



**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:

$\gamma$ : peso specifico  $H_2O$

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

$\Delta H$ : salto naturale disponibile

Perché costruiamo le dighe?

Superfici di osservazione sul fiume:

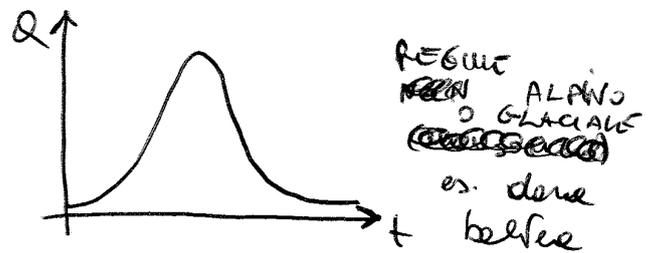
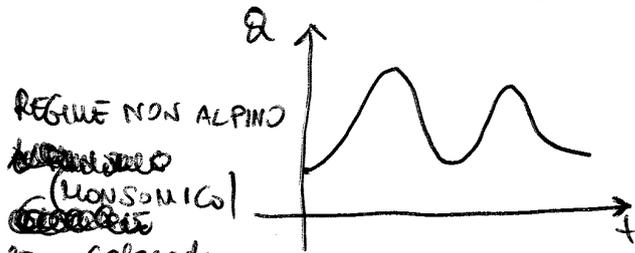
La rete presa d'acqua l'anno  $Q_f$  ha l'andamento mostrato nel grafico qui accanto. Una diga permette di accumulare l'acqua in eccesso (quando  $Q_f > Q_u$ ), in attesa di lavorare alle portate in cui  $Q_f < Q_u$ .

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 rete  $Q_f$  è conosciuta dal studio delle costituenti idrologiche del fiume stesso, cioè dal grafico di somme portate acque in un fiume in funzione del tempo. R

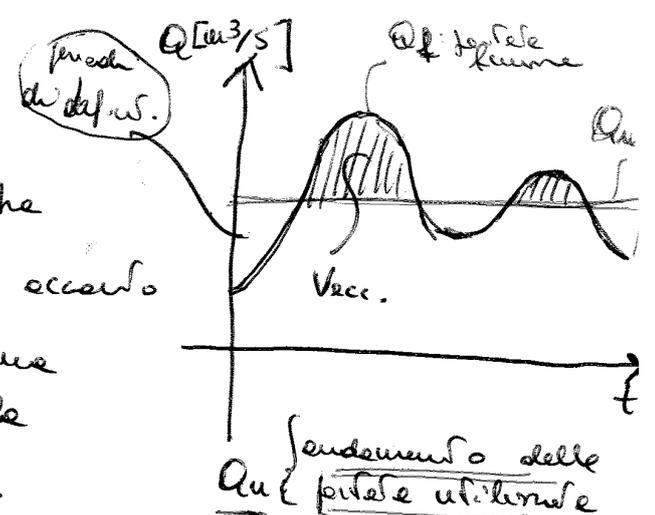
Esistono varie diversi regimi fluviali:



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

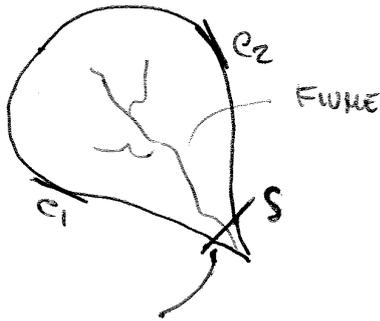
- Turbine Pelton: alto  $\Delta H$ , bassa  $Q$
- a Kaplan: alto  $Q$ ; basso  $\Delta H$

la corrente

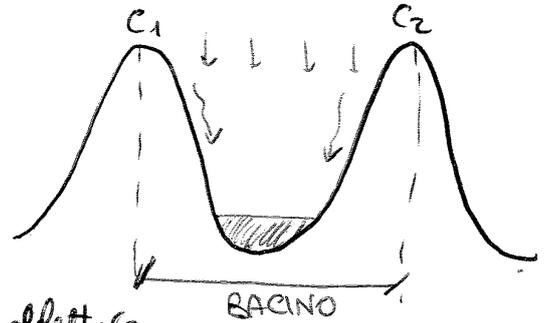


5

Per capire e determinare il ciclo orologio devo studiare il beam ideografico, da  $\bar{c}$  quelle porzioni di tempo che contribuisce alle porzioni del frame.



SEZIONE DI CHIUSURA → sezione dove si può costruire l'impulso scheletrico.



C: confini del beam.

Se sposto le sezioni di chiusura  $m'$  e velle sempre l'ora del beam. L'acqua che usano le sezioni di chiusura è quella compresa nel beam ideografico. Da dove arriva quest'acqua? L'acqua cade dal cielo.

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

L'acqua che rimane, scende sul terreno e diventa il fiume che alimenta le sezioni di chiusura.

La parte di acqua di chiusura in  $\frac{mm}{Nora}$ , il tempo che impiega dall'acqua portata al suolo fino le sezioni di chiusura 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 umido è il caso peggiore, è molto più probabile un terreno secco.

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

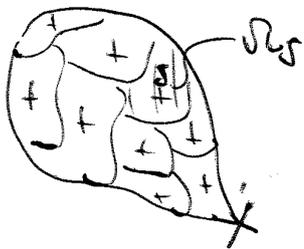
Per misurare le velocità <sup>o per processi</sup> a loro volta altri metodi: 7  
 metodo doppler.

Le curve di deflusso si ottengono annualmente in secondo A e h in una stessa sezione.

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

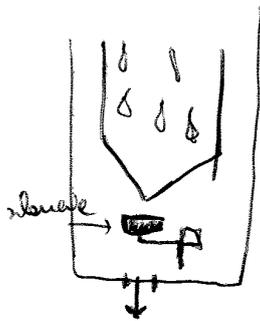
METODO INDIRETTO:

Con il secondo metodo si riferiscono alle piogge, misurando le portate da una misura delle piogge.



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

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



si misura il basante 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)

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

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

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

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);

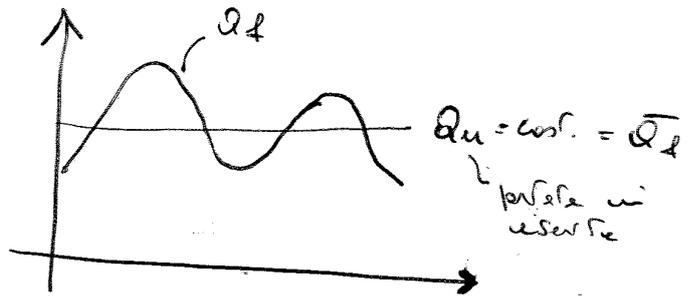
la differenza è nella funzione:

- DIGA: può negoziare le perdite;
- TRAVERSA: non regola nulla, <sup>serve in le</sup> produce <sup>di energia</sup> (con le perdite 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

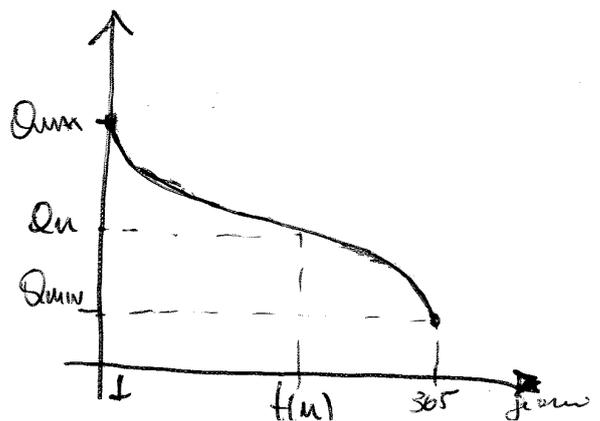
la diga con il suo sistema può continuare a mantenere le perdite costanti per 400 ore o più senza acqua.



→ 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 <sup>distribuzione</sup> funzione di probabilità e lo si normalizza su 365 gg.

Le curve di durata riportate in queste il numero dei giorni per cui la perdita è  $\geq$  a quella indicata; è una curva decrescente, in funzione dell'anno la curva può anche crescere. dipende dalla ~~modalità~~ ~~modalità~~.



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

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

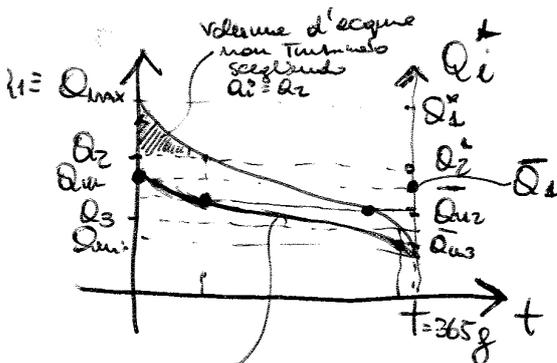
$Q_2$ : potenza massima turbinate

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

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

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

$\bar{Q}_{ur}$  = 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?

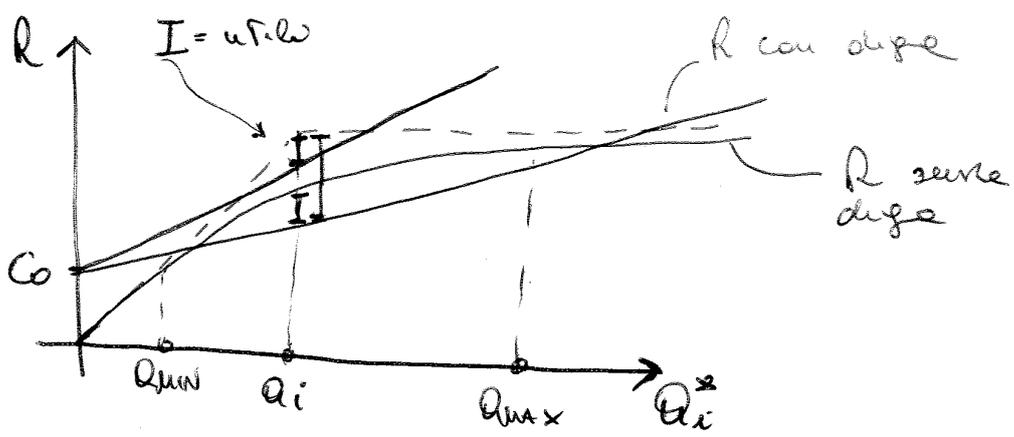
$$E_i = \int_0^T R(t) dt = \int_0^T H \gamma Q dt = H \gamma \int_0^T Q dt = H \gamma \bar{Q}_{ui} \cdot T$$

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

$\downarrow$  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 fanno);  
 Se le curve dei costi sono quelle blu area utile solo nel caso di un certo numero di dige.

La ipotesi ideale  $Q_i^*$  <sup>qui si fa riferimento nel grafico</sup> 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

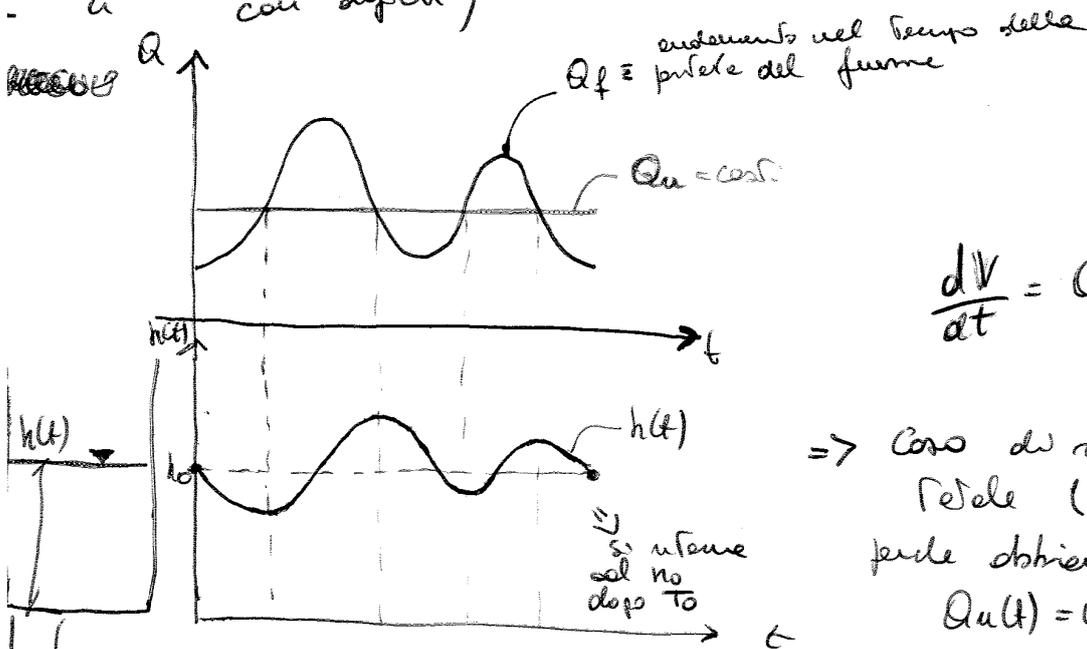
(15)

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  $n$  si fa 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 sfioro;
- " con deficit;



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

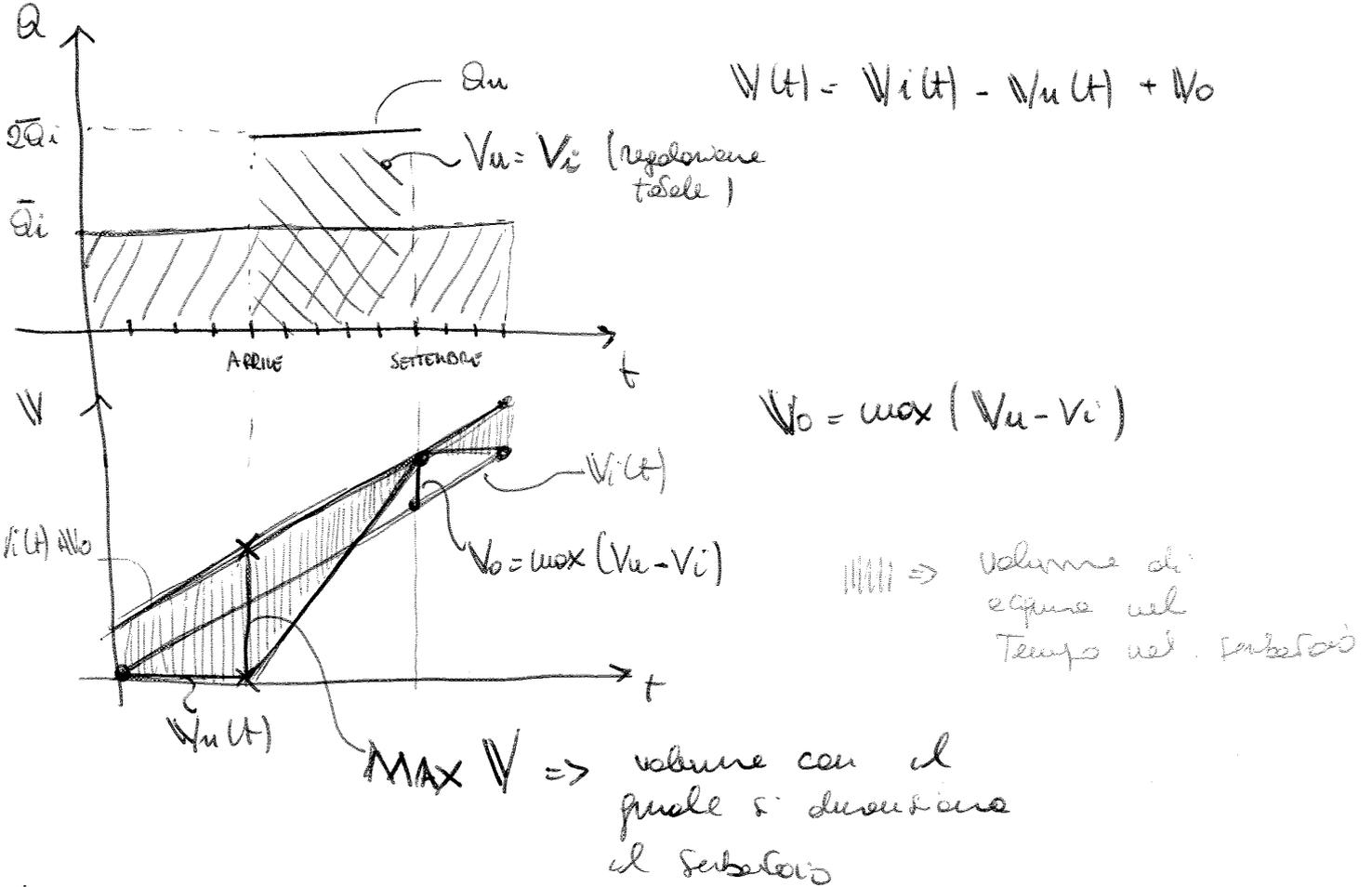
=> Caso di regolazione fessile (lo scolo senza perdite abbiamo imposto  $Q_u(t) = Q_u = \text{cost.}$ )

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

- possibile schematizzare la zona della diga

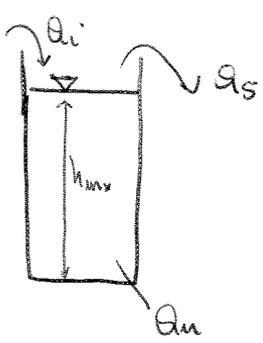
# REGOLAZIONE STAGIONALE

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



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 valle per salvaguardare l'ecosistema. La regolazione <sup>Totale</sup> è il meglio per ~~ci~~ ~~incari~~ una ~~non~~ ~~è~~ detto che lo si fa per gli ut-ili, allora senza altri ~~si~~ ~~non~~ ~~con~~ ~~dot~~ ~~to~~ ~~no~~.

dove c'è lo sfavo il serbatoio è pieno.



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

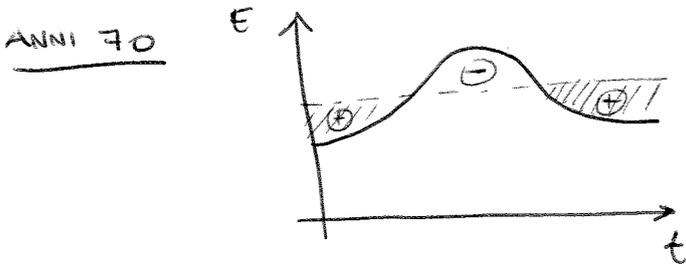
se  $Q_i = Q_u$  non ho più sfioramento cioè il serbatoio resta pieno.

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

Il grafico tracciato in precedenza è produttivo.

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

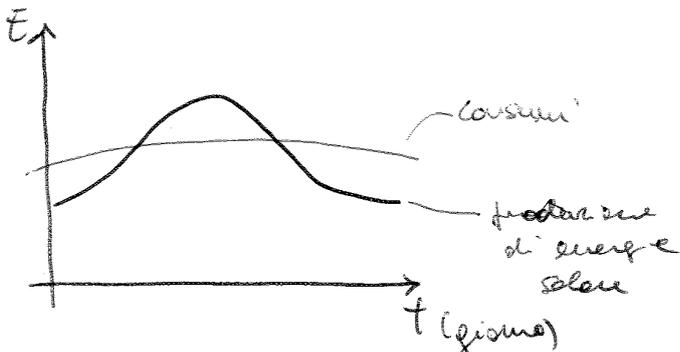
PIANTI IDROELETTRICI



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 <sup>abbiamo</sup> più il nucleare ma è causa del Sole abbiamo una situazione simile:



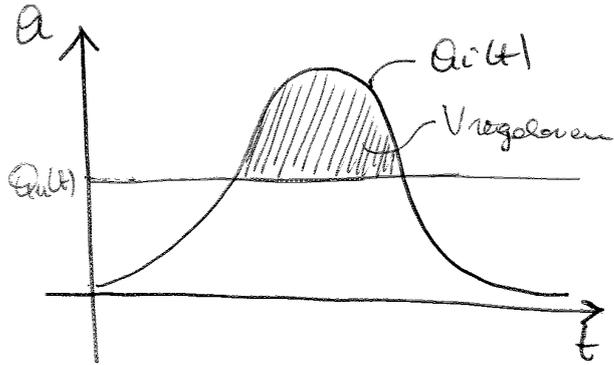
Quali sono le soluzioni?

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.

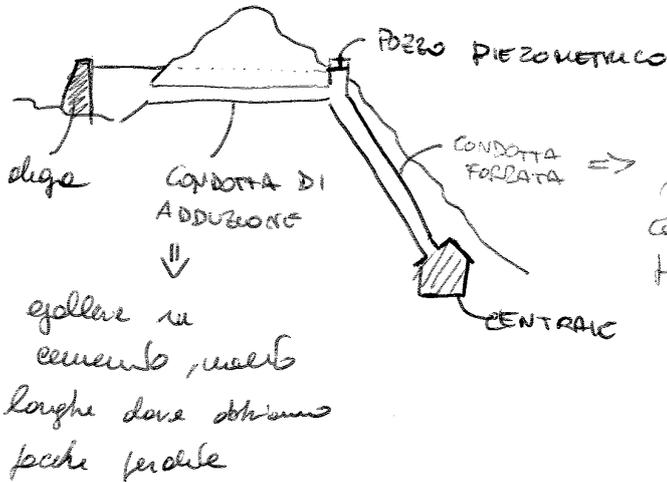
Per la costruzione di un impianto idroelettrico, è  
 necessario che l'impianto rientri in un piano organico  
 esteso a tutto il bacino o sottobacino da utilizzare. Lo  
 studio e la realizzazione del piano di utilizzazione di un  
 bacino idrografico avvolge problemi di varie nature  
 (tecniche, economiche, 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, individuare  
 eventualmente le località dove costruire stazioni secondarie  
 per la funzione di coprire i tronconi o settoriali. 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 spento  $V = A \cdot t \cdot p_{me.}$ , varecì trasferire alle turbine tutta l'energia.

vediamo qual'è problem' serpens:

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

⇒ Ecco lo schema di un bacino chiuso con dighe:



⇒ Turbine in metallo (conferma il colpo d'ariete), solo per pezzi di quelle di saldatura e abbiamo + perdite e few turbine metal upde

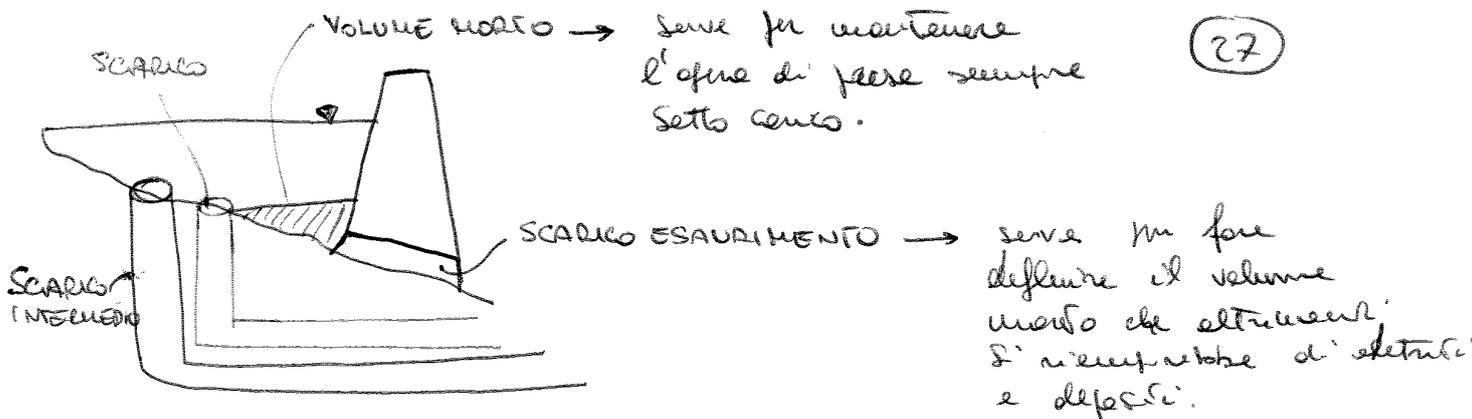


• l'acqua che cade nel bacino naturale delle dighe è tutta turbinate, ma in forte perdita energia:

⇒ 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 idrografico; fra questi vanno segnalate le carte IDRODINAMICA o carte IPSOGRAFICA.

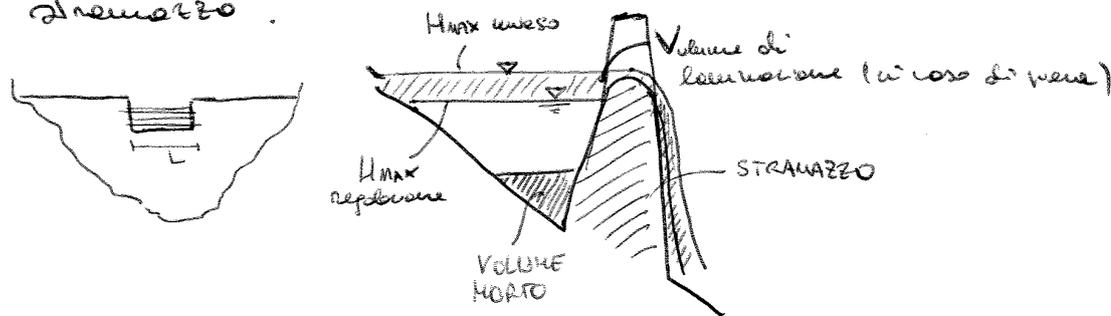




(27)

Un'altra utilizzazione più sofisticata superficiale di uno organo di scuma di scuma per fissare le piene 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 permettono alle vere fluita di non vedere le rocce (di cui non c'è con le parti delle montagne) di staccarsi dal pavimento a valle delle dighe.

Nel funzionamento ordinario delle dighe 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, rimane la piena riducendo l'effetto delle fessure 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

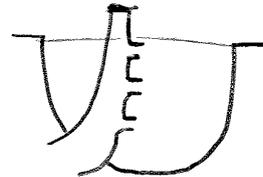
**PIUETTE REGOLABILI**

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



Problema: corso elevato sulle pareti

- alle francesi: uso una Torre di presa



Sautage :

- penso avere meno carico sui prefabbricati (ma il carico totale è sempre lo stesso e dipende dal serbatoio)
- ~~possibilità~~ possiamo captare l'acqua del livello più alto possibile, questa acqua è più pulita e più calda di quella più profonda.

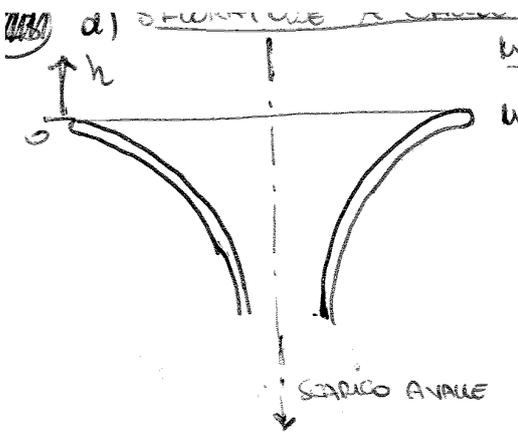
NOTA: Anche se ho un'opera di presa alle Spagnole, la presa non mette sul fondo per evitare di turbare i sedimenti.

TIPOLOGIE DI SFIORATORI

Lo sfioratore è smanozzato può anche essere regolabile a mezzo paravento come nella seguente figura:



le quote di massimo invaso è quel livello al quale libero che non da 100 anni non cambia.



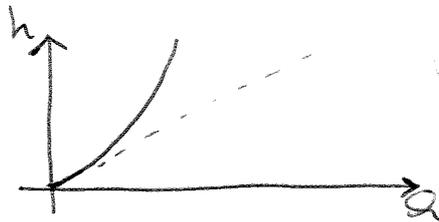
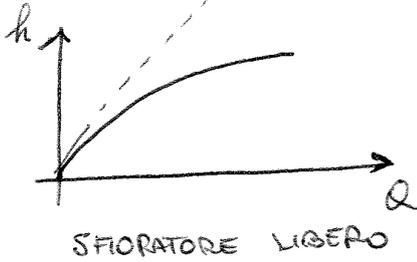
Si presentano sostanzialmente (3) come degli "inibiti". Sono soggetti a fenomeni solo in funzione ma hanno lo sfioratore di essere balneamente ottimali,

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

h: raggio dello sfioratore  
h: carico sullo sfioratore

deturbi, trasporto solidi etc. fenomeno osservato al 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:



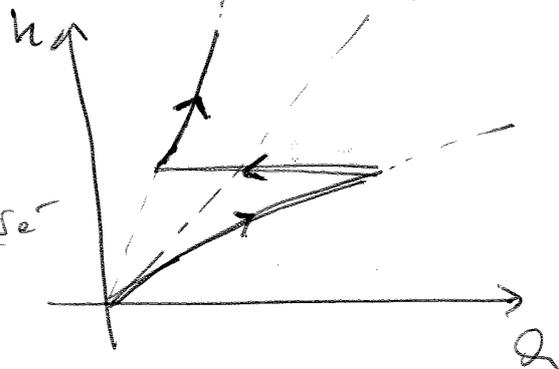
SFORATORE SOTTO BATTENTE  
 $Q = CA \cdot \sqrt{2gh} \cdot (2xH)^{1/2}$

↳ formula di un efflusso sotto battente.

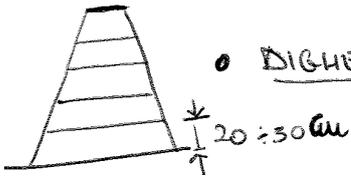
La crescita più debole di Q rispetto all'aumento di h.

Il funzionamento più colossale, però, risente strettamente sulla struttura, e il seguente: lo sfioratore anche in funzione 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 defluisce sia minore che nel caso di sfioratore libero, e parte di carico h sullo sfioratore.

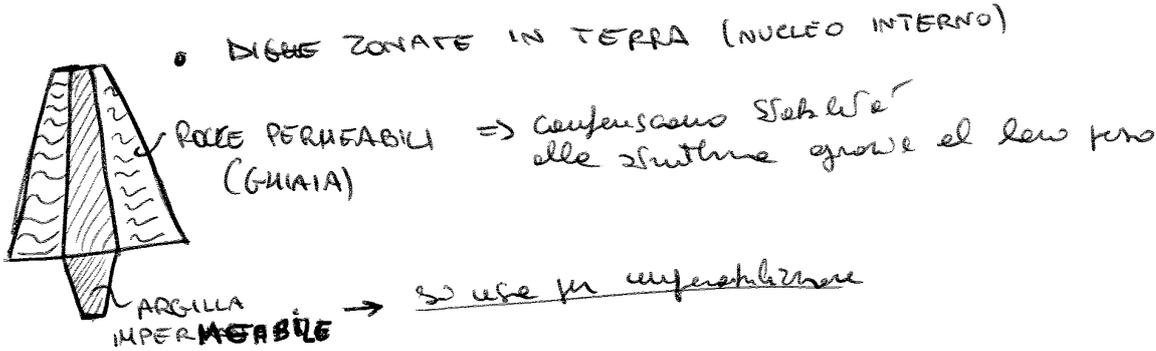


DIGHE A MATERIALI SCOLTI:

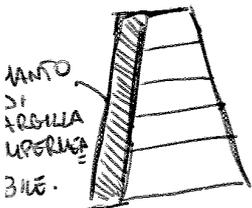


• DIGHE OMOGENEE IN TERRA:

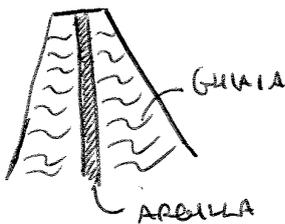
faccino snelli e compatto (elimino i vuoti), per renderlo più pesante e più impermeabile (sego principale)



• DIGHE OMOGENEE CON MANTO

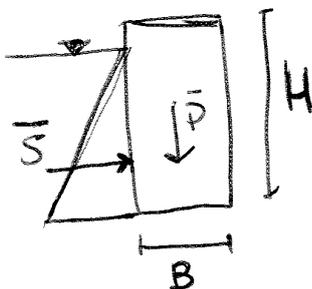


• DIGHE ZONATE IN TERRA (DIAFRAMMA)



• DIGHE IN CALCESTRUZZO:

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



DIGA PIENA:



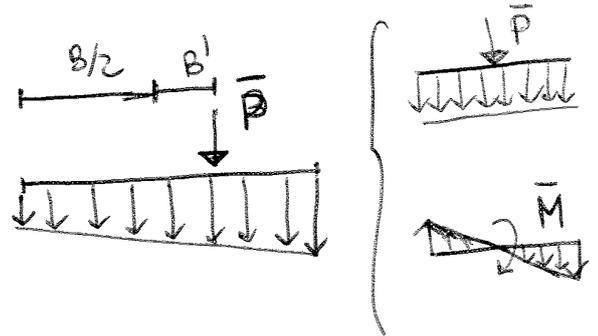
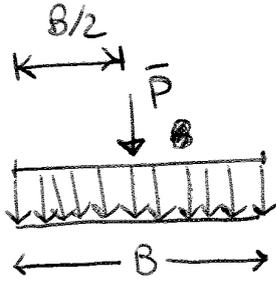
In questo <sup>caso</sup> dobbiamo comporre  $P$  e  $S$  (smisla idrostatica) e trovare la risultante.

(35)

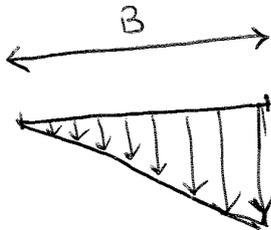
Come conseguenza di  $S$ , la forza peso  $P$  non è più applicata al centro della base ma è spostata.

Nel caso di diga vuota d'acqua:

Nel caso di diga piena



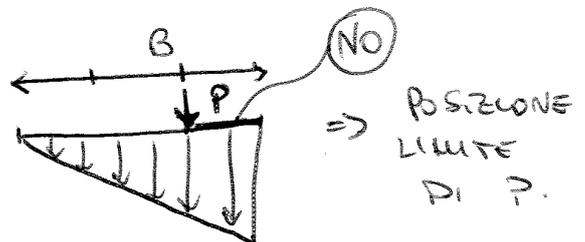
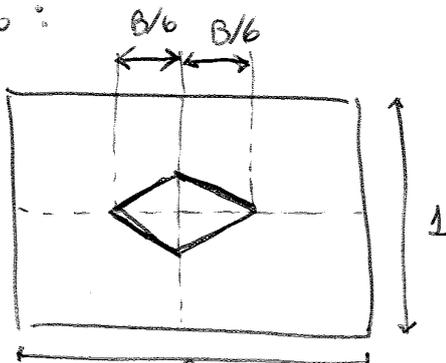
=> più mi muovo verso valle con il pt. di applicazione di  $P$ , più il momento cresce, ad un certo punto origo ad una risultante triangolare:



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

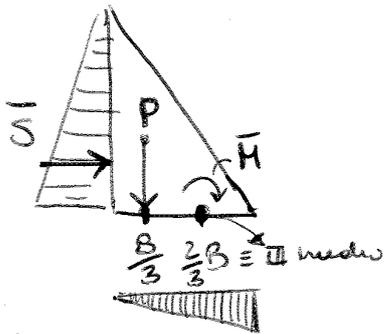
L'area del grafico è sempre  $\bar{P}$ , cambia solo la forma delle distribuzioni

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:

$$\sum M_{\text{terzo medio}} = 0$$

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

$$P \cdot B = SH$$

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

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

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

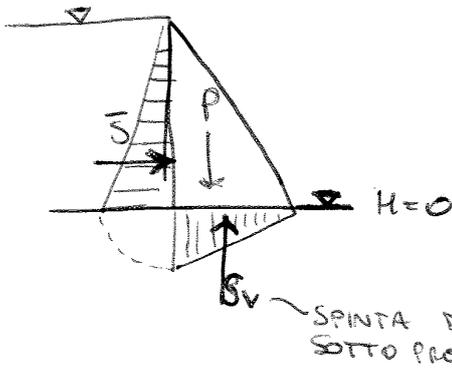
Inizialmente andò bene anche se si verifica che:

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

VOLUME MINORE DI CALCESTRUZZO

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

Dobbiamo però assicurarci che abbiamo il soddisfacimento al 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 che si infiltra 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):

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

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

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

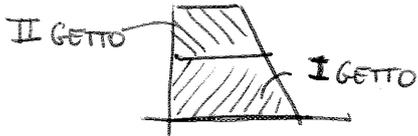
$\approx 1$

• Vediamo, invece, le verifiche delle resistenze statiche:

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

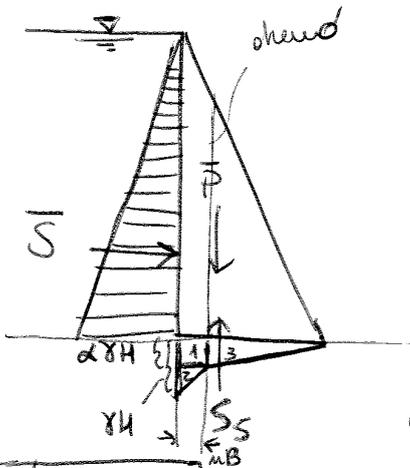
$$- P \cdot \frac{B}{3} + S \cdot \frac{H}{3} + S_v \cdot \frac{B}{3} = 0$$

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



Nel gambetto <sup>pieno</sup> avere dell'acqua

de norme => le distanze al tra 2 getti deve essere  
 $\leq 2,5 \text{ m}$ .



Se effettivo il dissesto dell'acqua al termina di prova è adatto per una c' è termina escluso.

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

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

$$\alpha \geq 0,35$$

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

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

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

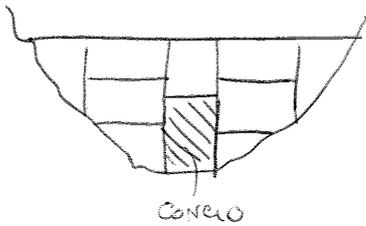
$$\Rightarrow S = S_{s,1} + S_{s,2} + S_{s,3} = \frac{1}{2} \gamma_w B H (\alpha + \mu)$$

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

alle verifiche allo scombinato:

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

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

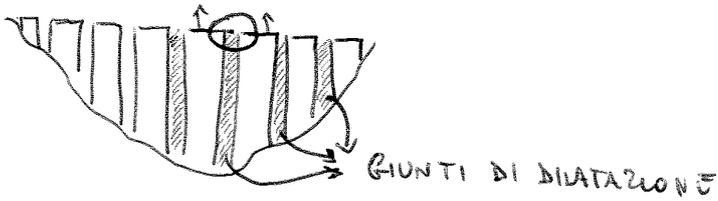


alle fine ho tutti i concetti di formazione  
le dighe.

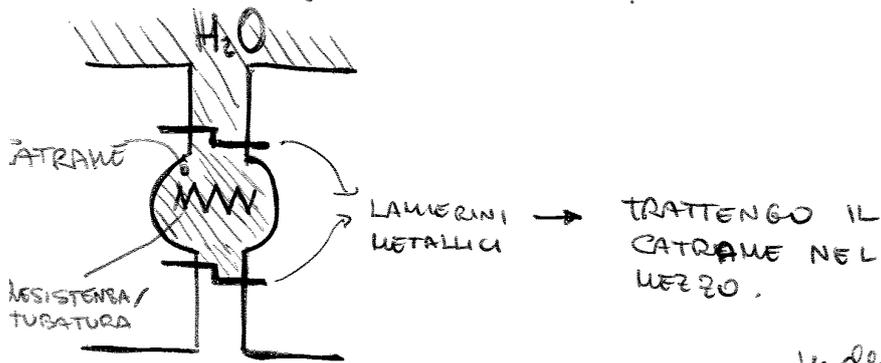
In fase di esercizio la diga deve poter essere libera di espandersi  
a cause di sbalzi termici.

=> Risolto con i giunti di dilatazione;

-> nei giunti non deve penetrare acqua;



Vediamo un giunto dell'alto:

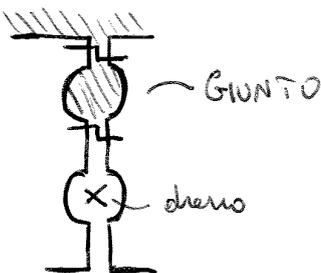


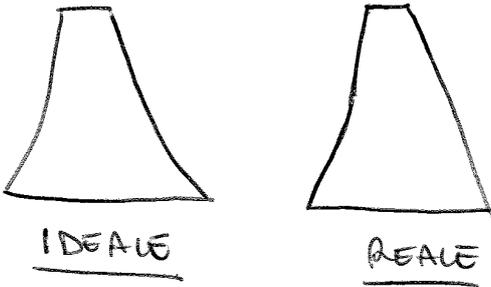
Indendo elociale

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

- serpentina con acqua calda
- resistenza (serpentina invece di corrente elettrica)

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





FORZE AGENTI SU DI UNA DIGA

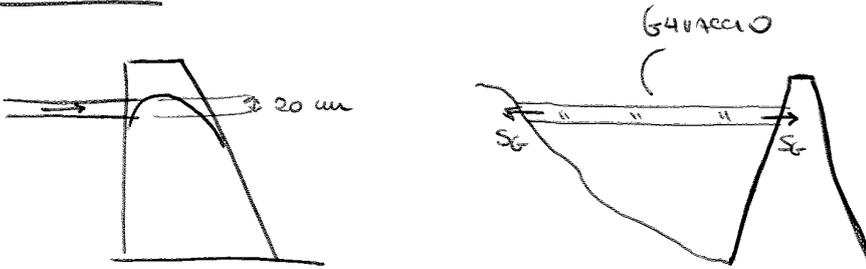
Una diga è sottoposta all'azione delle seguenti forze:

- 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

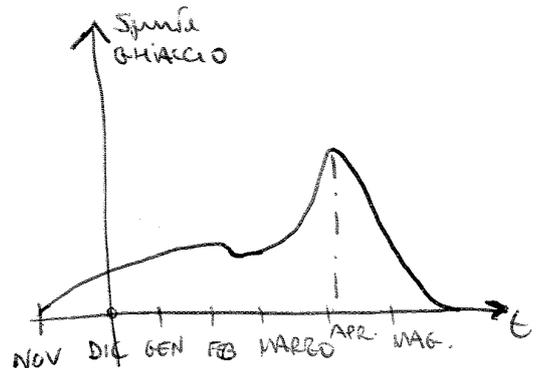


alle nostre latitudini la spinta del ghiaccio è poco importante

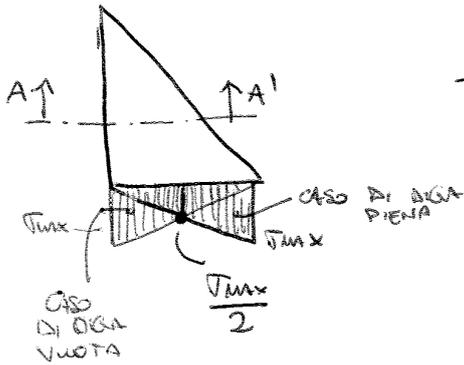
A marzo il ghiaccio si spezza e si scioglie, l'acqua entra nelle creche (neve) e si ricongela allungandosi di più (spinta maggior)



Le spinte del ghiaccio e al braccio molto elevate.



FORNA DIGA



→ in mezzo ~~colcestro~~ il colcestro non  
 labra e pero  $\sigma_{max}$   
 → colcestro specato

Le dighe massive che abbiamo analizzato fanno ruotare come di consueto  
 per il colcestro si deve verificare  $\sigma_{max} \leq \sigma_{amm}$ .

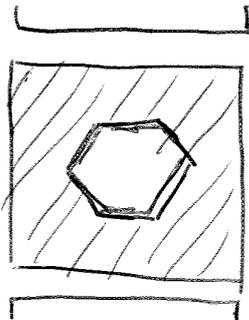
Ando potrebbe essere le soluzioni al nostro problema?

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

DICHE ALLEGGERITE

Facciamo una cosa bucale:

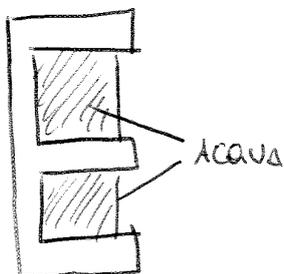
Sez. AA'



diminuisco l'area per cui ed un certo  
 carico il  $\sigma$  risulta più grande.

Un utilizzo colcestro meno performante nel caso centrale  
 and' non può fare cosa con gusto.

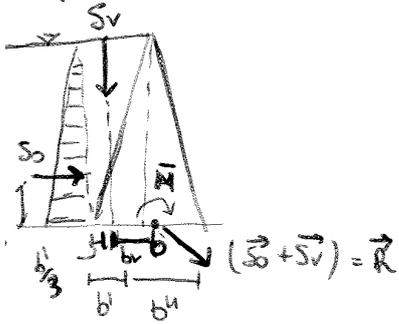
Le dighe alleggerite per sicurezza e un semplice muro sostenuto  
 le due centrali, pari d'acqua:



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 :

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

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

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

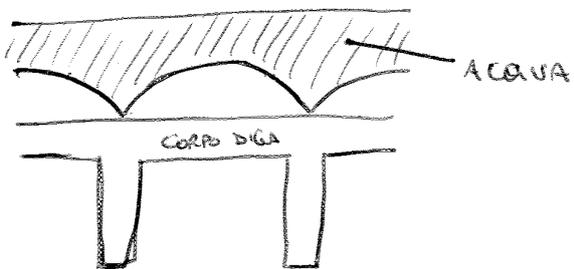
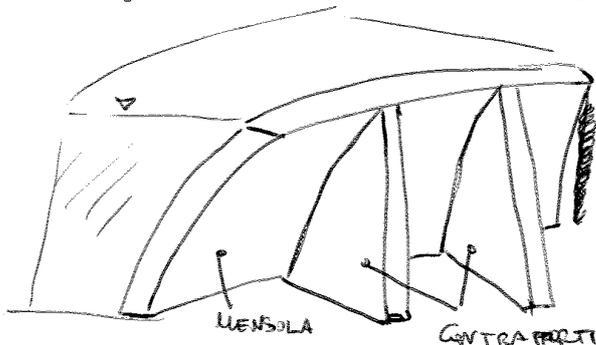
$$\cancel{\frac{1}{2}} \cancel{\gamma_w} H^2 \cdot \frac{H}{3} = \cancel{\frac{1}{2}} \cancel{\gamma_w} H \cdot b' \cdot \left( \frac{b' + b''}{2} - \frac{b'}{3} \right)$$

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

dall'equilibrio dei momenti ricaviamo  $b''$ .

Le dighe a mensola e a controforti sono robuste e molto esaltate.

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



per la costruzione delle dighe a mensola e a controforti 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 sversate.

Nelle dighe a sversate non si considerano le sottospinte 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 esercitare una spinta ~~abbassa~~ sulla base d'alcolatura degli sversati.

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

Definiamo:

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

Alle strutture sono applicate le seguenti sollecitazioni:

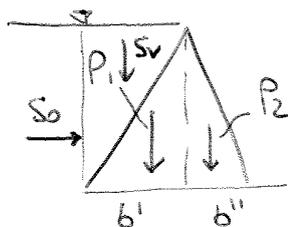
$$S_0 = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 L$$

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

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

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

B = lung. dell'intero sversato  
L = lung. Testa o del piede



dal I caso:

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

dove  $F_0 = S_0$

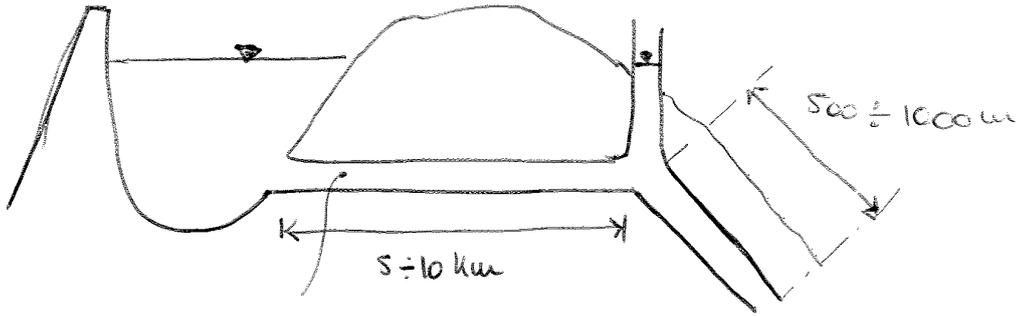
$$F_v = S_v + P_1 + P_2$$

dal II caso, si trova  $b''$ .



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

POZZO PIEZOMETRICO



CONDOTTA DI  
ACQUA  
LITRICA

$$\Delta P = \rho \cdot u \cdot c$$

↑

Vediamo quali sono gli effetti di borse di dilatazione  $\Rightarrow$  colpo d'arresto nel caso condotte indeformabili (gallerie di soluzione), e nel caso di condotte deformabili (gallerie condotte forate):

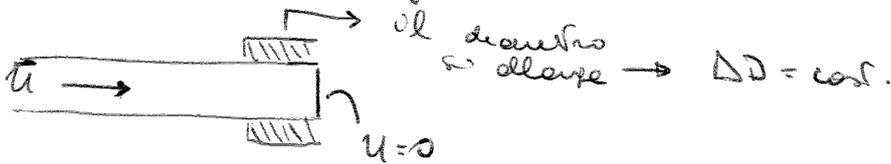
• se la condotta è indeformabile:

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

( $E \rightarrow$  comprimibile)

$c$ : velocità di cui si dice quanto velocemente il fenomeno d'urto si propaga verso mente

• se la condotta è deformabile



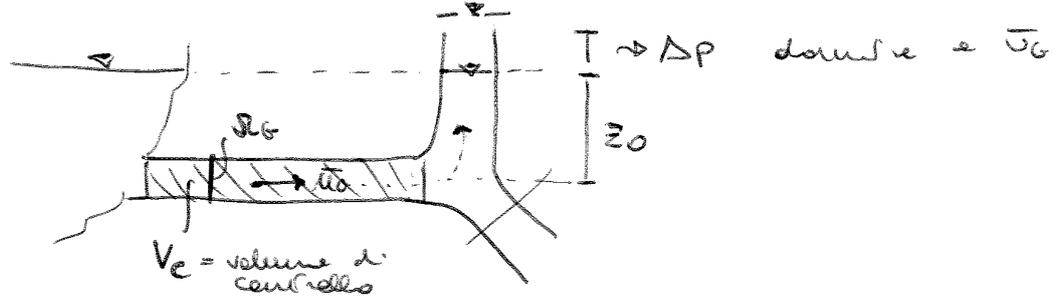
$$c = \sqrt{\frac{E/\rho}{1 + \frac{E}{E} \cdot \frac{D}{S}}} \approx 1000 \text{ m/s}$$

~~Il nel modello ho deflagrazione ma la deflagrazione non può essere nel collassamento (indeformabile).~~

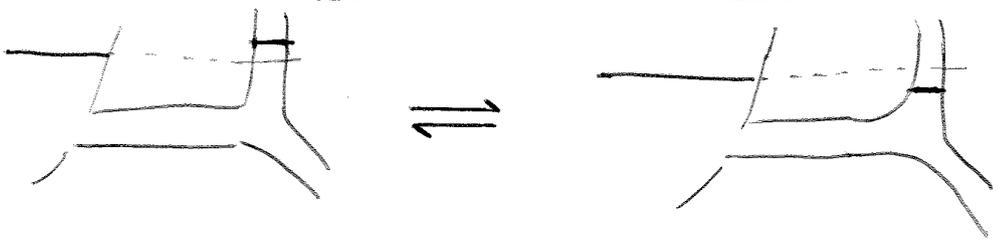
Le gallerie di soluzione vere e proprie tipicamente nascono nella roccia delle montagne e successivamente nelle vestige di collassamento stesso per ridurre le perdite di carico, ma subiscono molto elevate se ~~le~~ le pareti della galleria sono lesionate di rocce nude, ~~il~~ <sup>in quanto la struttura sottile</sup> ~~si~~ <sup>deve essere</sup> elevatissima.

(57)

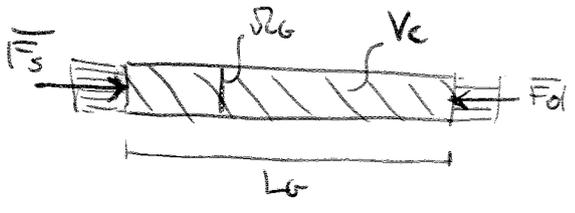
Non appena muoviamo le condotte, l'acqua che non può scendere nelle condotte, entra nel pozzo, innalzandone il livello di un termine pari all'energia cinetica dell'acqua. Nel pozzo perimetrico ha luogo un'oscillazione di marea, attorno alla posizione di equilibrio che è il livello di acqua nell'invaso.



FENOMENO OSCILLATORIO



Facciamo l'equilibrio delle forze su questo  $V_c$  supponendo



Hp: andamento costante delle pressioni nelle tubature

$$\begin{cases} F_{sx} = \rho g z_0 \cdot \Omega r_0 \\ F_{dx} = \rho g (z_0 + z) \cdot \Omega r_0 \end{cases}$$

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

$$F_{in} = \underbrace{\Omega r_0 \cdot L_0}_{V_c} \cdot \rho \cdot \frac{du}{dt}$$

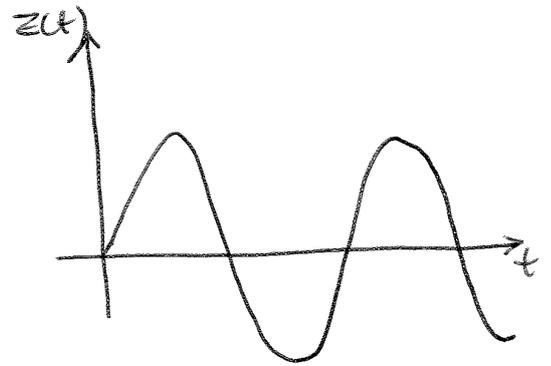
$$F_{sx} - F_{dx} - F_{in} = 0 \Rightarrow \cancel{\rho g z_0 \Omega r_0} - \rho g (z_0 + z) \Omega r_0 - \cancel{\Omega r_0 L_0} \rho \frac{du}{dt} = 0$$

Le  $\Omega_p$  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 <sup>generale</sup> 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)

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

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

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

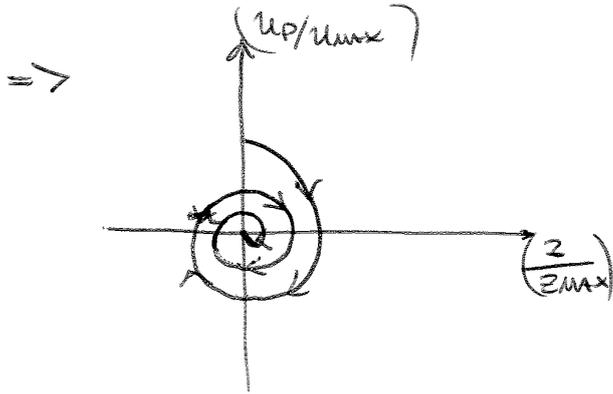
• per  $t=0 \Rightarrow \boxed{\dot{z} = \dot{z}_0}$

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

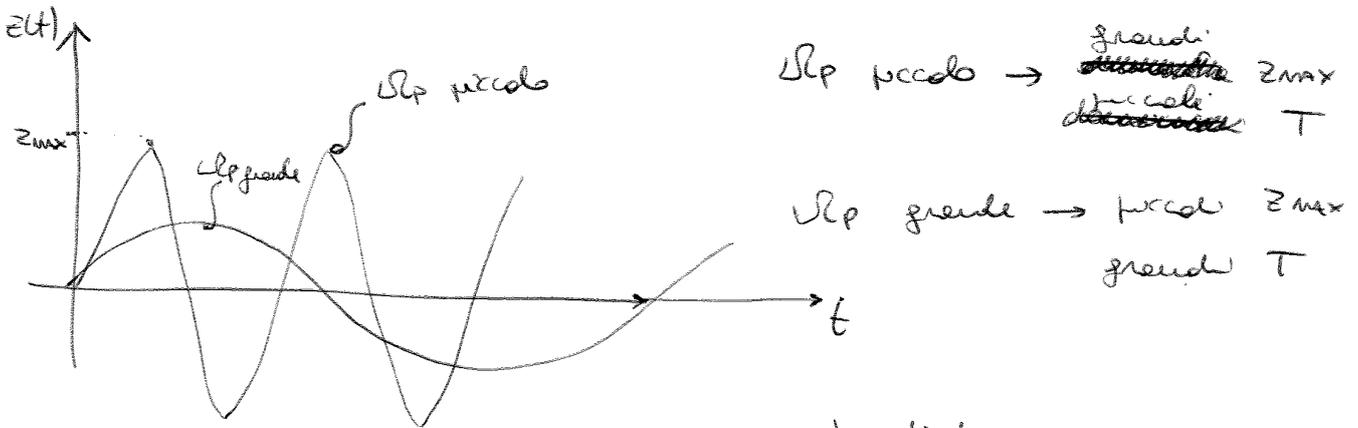
$$\dot{z}_0 = \Omega_p \left. \frac{dz}{dt} \right|_{t=0} = \Omega_p \cdot A \cdot \frac{2\pi}{T} \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right) \Big|_{t=0} \Rightarrow$$

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

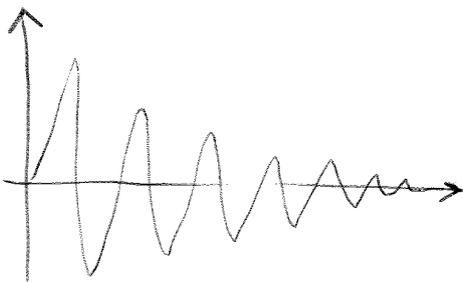
Nella realtà ho dissipazione di energia



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



più de  $z_{max}$  più elevata mi interomano oscillazioni brevi.  
=> dissipare velocemente



più dissipazione velocemente più è regolare.

Come sono fatti?

- DISS. PER PERDITE DISTRIBUITE → NON UTILE, ANTIECONOMICO!

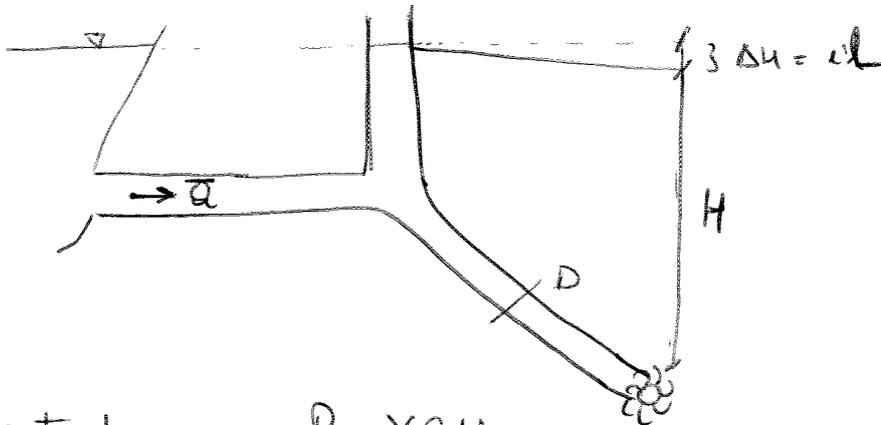
$i = \beta \frac{Q^2}{D^5} \Rightarrow$  ho sempre delle perdite, non conviene!

- ↳ 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 sempre  $D \rightarrow \infty$

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

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

\$h\$: costo

\$c\_e\$ = costo energia [€/MWh]

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

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

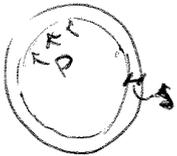
$$- c_e \gamma \bar{Q} \cdot \frac{\beta \bar{Q}^2}{D^5} \cdot L \cdot T$$

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\$:

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

$\rho$ : densità del tubo

$D$ : diametro del tubo



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

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

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

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

Se  $\sigma_{amm}$  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 allungo i costi al tempo 0)

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

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

Quindi per i vari pezzi di un  $D = \text{cost.}$  avremo:

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