA DIGA



→ in mezzo ~~colcestro~~ il colcestro non
 labra e pero T_{max}
 → colcestro specato

Le dighe massive che abbiamo analizzato fanno risultare come dimensionate
 per il colcestro si deve verificare $T_{max} \leq T_{amm}$.

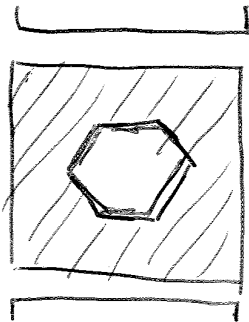
Ando potrebbe essere le soluzioni al nostro problema?

Potremmo utilizzare un materiale meno performante, con T_{amm}
 minore, oppure ~~più~~ diminuire del materiale dove le compressioni
 sono minori. Questo è il ragionamento che sta alla base delle
 dighe alleggerite.

DIGHE ALLEGGERITE

Facciamo una cava' buca:

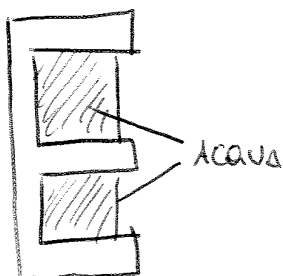
Sez. AA'



diminuisco l'area per cui ed un certo
 carico il T risulta più grande.

Un utilizzo colcestro meno performante nel caso centrale
 ande' non può fare cava' con vuoto.

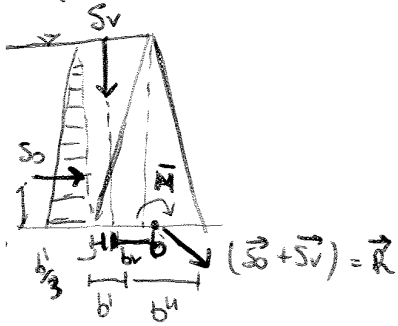
Le dighe alleggerite per sicurezza e' un semplice muro sostenuto
 le due centrali, pari d'acqua:



dove deve verificarsi la legge di $\frac{\sum F_h}{\sum F_v} \leq \frac{3}{4}$,

ma se il peso $P \approx 0 \Rightarrow$ le dighe risale
 sotto l'azione delle spinte, quindi non
 va bene.

inflex del 2° ordine :



Le risultante deve cadere al centro della diga.

b_v : braccio delle forze S_v rispetto al punto O :

$$\Rightarrow \sum M_{(O)} = 0 \quad b_v = \frac{b' + b''}{2} - \frac{b'}{3}$$

$$S_0 \cdot \frac{H}{3} = S_v \cdot b_v$$

$$\frac{1}{2} \gamma_w H^2 \cdot \frac{H}{3} = \frac{1}{2} \gamma_w B' H \cdot b_v$$

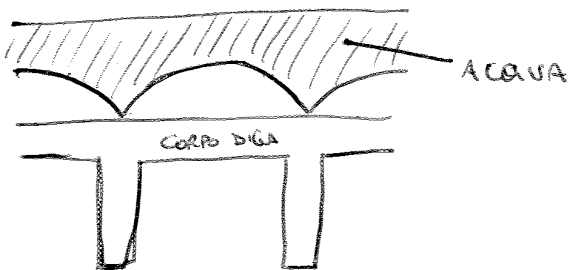
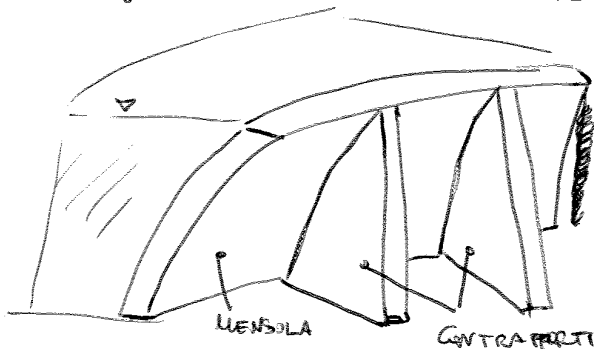
$$\cancel{\frac{1}{2}} \cancel{\gamma_w} H^2 \cdot \frac{H}{3} = \cancel{\frac{1}{2}} \cancel{\gamma_w} H \cdot b' \cdot \left(\frac{b' + b''}{2} - \frac{b'}{3} \right)$$

$$\frac{H^2}{3b'} = \frac{b' + b''}{2} - \frac{b'}{3} \quad \rightarrow \quad \left(\frac{H^2}{3b'} - \frac{b'}{6} \right) \cdot 2 = b''$$

dall'equilibrio dei momenti ricaviamo b'' .

Le dighe a mensola e fessate sono robuste ai maltrattamenti.

Adatte per resistere meglio alle spinte dell'acqua, si chiamano le dighe di una struttura "a botte".



per la costruzione delle dighe a mensola uso il cemento armato nelle mensole,

VANTAGGI DIGHE A MENSOLA: in quanto

- sottospinte assistenti (che ho l'area di base)
- non devo spianare per trovare eventuali problemi. (base "appesante")

~~Nota~~ In queste dighe a sezione decisa, deve soddisfare le condizioni di stabilità e di resistenza comprese delle murature.

Nelle dighe a spina non si considerano le sottospine né si assume che l'acqua che eventualmente si insinua il di sotto delle fondazioni, verrebbe drenata attraverso i numerosi vani vuoti delle dighe e dunque non sarebbe a grado di erigere una spinta ~~abbassa~~ sulla base d'alcolatura degli spina.

Per il dimensionamento e le verifiche delle dighe si rappresenta le strutture rilevando un parallelepipedo base e di colossura di volume equivalente

Definiamo:

$$\text{Area spina} = S \cdot B$$

Alle strutture sono applicate le seguenti sollecitazioni:

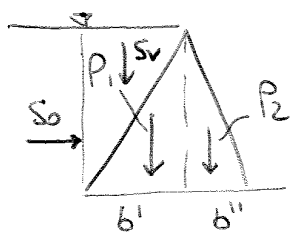
$$S_0 = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 L$$

$$S_v = \frac{1}{2} \gamma_w H b' L$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \gamma_c H b'$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \gamma_c H b''$$

B = lung. dell'intero spina
L = lung. base o del piede



dal I caso:

$$\frac{\sum F_0}{\sum F_v} \leq \frac{3}{4} \Rightarrow \text{si determina } b'$$

dove $F_0 = S_0$

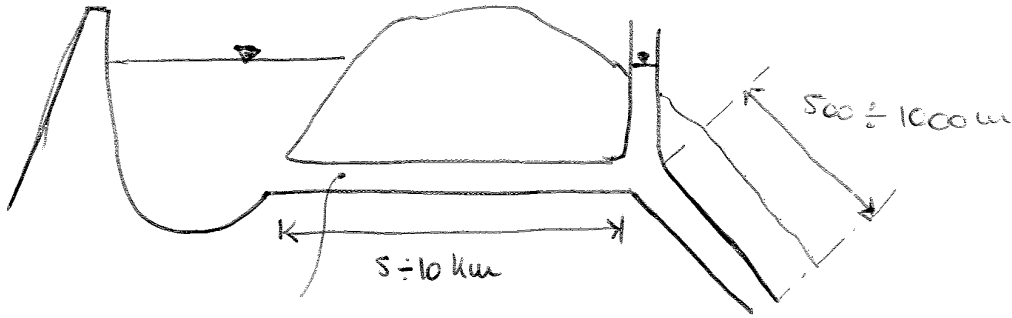
$$F_v = S_v + P_1 + P_2$$

dal II caso, si trova b'' .



(Le risultante delle forze deve cadere entro il III° terzo della base)

POZZO PIEZOMETRICO



CONDOTTA DI
ADDUZIONE

$$\Delta P = \rho \cdot \bar{u} \cdot e$$

Vediamo quali sono gli effetti di brusca di discesa \Rightarrow colpo d'arresto nel caso condotte di indeformabile (gallerie di addivano), e nel caso di condotte deformabile (gallerie condotte forate):

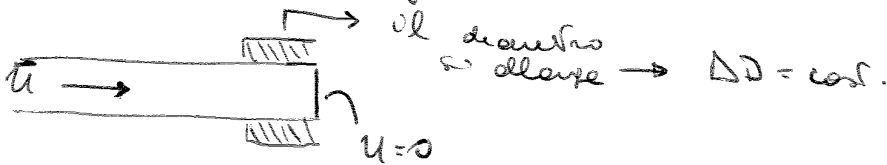
• se la condotta è indeformabile:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \approx 1400 \frac{m}{s}$$

(E \rightarrow comprimibile)

C: velocità di cui dice quanto velocemente il fenomeno d'arresto si propaga verso mente

• se la condotta è deformabile



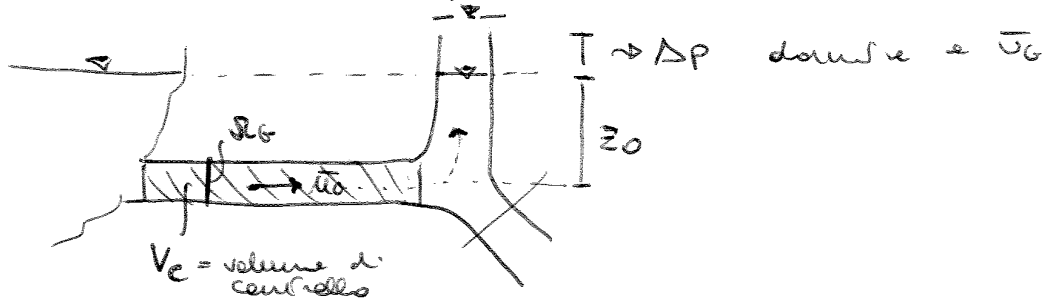
$$c = \sqrt{\frac{E/\rho}{1 + \frac{E}{E} \cdot \frac{D}{S}}} \approx 1000 \frac{m}{s}$$

~~Il nel modello ho defluire una la defluire non può solo nel collassamento (indeformabile).~~

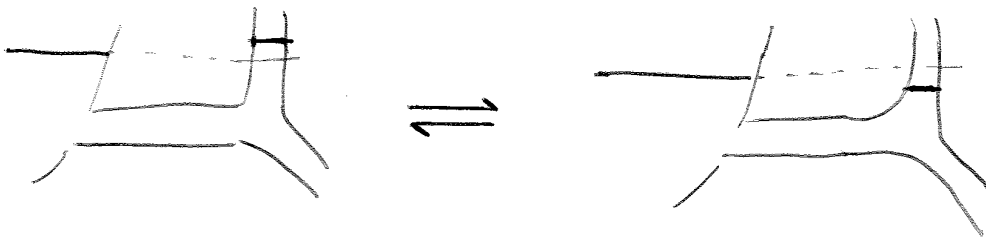
Le gallerie di addivano vere tipicamente scavate nella roccia delle montagne e successivamente vere investite di colossamento stesso per ridurre le perdite di carico, se scivolano molto elevate se ~~le pareti~~ le pareti della gallerie sono lesionate di rocce nude, ~~il punto~~ il punto le scivole scivole elevatissime.

(57)

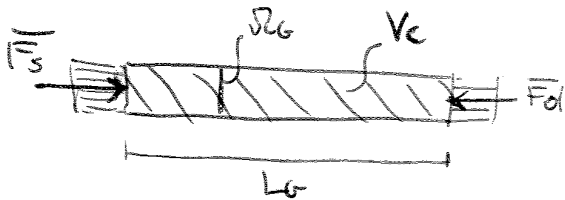
Non appena muoviamo le condotte, l'acqua che non può scendere nelle condotte, entra nel pozzo, innalzandone il livello di un termine pari all'energia cinetica dell'acqua. Nel pozzo perimetrico ha luogo un'oscillazione di marea, attorno alla posizione di equilibrio che è il livello di acqua nell'invaso.



FENOMENO OSCILLATORIO



Facciamo l'equilibrio delle forze su questo V_c supponendo



Hp: andamento costante delle pressioni nelle tubature

$$\begin{cases} F_{sx} = \rho g z_0 \cdot \Omega_G \\ F_{dx} = \rho g (z_0 + z) \cdot \Omega_G \end{cases}$$

-> le due forze F_{sx} e F_{dx} sono generalmente diverse, per avere equilibrio si genera una forza d'inerzia F_{in}

$$F_{in} = \underbrace{\Omega_G \cdot L_G}_{V_c} \cdot \rho \cdot \frac{d\bar{u}}{dt}$$

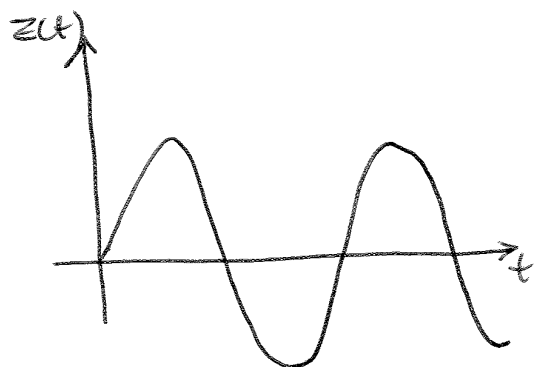
$$F_{sx} - F_{dx} - F_{in} = 0 \Rightarrow \rho g z_0 \Omega_G - \rho g (z_0 + z) \Omega_G - \Omega_G L_G \rho \frac{d\bar{u}}{dt} = 0$$

Le Ω_p non deve essere troppo piccola perché devo poter esprimere il forzò (per evitare che qui posso risolvere la cosa)

$$\Delta R_p \approx 600 - 800 \text{ mm}^2$$

Le soluzioni ^{generale} dell'equazione:

$$z + T^2 \frac{d^2 z}{dt^2} = 0$$



e le seguenti:

$$z(t) = A \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) + B \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right); \text{ determiniamo } A \text{ e } B$$

• per $t=0 \Rightarrow \boxed{z(0) = 0}$ (cond. iniziale)

$$z(0) = B = 0 \Rightarrow \boxed{B = 0}$$

$$\hookrightarrow z(t) = A \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

$$A = \Delta z_{\max} \left(\begin{array}{l} \text{massima oscillazione} \\ \hookrightarrow \text{differenza } z_{\max} \text{ e } z_{\min} \end{array} \right)$$

• per $t=0 \Rightarrow \boxed{\dot{z} = \dot{z}_0}$

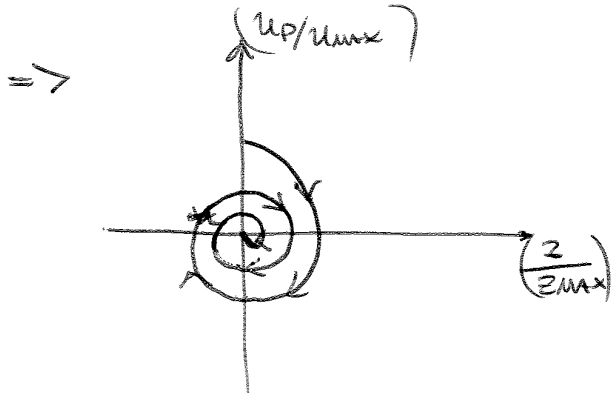
$$\frac{dz}{dt} = A \cdot \frac{2\pi}{T} \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

$$\dot{z}_0 = \Omega_p \left. \frac{dz}{dt} \right|_{t=0} = \Omega_p \cdot A \cdot \frac{2\pi}{T} \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \Big|_{t=0} \Rightarrow$$

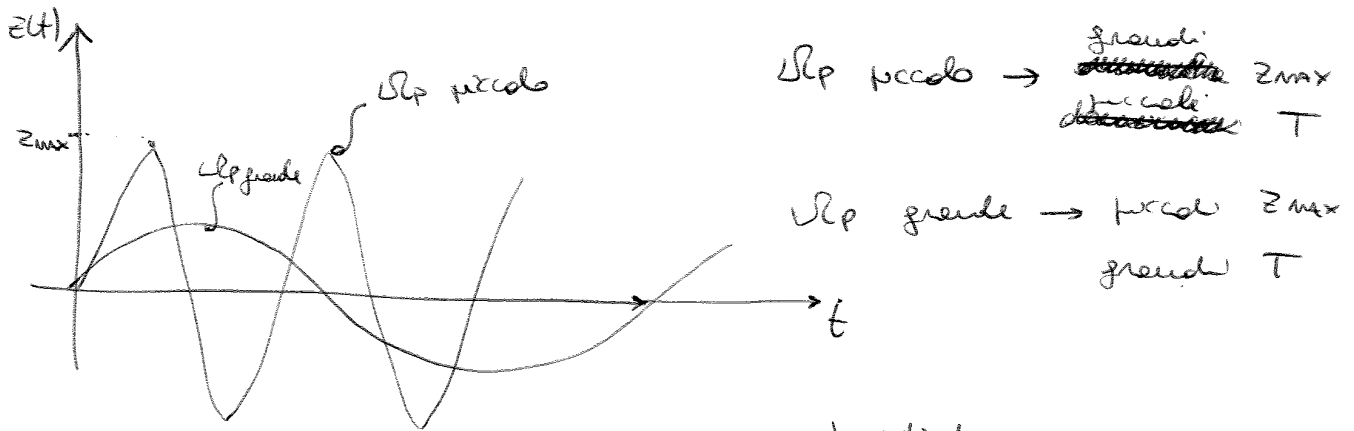
$$\Rightarrow \dot{z}_0 = \Omega_p \cdot A \cdot \frac{2\pi}{T} \Rightarrow$$

$$\boxed{A = \frac{\dot{z}_0}{\Omega_p} \cdot \frac{T}{2\pi}}$$

Nella realtà ho dissipazione di energia



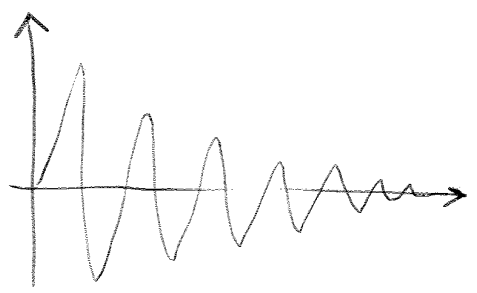
Dato la pendenza di addezione, come faccio a determinare il pezzo perimetrico?



v_p piccolo \rightarrow ~~piccolo~~ ^{grande} z_{max}
~~piccolo~~ ^{piccolo} T

v_p grande \rightarrow piccolo z_{max}
 grande T

più de z_{max} più elevata mi uteromano ^{più de} oscillazioni brevi.
 => dissipare velocemente



più dissipazione velocemente più e regime.

Come fare farlo?

- DISS. PER PERDITE DISTRIBUITE \rightarrow NON UTILE, ANTIECONOMICO!

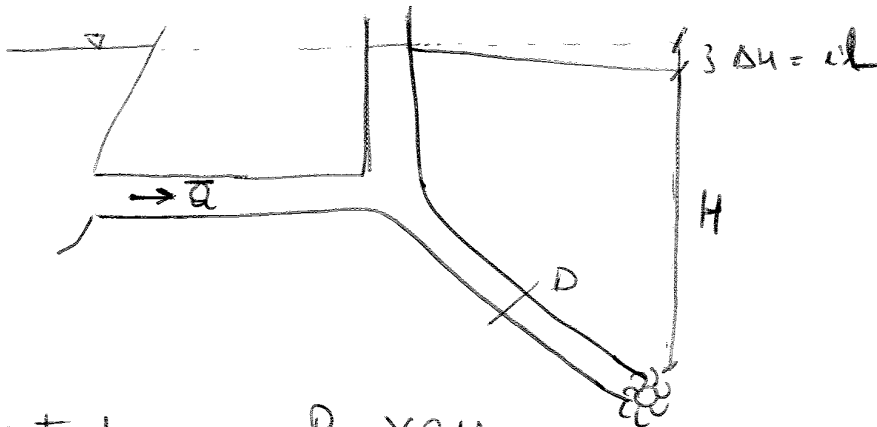
$i = \beta \frac{Q^2}{D^5} \Rightarrow$ ho sempre delle perdite, non conviene!

- \hookrightarrow non liscio le pendenze

DIMENSIONAMENTO CONDOTTA FORATA

(61)

Ip: condotte a diametro costante



In turbine $\rightarrow P = \gamma \bar{Q} H$

Per ~~massima~~ sfruttare tutta \$H\$ dovremmo avere un tubo con perdita nulla $\Rightarrow \Delta H = il = \frac{\beta \bar{Q}^2}{D^5} \cdot L \rightarrow 0$ cio significa $D \rightarrow \infty$

$$E_{max} = \int_0^{T(anno)} P(t) dt = \int_0^{T(anno)} \gamma \bar{Q} H dt = \gamma \bar{Q} H T(anno)$$

$$R_{max} = c_e \cdot E_{max} = c_e \gamma \bar{Q} H T(anno)$$

\$h\$: costo

\$c_e\$ = costo energia [€/MWh]

$$R_{reale} = c_e \cdot E_{reale} = c_e (\gamma \bar{Q}) (H - \Delta H) \cdot T$$

$$R_{reale} = R_{max} - \Delta R = c_e \gamma \bar{Q} H T - c_e \gamma \bar{Q} \Delta H T = c_e \gamma \bar{Q} H \cdot T +$$

$$- c_e \gamma \bar{Q} \cdot \frac{\beta \bar{Q}^2}{D^5} \cdot L \cdot T$$

indichiamo con \$C_I\$ = costo dell'investimento, e abbiamo a ricercare l'andamento di \$\Delta R\$ (costo di manutenzione produzione) e di \$C_I\$ in funzione di \$D\$:

$$V_{te} = f(D, \sigma) = \int_0^L \pi D \sigma ds$$

σ : spessore del tubo

D : diametro del tubo



Dalle formule di Marotta: $\sigma = \frac{P \cdot D/2}{\sigma_{amm}}$

$$P = P(s) = \gamma_w \cdot Y(s)$$

$$\left\{ \begin{aligned} C_D &= a_1 \cdot V_{te} = a_1 \int_0^L \pi D \sigma ds = a_1 \cdot \int_0^L \pi \cdot D \cdot \frac{P \cdot D}{2 \sigma_{amm}} ds \\ \sigma &= \frac{P D/2}{\sigma_{amm}} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} C_D &= a_1 \int_0^L \pi D \cdot \frac{P \cdot D}{2 \sigma_{amm}} ds = a_1 \int_0^L \frac{\pi D^2 \cdot \gamma_w Y(s)}{2 \sigma_{amm}} ds \Rightarrow \frac{C_D}{D} = a_2 \int_0^L D^2 Y(s) ds \\ P &= P(s) = \gamma_w Y(s) \end{aligned} \right.$$

Se σ_{amm} è costante anche del coeff. di ammortamento

$$C_{amm} \text{ pari a } \frac{1}{20} \Rightarrow C_D = C_{amm} \cdot a_2 \int_0^L D^2 Y(s) ds$$

(o ammortizzo i costi o attualizzo i ricavi al tempo 0)

Costo totale $C_{TOT} = \Delta R + C_I = a_3 \cdot \bar{Q}^3 \cdot \int_0^L \frac{1}{D^5} ds + C_{amm} \cdot a_2 \cdot D^2 \int_0^L Y(s) ds + C_0$

Se come sappiamo tra i tubi disponibili in commercio, gli diametri sono costanti, quindi avremo un $D = \text{cost.}$ e non

Quindi per il var. fatto di un $D = \text{cost.}$ avremo:

$$C_{TOT} = a_3 \cdot \bar{Q}^3 \cdot \int_0^L ds + C_{amm} \cdot a_2 \int_0^L D^2 Y(s) ds + C_0$$