



**Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino**

**Appunti universitari**

**Tesi di laurea**

**Cartoleria e cancelleria**

**Stampa file e fotocopie**

**Print on demand**

**Rilegature**

**NUMERO: 502**

**DATA: 10/04/2013**

# **A P P U N T I**

**STUDENTE: Diana**

**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.**

## IMPIANTI IDROELETTRICI

1/10/12

DIATI  
Davide Roggi 563#  
Rosso

- 1) 27 Novembre visita tecnica entracque
- 2) 1° Gennaio dighe

- Idraulica
- Impianti

### Dighe

Il 90% delle dighe non servono x imp. idroelettrici ma per scopi + "nobili"

Prima di produrre energia si deve garantire il ~~costo~~ uso di H<sub>2</sub>O

- persone
- irrigazione
- idroelettrico
- illico
- protezione del territorio

si spostano

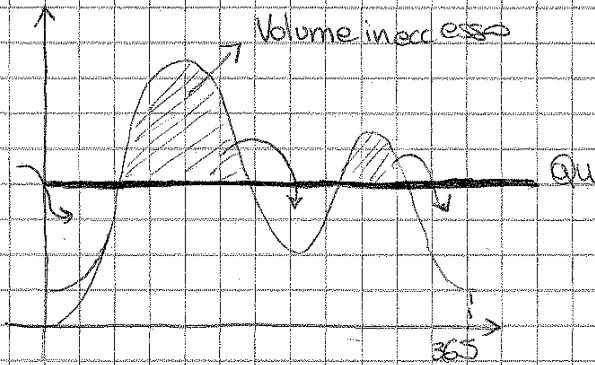
nb: idroelettrico non è in antitesi con gli altri scopi

~~2000m 2000m~~ Ad es posso portare l'H<sub>2</sub>O potabile e fare energia

l'idroelettrico consente di portare l'H<sub>2</sub>O in alta dissipando energia

Es. Ho H<sub>2</sub>O a 2000 m di quota se la portassi tutta in valle e illico lo di struggerei, posso sfruttare il ~~dislivello~~ la turbina x dissipare l'energia

4/10/12



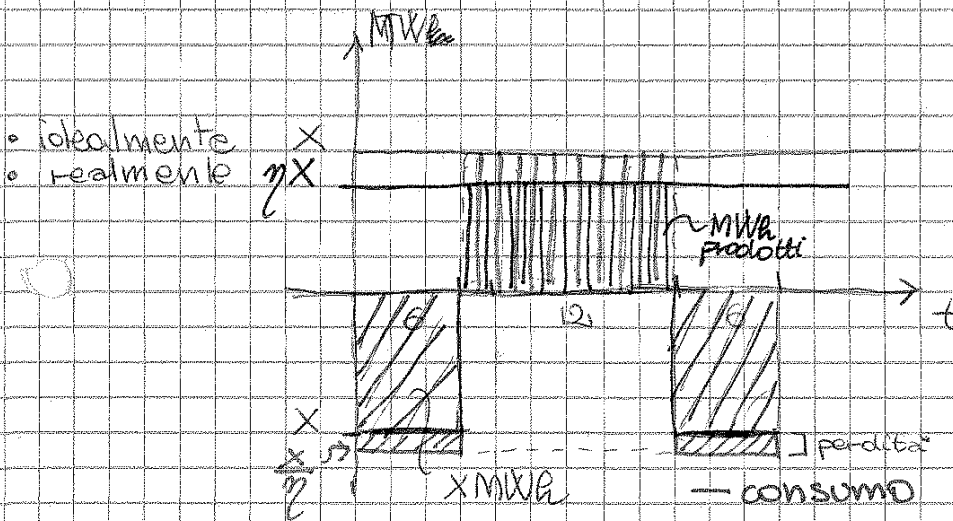
Allora il volume in eccesso all'inizio del settembre

Il 16% di energia consumata viene dall'idroelettrico

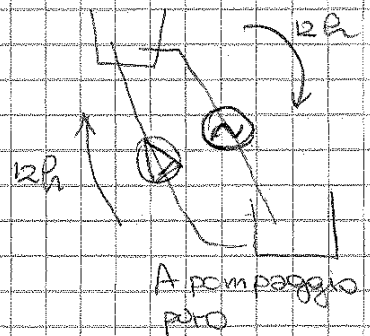
Ma anche nelle smart grids

↓ l'impianto di pompaggio non rientra tra gli impianti non rinnovabile

Per un impianto di pompaggio

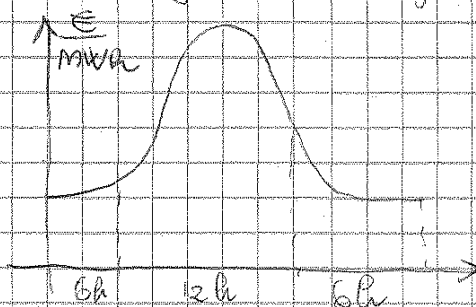


X 12 ore si turbinano e X 12 ore si pompa



L'impianto globalmente consuma energia ~~quanta costa meno~~

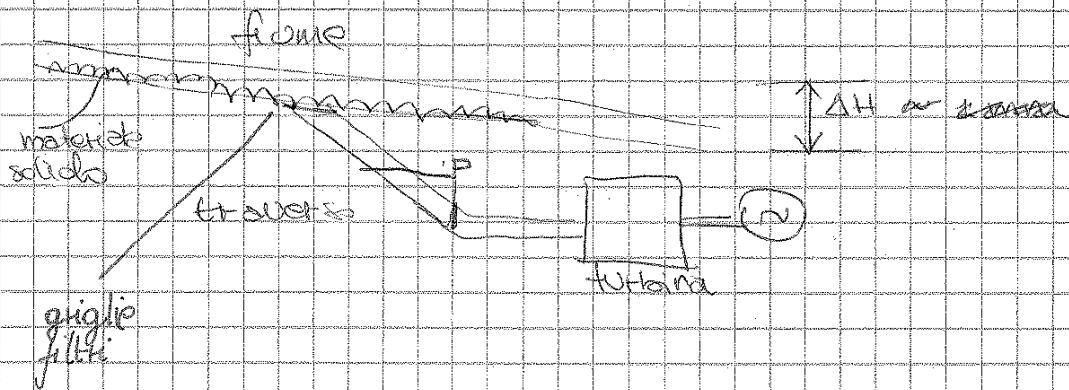
La convenienza è legata ad un fattore economico



Si compra l'energia quando costa poco e la si produce quando costa di più



## Impianto ad H<sub>2</sub>O fluente



traversa è un'opera apposta lungo il fiume

la traversa è come una diga ma ~~non~~ molto + piccola e serve a non alzare il ~~livello~~ materiale solido o meglio la velocità si ↓ e l'energia si riduce e può non essere in grado di alzare il materiale solido

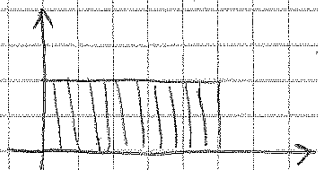
Gli impianti idroelettrici sono classificati in base alla durata dell'invaso in

- impianti a serbatoio: serbatoio di regolazione stagionale → con durata di invaso  $\geq 400$  ore
- impianti a bacino: bacino di modulazione settimanale o giornaliera → con durata di invaso  $24 \leq x \leq 400$  h
- impianti ad H<sub>2</sub>O fluente: utilizzano la portata fluente senza alcuna regolazione

La confluenza e ciclo fluviale nei serbatoi il bacino idrografico individua la zona che in cui l'acqua che cade  
 → contribuisce alla portata nella sezione di diviso

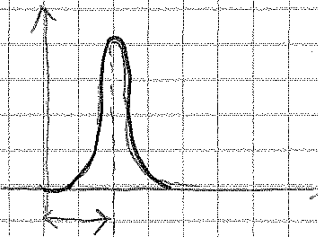
Le vie attraverso cui l'acqua <sup>pioggia</sup> arriva a valle può essere molto  $\neq$  e ho  $\neq$

meno tempo\* impiega l'acqua ad arrivare a valle meno la pendenza

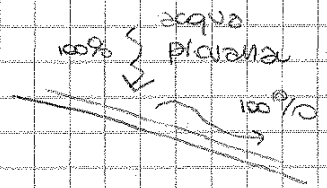


Nota l'intensità: il tempo\* è definito come tempo di coltivazione (tempo impiega l'acqua ad arrivare alla sezione A-A')

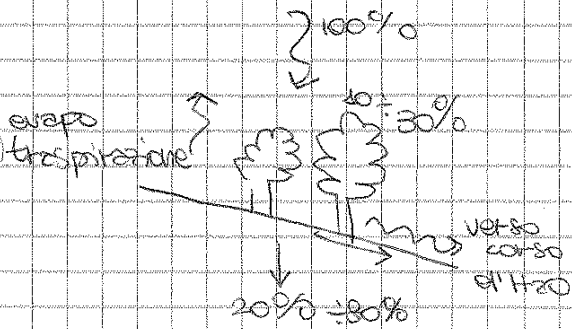
Se ho



→ è difficile da usare →

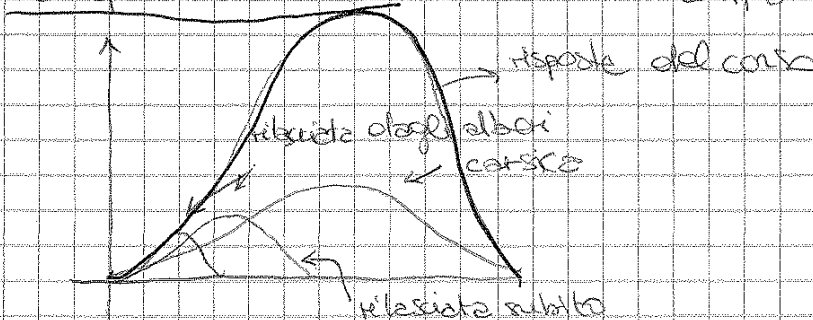


È coltivazione

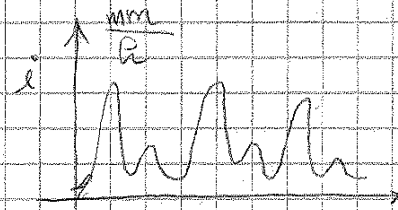


Sub-Parco, carsica → acqua accumulata nel territorio rilasciata dalle sorgenti malta dilazionata nel tempo

La risposta del corso d'acqua è del tipo

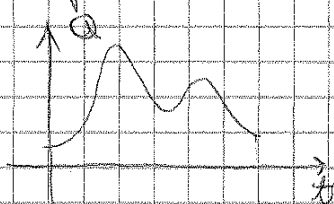


misurando il # di cicli di spostamento lungo questi tre prodotti

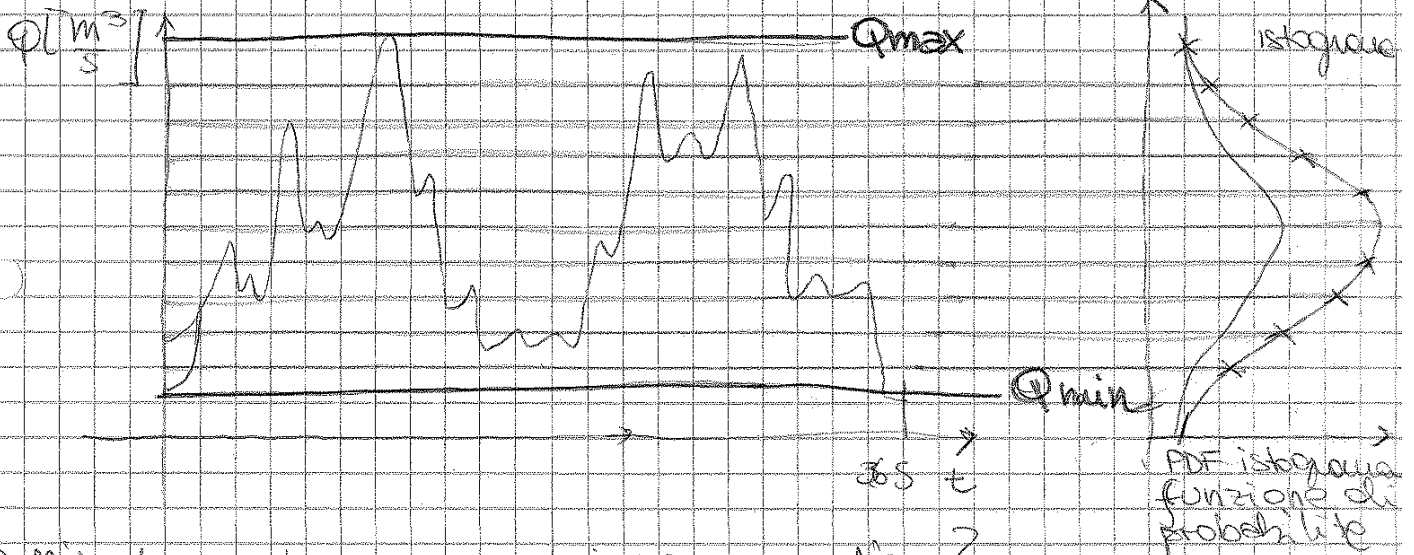


• modelli da a dicono sulle base del territorio e con i dati dei pluviometri con il H<sub>2</sub>O si distribuisce nel territorio

E allora



Una volta misurato la curva della portata, l'adeguamento del fiume



1) Mi basta una traversa o mi serve una diga?

Dopo costruire la CURVA DI DURATA → x quanti giorni la d'acqua la Q > di una certa portata. Per ottenere dividendo il fascio l'adeguamento e si ricostruisce l'istogramma.

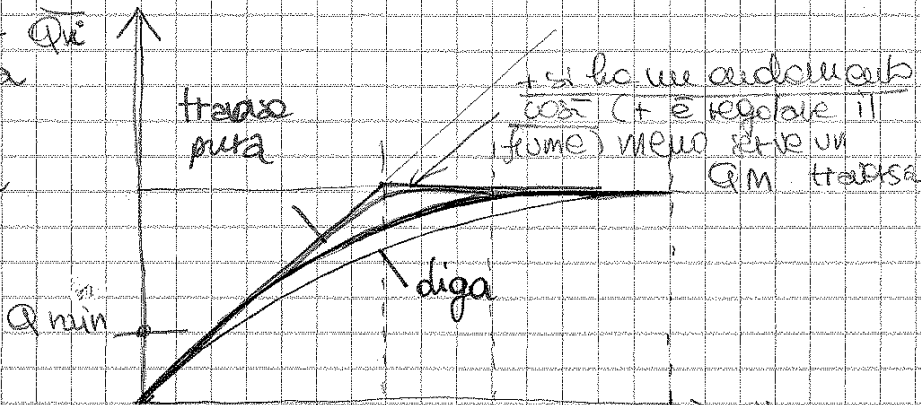
$$Q_i^* \equiv Q_{min}$$

velocità fissa  $Q_{min}$

$$Q_i^* \equiv Q_{min} \equiv \bar{Q}_i$$

utilizzo tabinata  $\leftarrow \bar{Q}_i$

$i=1 \div n$



Se  $Q_i^* < Q_{min}$   
ho  $\bar{Q}_i$   
uso la macchina  
alle portate  
media

Se  $Q_i^* = Q_{max}$   
poss. far passare  
al max  $Q$

Giovedì DIATI

portata  
max tabinata  
del fiume

$Q_i^*$   
↑  
di picco

3/10/12

La  $Q_i^*$  può legare alle portate massime

$$P = \delta Q_i^* \cdot H \quad \text{di taglia}$$

↑ salto = cost

dato portata e  
salto la tabinata e  
 $Q_i^*$

Se

La  $Q_i^*$  è legata ai costi

$Q_i$  è legata alla produzione  $\rightarrow$  è legato al ricavo

ricavo annuale  $\rightarrow \int_0^{365} P(H) dt =$  realmente utilizzata

$$= \int_0^{365} H \cdot \delta Q_i dt = \delta H \int_0^{365} Q_i dt \quad \text{ricavo}$$

$$= \delta H \cdot 365 \bar{Q}_i$$

## Dimensionamento impianto

4

Il deflusso utilizzabile in un intervallo di tempo  $T$  in un impianto idroelettrico dipende da

=D  $Q_{max}$  che è in grado di assorbire  $\rightarrow f(\text{Dimensioni})$

Stabilire le dimensioni significa stabilire la portata

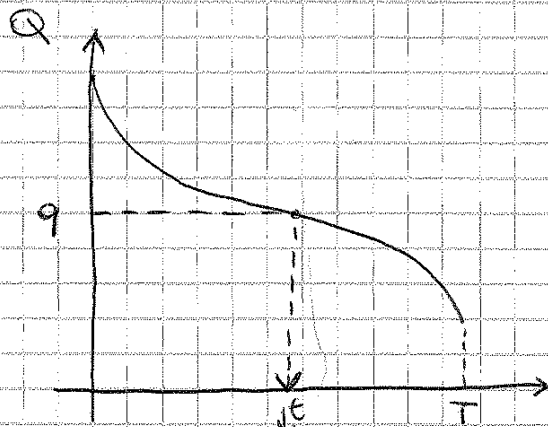
$Q_{max}$  derivabile, il deflusso utilizzabile dipende da

$\rightarrow$  entità  
 $\rightarrow$  distribuzione
 } delle portate naturali disponibili alla sezione di presa

X capire il legame tra

- $Q_{max}$  derivabili
- deflussi utilizzabili

si parte dal diagramma delle durate delle portate



← diagramme durate giornaliere delle portate naturali e di quelle medie utilizzabili

mi dice il numero di giorni / h x cui  $Q \geq q$

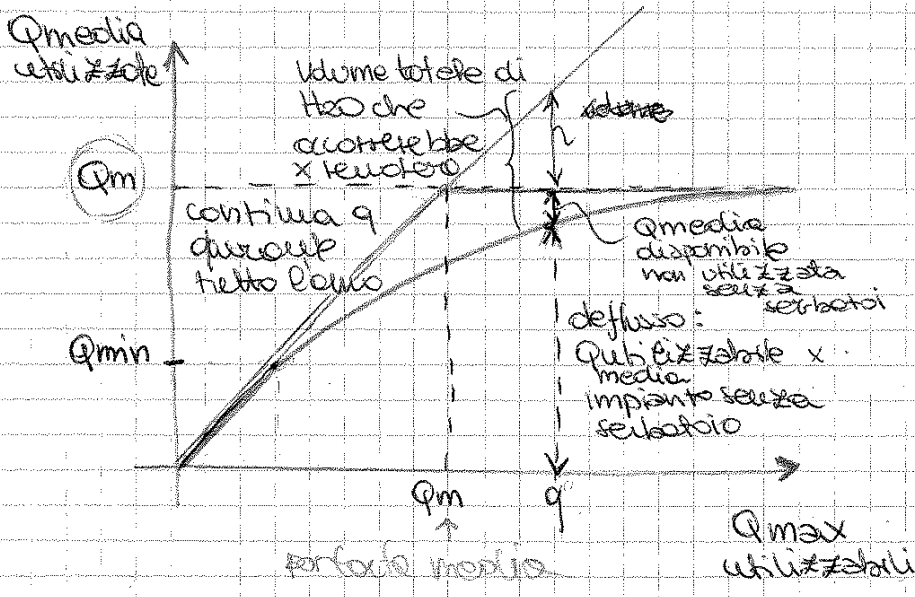
ovvero la ~~pot~~ se  $q$  è la portata massima utilizzabile dall'opera stessa si potrà lavorare a

$$P = \gamma \cdot q \cdot H$$

solo per  $t$  giorni

Negli altri giorni  $q$  e  $P$  sono a rispetto ai valori massimi

Se  $Q < Q_{min}$  la curva caratteristica portate medie / massime utilizzabili è una retta a  $45^\circ$  poiché  $Q_m$



Se  $Q_{max}$  utilizzabile è  $>$  della  $Q_{min}$  si hanno dei periodi in cui la  $Q_{disp}$  è  $<$  della  $Q$  che l'impianto può assicurare

Se l'andamento è ~~stato~~ — si ha un fiume regolare e non è richiesta una traversa. Più si discosta da quest'andamento più è necessario avere una diga

Se si discosta suol dire che la portata disponibile si discosta dalla portata media

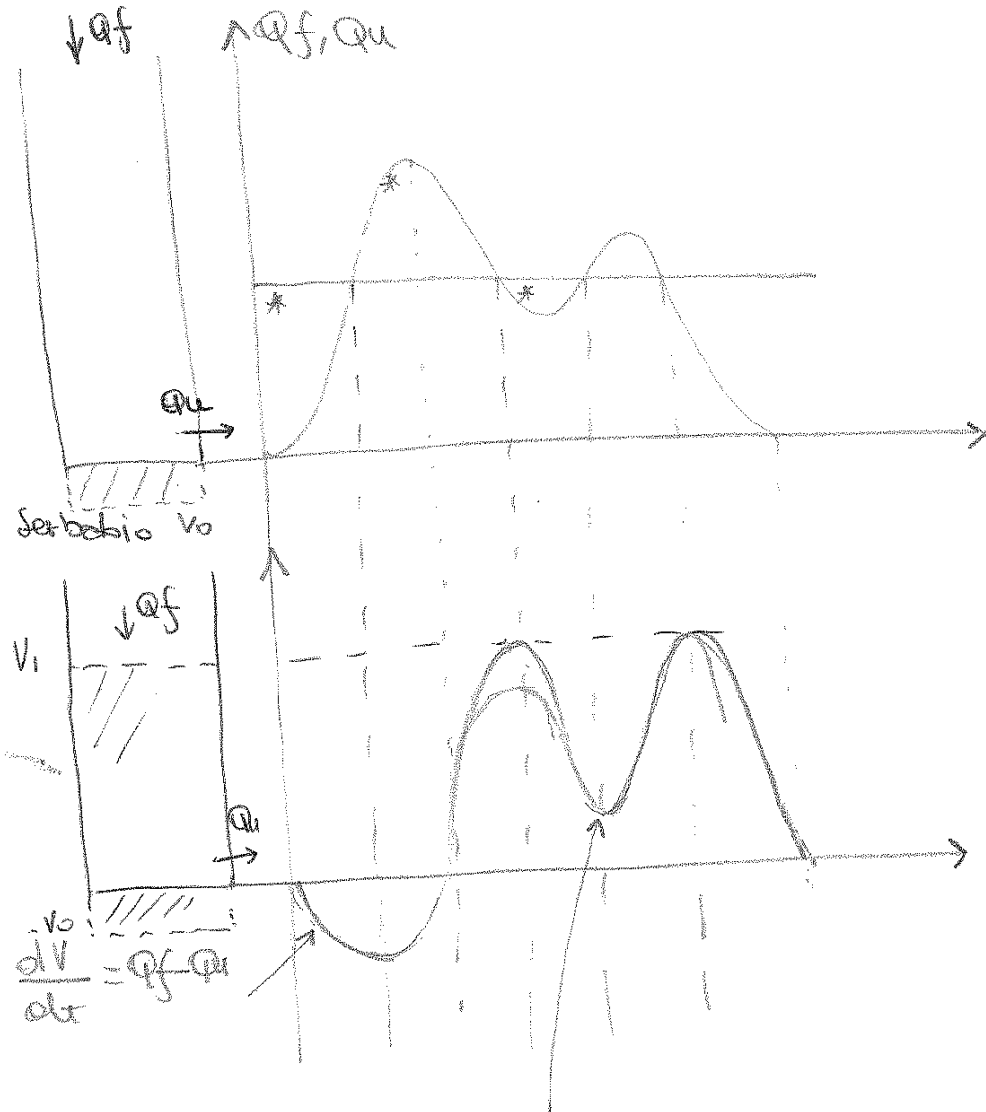
Se si avvicina con — il fiume è a portate costanti

$$Q_{max\ disp} = Q_{media\ utilizzabile}$$

Es:

\*Utilizzazione diretta (senza traverse) e serbatoi di regolazione) si adotta x ~~sempre~~ corsi d'acqua di risorgiva





Come sarà il volume all'interno del serbatoio in più che entra, cioè che esce? Questa analisi mi serve a capire quanto deve essere grande il serbatoio.

Non conosco la condizione iniziale.

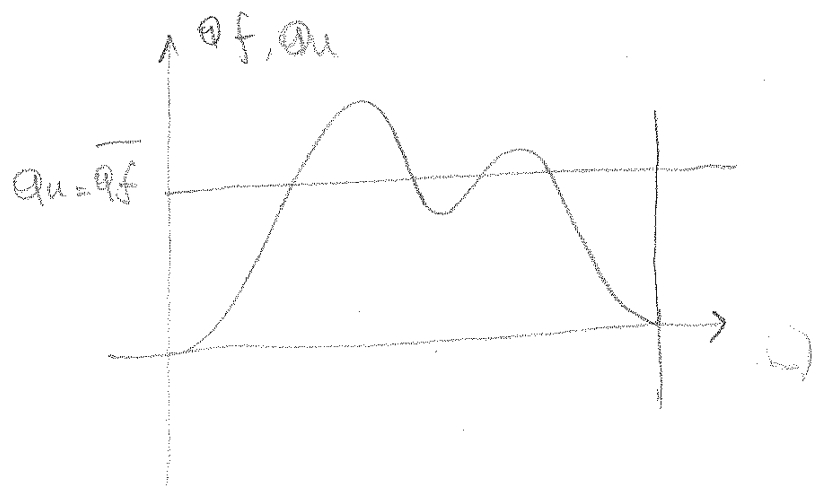
X regolazione totale i riduci allo fine serbatoio =

deve mi fermare dipendente dalle aree \*

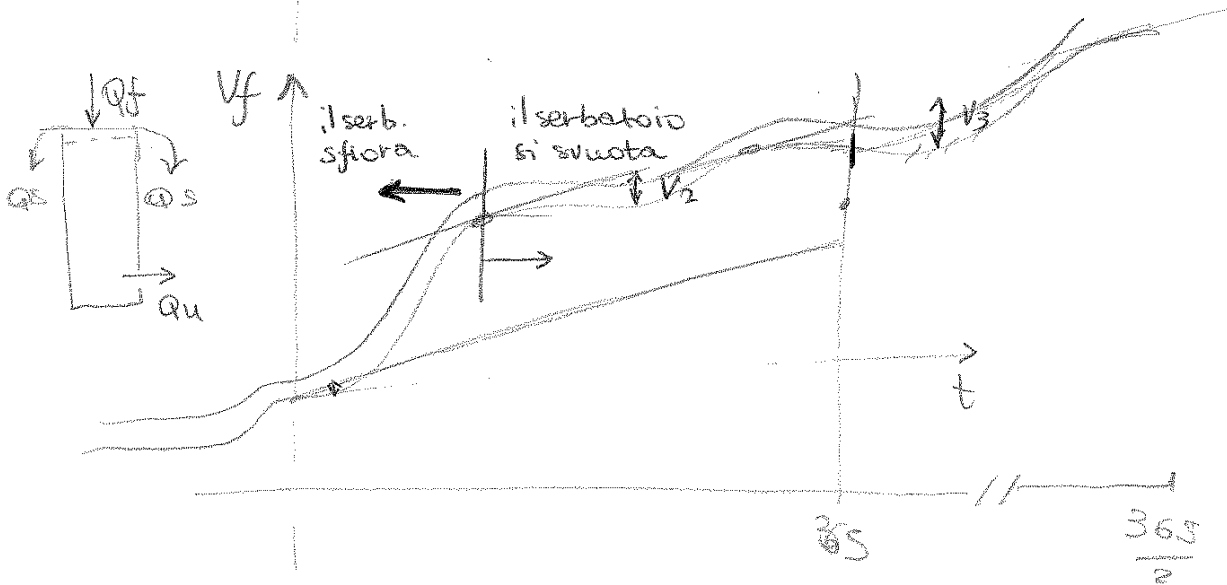
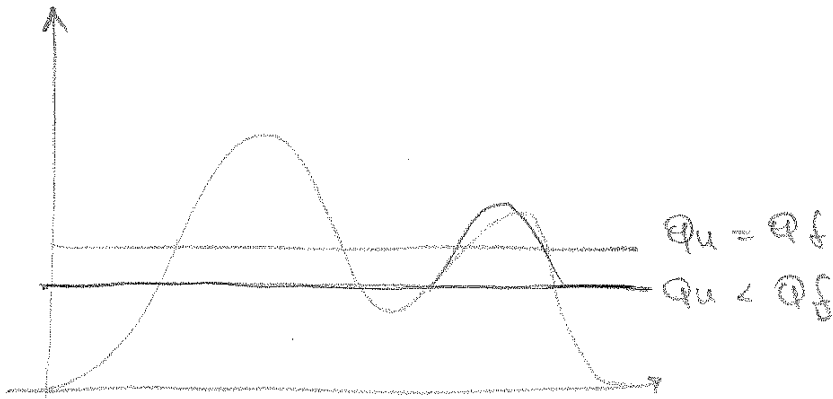
- Devo avere
- un volume iniziale  $V_0$
  - deve contenere  $H_2O$

allora  $V_t = V_2 + V_0$

Volume accumulati  $\rightarrow$



Se la portata utilizzata è 2 della portata media del fiume allora una parte viene sfiorata



Il serbatoio si riempie e poi sfiora  
 Quando  $Q_u > Q_f$  si potrà svuotare!  
 Quando

$Q_u(t) = Q_f(t)$  ? → quando le 2 curve hanno stesso Tg  
 $Q_u(t-at) < Q_f(t-at)$  → in maniera che il volume non sta negativo.

calcolo le massimotta e scilto la curva del  $\max(V_1, V_2, V_3)$  lo  
 il volume di sfioro  
 Tg e V



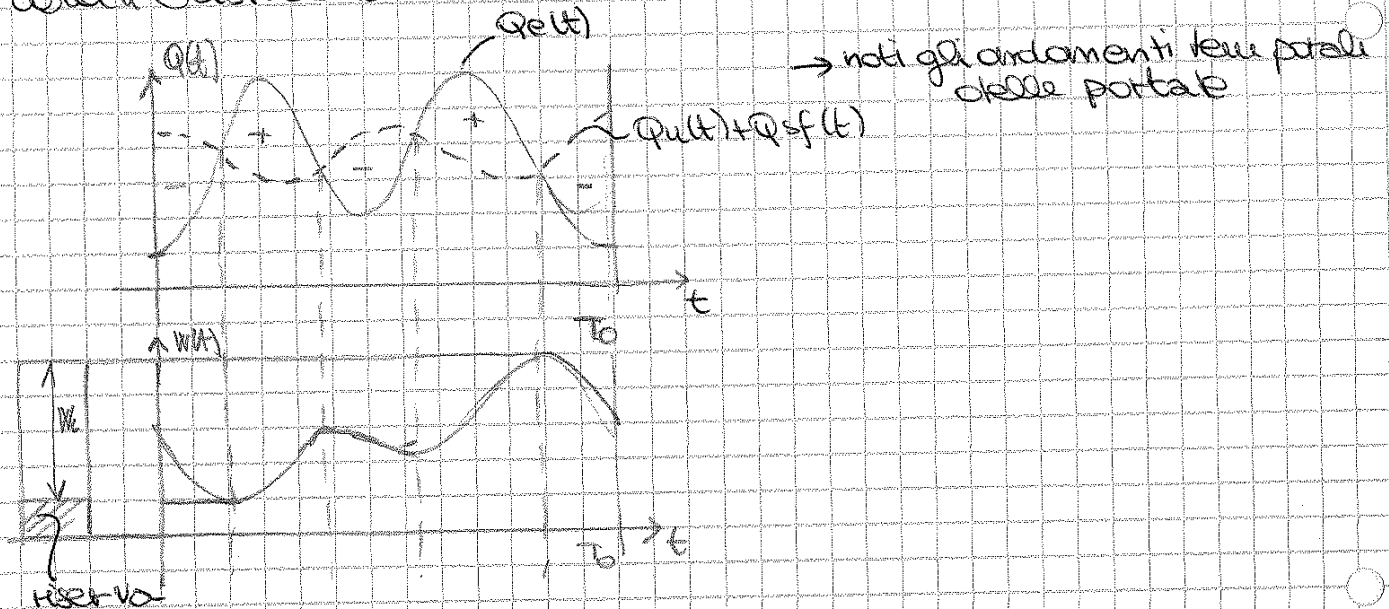
$$W(t) = W_0 + \int_0^t [Q_e(t) - Q_u(t) - Q_s(t)] dt \quad *$$

↑  
volume immagazzinato  
o di riserva

Si trovano i valori massimi e minimi

$$\frac{dW(t)}{dt} = 0 \quad \text{si trovano per } Q_e(t) = Q_u(t)$$

La capacità di compenso è data dalla data differenza tra  
minimi e massimi assoluti nel periodo di funzionamento  
corrente  $t_0$  a  $T_0$

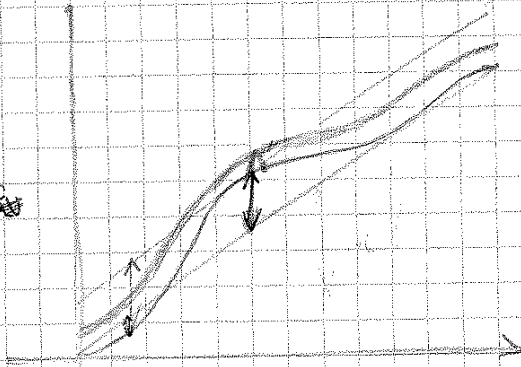


Per generare non si usano i metodi per integrazione ma  
metodi numerici o METODI GRAFICI per i quali il volume  
di compenso si calcola in modo era differenziale o secondo che  
si parla di

- regolazione completa
- " con sfior
- " con deficit

Opure

Non ne sono  
certa  
→  
~~parte~~



chiare il  $V_0$ !

Non voglio che  $V_{in}$   
> di  $V_{out}$  allora  
si trova  $V_e$   
per  $t=0$   $V_e = V_0$

A pari volume unitario compresso in  $T_0$  la capacità di compenso  
è > percentualmente quanto più si discostano reciprocamente  
gli andamenti temporali delle portate entranti ed uscenti

Regolazione con sfiori → la portata utilizzata è minore della  
portata media del fiume



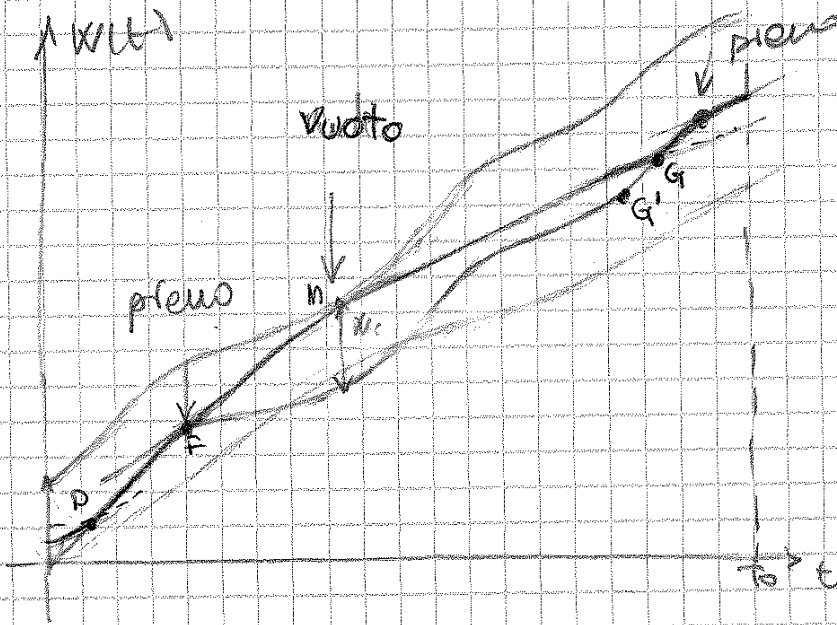
I intervalli in cui la differenza tra volumi entranti ed uscenti  
non viene invertita me sfiorate

Se oltre condizione il processo di innesso e scasso del serbatoio  
mediante l'integrazione delle differenze finite dell'equazione  
\* ipotizzando che all'inizio il serbatoio sia completamente  
pieno

Integrando le portate entranti nei periodi di deficit e si  
evidenziano i volumi richiesti al serbatoio. Si evidenziano  
i volumi sfiorati nei periodi di surplus

nb: il volume all'inizio e alla fine di  $T_0$  deve essere  
lo stesso allora si può omettere l'ipotesi

Se invece si traccia la curva dei volumi entranti di  $W_c$  la distanza tra queste curve e la curva A'DFM GIB' rappresenta il volume insovrato / sotto dell'invaso



Nei tratti di sfioro ~~tra P e F~~ DF GI (la caratteristica è sotto) il serbatoio è costantemente pieno

Numericamente

$$W_c = \max_{t_i^*} \left\{ \int_{t_i^*}^{t_i + \Delta t_i^*} Q_u(t) dt - \int_{t_i^*}^{t_i + \Delta t_i^*} Q_e(t) dt \right\}$$

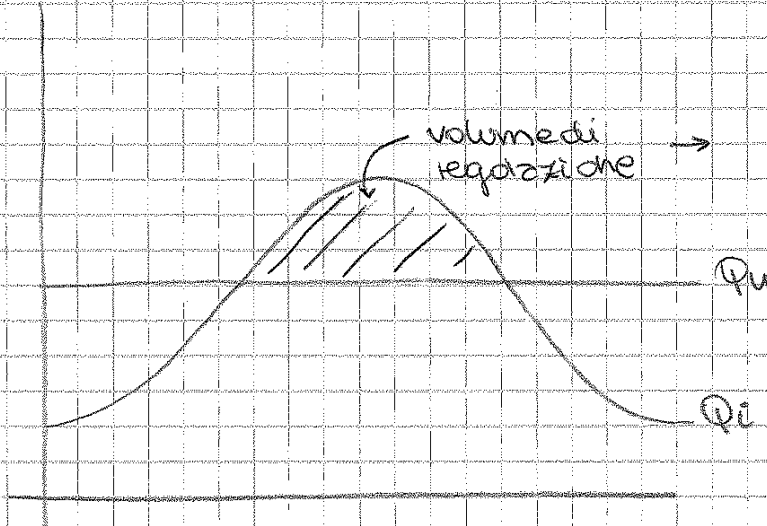
$t_i < \Delta t_i + t_i$  ~~è~~ è il ~~tempo~~ periodo di deficit minimo

Si può valutare il volume di sfioro come

$$W_{sfioro, i} = W_c(t_i + \Delta t_i^*) - W_u(t_i + \Delta t_i^*)$$

e si possono verificare quando si ha un differenza negativa tra volumi uscenti ed entranti, si valutano all'inizio di uno dei periodi di deficit perché siamo avvenuti sfioro

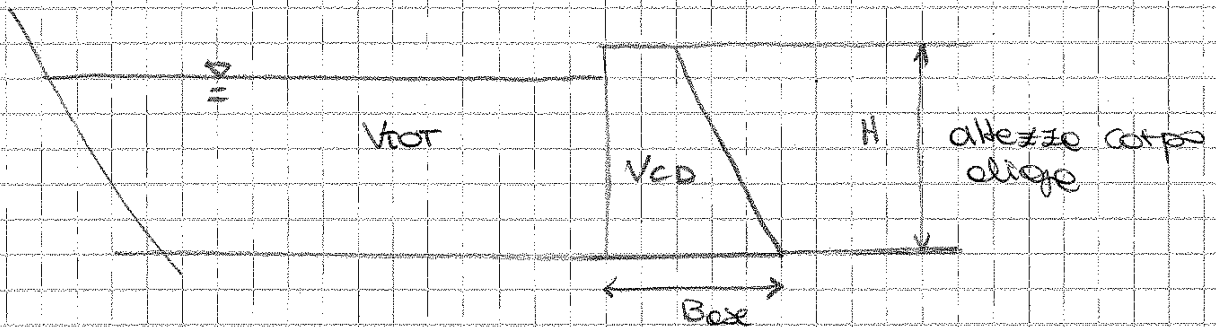
DIGA



è il volume necessario a regolare le portate

A parità di volume si sceglie la soluzione che consente di minimizzare i costi o massimizzare il rapporto (benefici/costi) se

$$V_{TOT} > V_{REG}$$



Nota  $V_{TOT}$  l'altezza  $H$  del corpo diga è dato dalla geometria della valle.

• I benefici sono  $\propto V_{REG}$  (date a valle ciò che voglio)

• I costi dipendono dal volume del corpo diga

$$C = f(V_{corpo\ diga}) = C_{fissi} + C_f(\text{volume corpo diga})$$

Il volume del corpo diga dipende da

$$V_{CD} = g(\text{Area diga}, H_{diga}) \Rightarrow \text{si vuole minimizzare il volume del calcestruzzo}$$

↓  
area frontale



Dato che le precipitazioni si misurano in precipitazioni annue

$i = 800 \frac{\text{mm}}{\text{anno}} \rightarrow$  si ottiene da valutazioni ventennali

allora nota l'area del bacino il volume annuo sarà

$i \times AB = V_{\text{annuo}} \Rightarrow$  è il volume annuo da turbinate  $[\text{m}^3]$

la potenza per

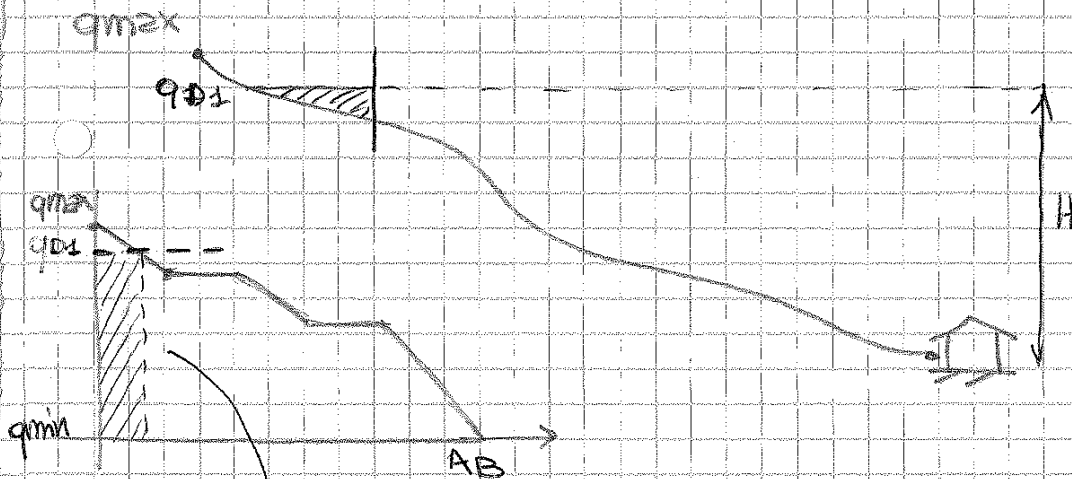
$Q = \frac{V_{\text{annuo}}}{\cancel{365} \text{ anno}} = \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

secondo

$W = \rho H \cdot Q$

Dove conviene posizionare la diga e che quote?

Più in alto viene messa la diga maggiore sarà  $H$  ma si riduce l'area del bacino. Ad esempio



Per  $i = \text{cost}$  il grafico della curva isopogona  $A$  rappresenta la portata  $Q f(A)$

Allora la potenza

$P = \rho \cdot \underbrace{H \cdot A}$

essendo  $Q = c \cdot A$

dubitare

?

corrente di derivazione

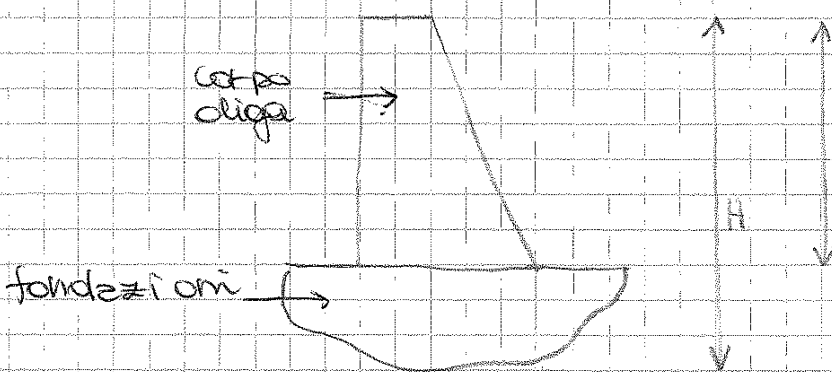
diga principale

sbarramento bacino 2° tipo

condotta

I bacini secondari possono essere collegati direttamente alla condotta se si realizza uno sbarramento secondario si dovrà fare lo sbarramento principale di poco più alto (però di poco e risultando conveniente)

### DESCRIZIONE DELLA DIGA



l'altezza della diga è l'altezza del corpo diga  $H'$  fino agli ormi (go) per corpo diga si intende corpo diga più fondazioni  $H$

Si indicano con GRANDI DIGHE le dighe di

$$H \geq 15 \text{ m}$$

e

$$V_{tot} \geq 10^6 \text{ m}^3$$

Sono di competenza nazionale e fanno parte del Registro Italiano Dighe (RID) → considerate "pericolose"

Le dighe che non superano questi parametri sono di competenza regionale.

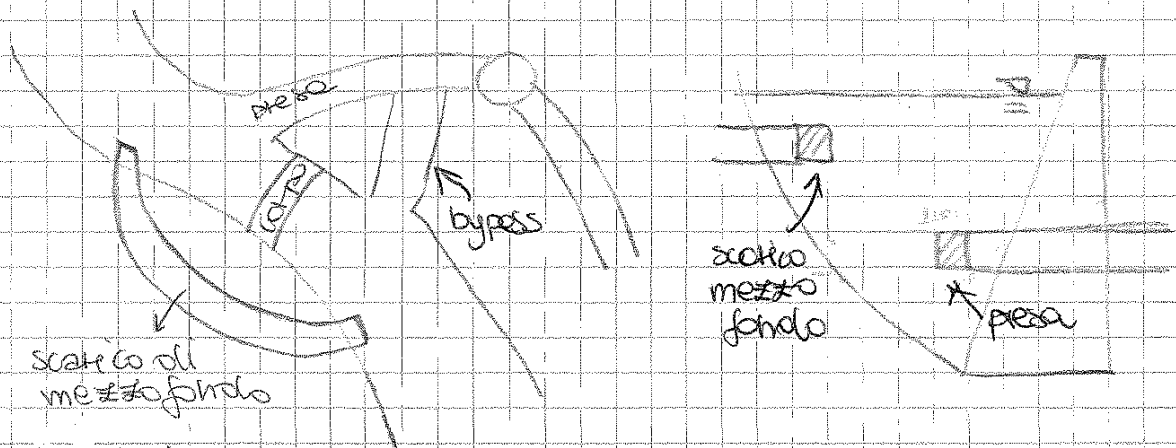
Le norme sulle grandi dighe sono più restrittive e presentano dunque maggiori costi, per ridurre i costi



Per non avere ~~soluzione~~ morto ~~si~~ (per sfruttare la dighe<sup>ci</sup> si  
 scorie dello scarico di fondo che non viene utilizzato  
 nel normale esercizio.

Se soluzione al di sopra dell'opera di presa è il ~~soluzione~~  
 di regolazione.

Si vede scarico di mezzo fondo o di esercizio



Lo scarico di mezzo fondo viene utilizzato per iniziare  
 a sfruttare la diga ~~per~~. Se infatti si utilizzassero le  
 opere di presa si avrebbero forti pressioni in condotta.  
 Per sfruttare la diga si ~~per~~ usare<sup>per</sup> l'opera di presa con  
 bypass.

Per costruire una diga si fa uno sbarramento con  
 scarico di mezzo fondo, si taglia l'acqua dalle spalle dello  
 sbarramento e quando non si ha più acqua si costruisce  
 la diga.

Se franco è

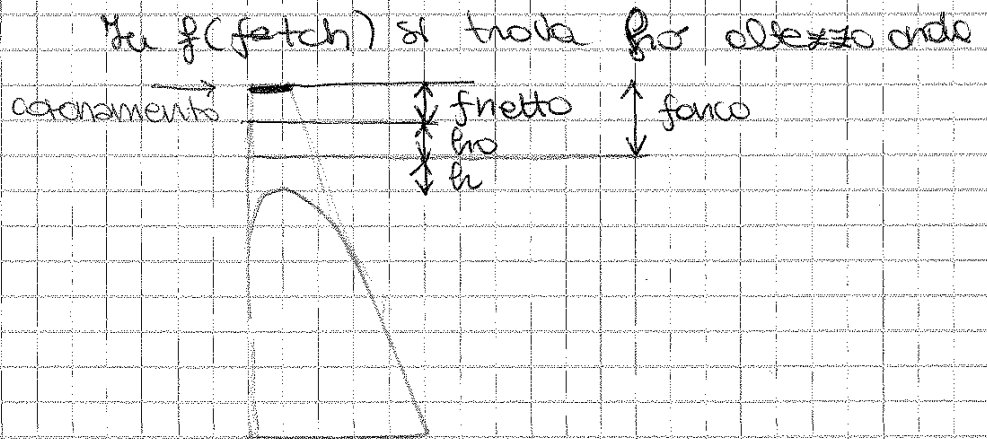
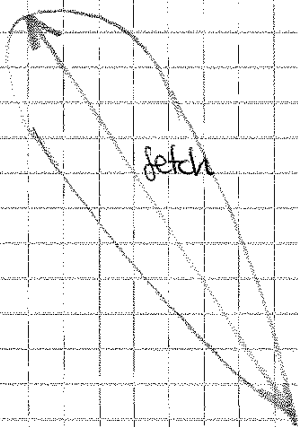
$$\text{franco} = \text{franco}_{\text{netto}} + \text{onde} \approx 1,5 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

↑ diga classica      ↑ diga in terra

nb: nelle dighe in terra non si realizzano sfioratori  
~~che~~ nel corpo diga altrimenti la diga si scioglie  
~~che~~ si possono però realizzare sfioratori laterali.

Si deve tener conto di onde dovute al tempo di arrivo.

Se solo per il fetch → distanza libera per l'acqua



Il coronamento della diga deve essere sempre percorribile  
 allora la presenza di sfioratori si devono realizzare  
 ponti



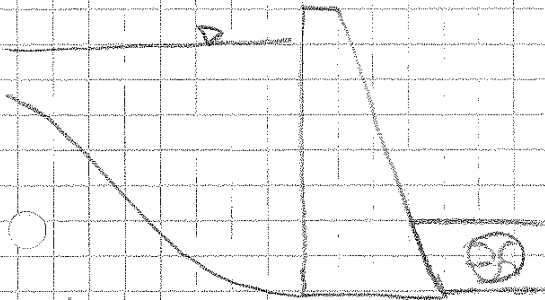
## Tipologie di impianti con serbatoi

### ● Impianto a fondo diga

⇒ non sono necessarie opere di presa

⇒ Allo sbarramento si affida il compito di creare il salto

⇒  $Q$  elevata,  $H$  contenuto (E serbatoio è la centrale nel Grankeñion Hoover Dam)

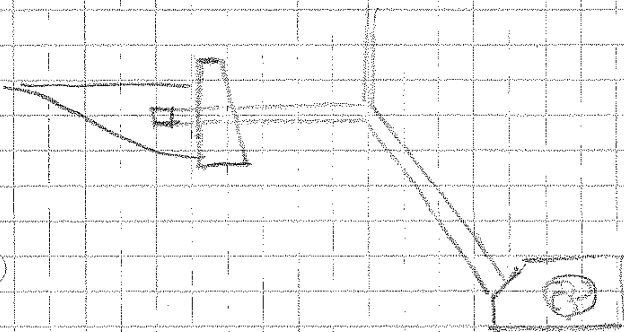


- a dipendenza  
del valore in generale  
- Esclusivamente a prezzo

⇒ lo sfioratore non sarà nel  
corpo diga

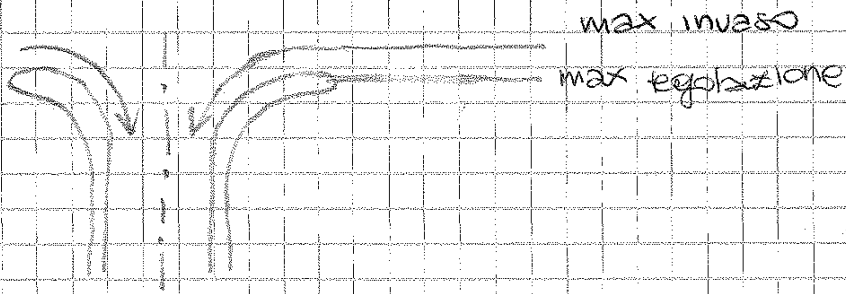
→ le opere aggiuntive sono  
quelle per mettere in sicurezza  
l'impianto

### ● Impianto a valle con condotta forzata



⇒ il serbatoio è destinato  
alla regolazione, si dovrà  
sfruttare al massimo la  
sua capacità

• sfioratore a calice



È facilmente ottenibile

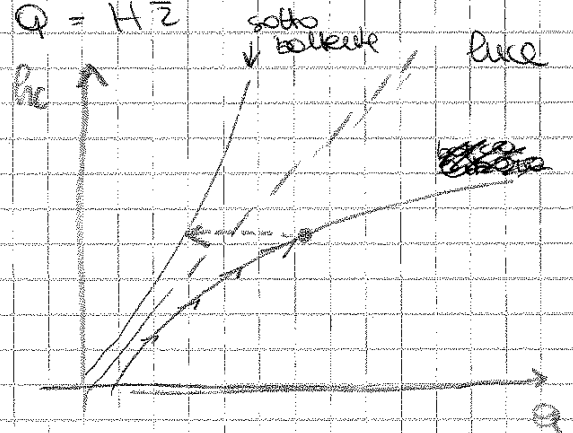
In presenza di luce sotto battente

$$CA \sqrt{12gH} \sim H^{\frac{1}{2}}$$

L'acqua parte con se aria fuori dal calice: l'aria + acqua che esce da quella che entra - la superficie di liquido si avvicina la condotta si riempie e si passa da

- sfioratore libero  $Q \approx \Omega H^{\frac{3}{2}}$  a  $Q = H^{\frac{1}{2}}$   
 ↳ stramazzato

- sotto battente  $Q \approx H^{\frac{1}{2}}$



Il portata via  $\approx \frac{1}{5}$  della portata

Il livello massimo nasce e si ottiene

⇒ è uno strumento robusto!

⇒ da integrare con un sistema di erogazione

# DIMENSIONAMENTO CORPO DIGA

1) determino l'altezza

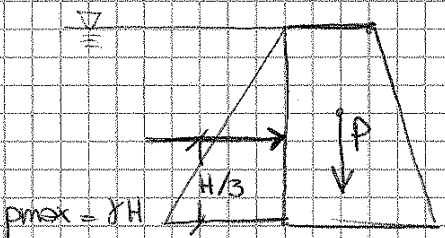


$H = H_r + H_L + H_{vm} + H_o + f_n$   
 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑  
 regolazione laminazione onde flusso netto  
 altezza volume morto

H = noto

2) base della diga

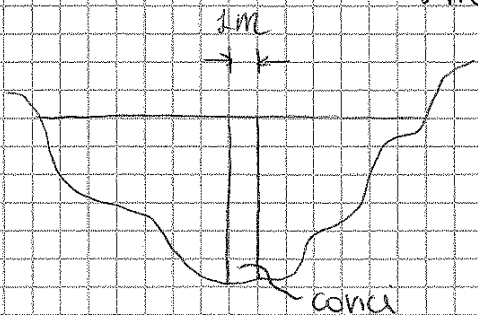
Le dighe massicce a gravità usano solo il proprio peso per vincere tutte le forze



$P = \rho \cdot R$

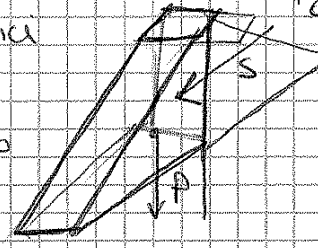
Spinta =  $\frac{\rho}{2} H^2$  spinta unitaria

Considero lo spessore largo 1m



La parete della diga è divisa in conci verticali e sono blocchi indipendenti: ogni lancio resiste alle pressioni dell'H<sub>2</sub>O da solo

Ogni conio è in calcestruzzo e il processo di raffreddamento e solidificazione è estremo



Quando il calcestruzzo si raffredda si ritrae, ma prima molto o raffreddarsi si

Per permettere la dilatazione

Verticalmente i vari conci vengono realizzati in modo da garantire l'aderenza ma tra un conio e l'altro deve essere

nb: il calcestruzzo non riesce a trascinare

13/12/12

Seminario

# MICROTURBINE IDRAULICHE

MINI MICRO → impianti di piccola potenza

micro	0 - 100 kW
mini	100 - 1000 kW
piccolo	1000 - 10000 kW

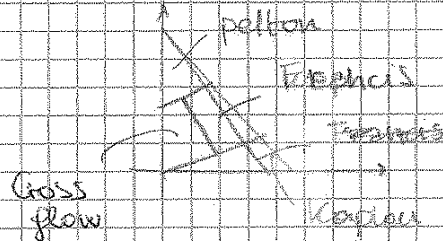
Obiettivo: Esistono un certo salto

→ In Italia si sono già sfruttati tutti ~~o~~ le grosse quantità di H<sub>2</sub>O, l'unica possibilità di sviluppo è sul micro - mini

tecnologie disponibili

Turbine classiche

Turbine crossflow



Pelton

- elevato  $\eta$
- costi elevati

Turgo

- come le pelton ma con semi-cerchi o c

hanno bisogno di condotti di stabilizz

CrossFlow

- $\eta$  + scarsi
- + economiche

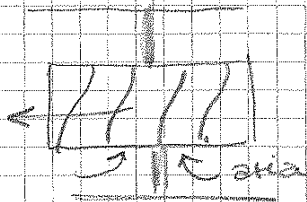
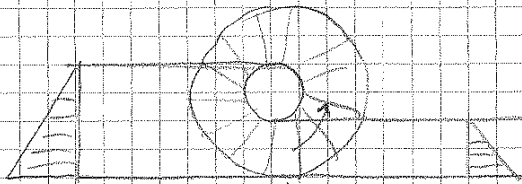
Francis e Kaplan

- palette regolabili

Nel microhidro non si realizzano subacquei se non sono Kaplan adatte e + idoneo anche se il  $\eta$  è migliore

## Turbine x energia potenziale

3



## Enercat

### Turbine per energia cinetica

$\eta$  bassi

la ricerca è concentrata solo sulla forma della pala

→ ad asse verticale

→ orizzontale

nb: dite molto in uscite dite che sono geometriamente convergente piccole

A sottoportanza

Dattos e Davis

con profilo d'ala



## Diga di qualità ordinaria

La diga ha altezza

+ regolazione

$$H = \sum \text{altezze laminazioni} + \text{altezza onola} + \text{altezza franco}$$

$$H = H_{reg} + H_{can} + H_{vato} + H_o + \text{franco netto}$$

→ in calcestruzzo → no trazione ma solo compressione



se non ad un valore limite

basso

## Forma

percolamento

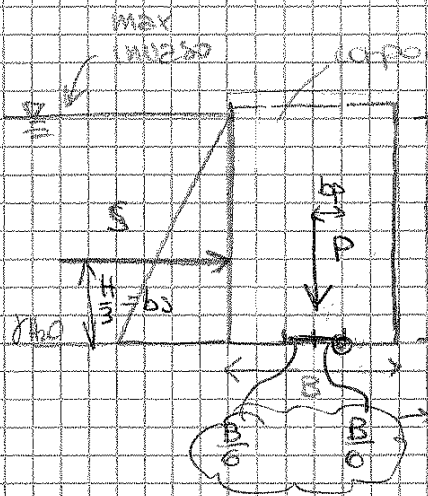
- parete di monte verticale

- sez. trasversale soggetta a compressione

- tensioni sul tratto // acqua sottile dal tratto considerato

## Diga di forma rettangolare

una diga a gravità oppone la spinta dell'acqua all'altro lato e proprio messo



le forze agenti

$$P = \rho m B H^2 (x \pm 1)$$

$$S = \rho \cdot A \cdot \frac{H}{2}$$



agita in c

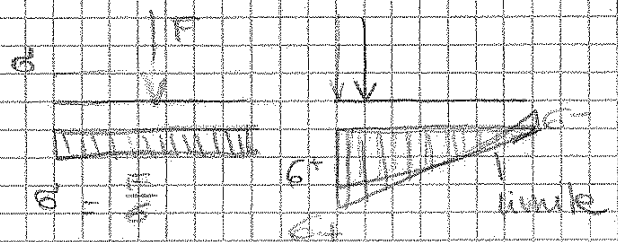
nel baricentro

Applicando una forza verticale sul piano rigido si avrà una  $P =$  in tutti i punti, se il punto spingo su un altro punto posso avere avere una zona

- in pressione

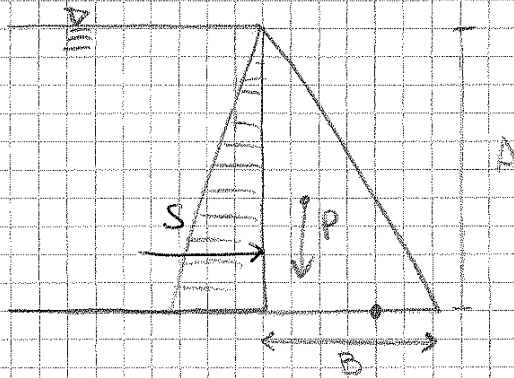
- in trazione

ma le calcestruzzo non sopporta gli sforzi di trazione. Bisogna cercare



Allora B deve essere  $\propto \rightarrow a \propto H$

- Diga a forma di un triangolo rettangolo  $\rightarrow$  <sup>triangolo</sup> ~~fondamentali~~ di <sup>di</sup> ~~Paulin~~
- Se si realizza una diga di forma triangolare



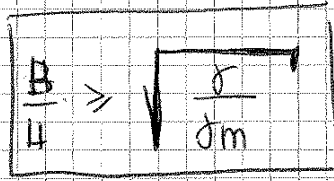
Il peso si dirige  
rispetto al centro  
perpendicolare

~~area~~  $P = \gamma_m B H \left( \frac{1}{3} \right)$

$S = \gamma H \frac{H}{2}$

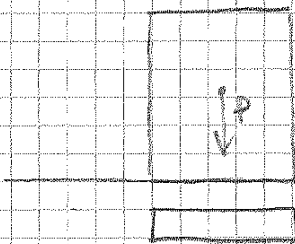
Conseguentemente affinché il nocciuolo è  $\frac{B}{3}$

$$\gamma_m = \frac{B H}{2} \cdot \frac{B}{3} - \gamma \frac{H^2}{2} \frac{H}{3} = 0$$

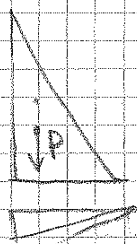


$\frac{B}{4} \gg \frac{S}{\gamma_m}$  è uguale allora  
è equazione

posso usare meno materiale!



$P = \gamma_m B H$



$P = \frac{1}{2} B H \gamma_m$

la sollecitazione  
de viene a scendere  
nel secondo caso  
sulle fondazioni  
è inferiore!

Si usa anche il triangolo di Paulin con il vertice  
al massiccio invece

La diga se riempita

- a sabbia piena
- a sabbia vuota

$$S = \frac{1}{2} \delta H^2$$

$$\downarrow P = \delta \frac{1}{m} BH$$

$$\uparrow S_s = \delta HB \frac{1}{2} \rightarrow \text{maggiore } \frac{1}{2} \delta HB$$

La sottospinta

↑ è instabilizzante, è diretta verso l'alto

X voluto o no sottospinta

$$\frac{\frac{1}{2} \delta H^2}{\delta m \frac{BH}{2} - \delta \frac{BH}{2}} \leq \frac{3}{4}$$

$$\frac{\delta H}{B(\delta m - \delta)} \leq \frac{3}{4}$$

$$\rightarrow \frac{B}{H} \geq \frac{4}{3} \left( \frac{\delta}{\delta m - \delta} \right)$$

~~Equilibrio tra peso di base e sottospinta~~

X voluto o no sottospinta  
 se voluto che devo fare

$$\underbrace{-\frac{1}{2} \delta H^2 \frac{H}{B}}_{S. bs} + \underbrace{\frac{1}{2} BH \frac{B}{B}}_{P. bp} - \underbrace{\frac{1}{2} \delta \frac{B}{B} HB}_{S_s - bss} = \phi$$

$$-\delta H^2 + \delta m B^2 - \delta B^2 = \phi \quad \uparrow \text{ sottospinta}$$

$$-\delta H^2 + B(\delta m - \delta) = 0$$

$$\frac{B}{H} \geq \sqrt{\frac{\delta}{\delta m - \delta}}$$

la base aumenta considerevolmente; la struttura diventa + tozza

è equazione con sottospinta

$B \sim H \rightarrow$  la struttura è tozza se l'angolo anche delle sottospinte

$\Rightarrow$  Eliminate le sottospinte

Questo è vero se la sottospinta. Dato che  $H/B$  sarebbe molto elevato (molto materiale, grosse occupazioni) si potrebbero costruire travi

di acciai come camera di diafragma, tubi forati, che intercettano l'HO che filtra nel la costruzione



$$\frac{B}{H} \geq \frac{5}{3} \frac{\gamma}{\gamma_m - \gamma(x+n)}$$

1<sup>a</sup> condizione

Ancora esse sono la 1<sup>a</sup> equazione più accettabile; può trovare la 2<sup>a</sup> condizione

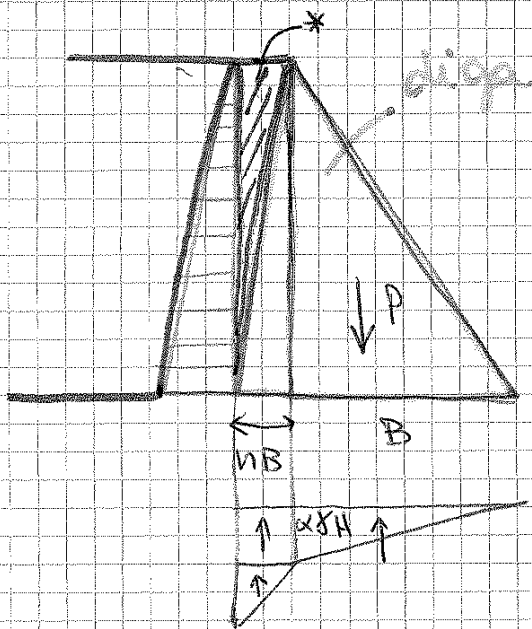
$$\frac{B}{H} \geq \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_m - (n(1-x) + x(2-x))\gamma}}$$

2<sup>a</sup> condizione

La condizione + restrittiva è quella x 10 progetto

Posso garantire la stabilità dello diga riproponendo le strutture più garantendo la stabilità dello diga se  $\sigma_{max} > \sigma_0$  i due

Realmente lo diga si realizza così



- parame. di monte
  - parame. di valle
- consente di sfruttare il liquido sottostante il parame. \*
- $n$  è una frazione di  $B$  ed è costante

$$\frac{B}{H} \geq \frac{4}{3} \frac{\gamma}{\gamma_m - n\gamma}$$

$$\frac{B}{H} \geq \sqrt{\frac{\gamma}{(1-x)(\gamma_m - n\gamma)}}$$

condizioni, la + restrittiva di cui uso x dimensionare  $B$  non  $H$

Si calcola del sistema a  $f_0$

- sulla struttura
- sull'acqua

si sovrappongono gli effetti

Sisma effetto sulla struttura

→ forza verticale

$$F_v = C P$$

sono proporzionali alle forze peso

→ forza orizzontale

$$F_o = m \cdot C P$$

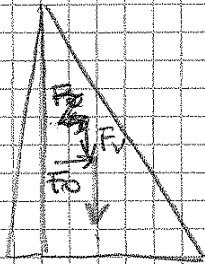
applicato nel baricentro

$$c = \frac{S-2}{100}$$

S grado di similitudine

es  $S=100$  e deve essere una forza pari al 50% del peso proprio

$m \geq 0,5$  deve essere  $\geq 0,5$



Sisma effetto sull'acqua

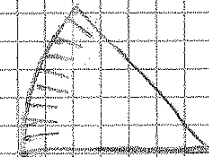
↑ grado di similitudine

La pressione  $P$  è  $f(S, H, \sigma_m)$

↑ grado di similitudine  
↑ parametro di monte

da considerare

due parametri di monte che si sommano alla distribuzione rettangolare



Modello due le superficie deve essere a serbatoio pieno e a serbatoio vuoto

→ A serbatoio vuoto  $P_0$

- peso proprio
- ev. sisma

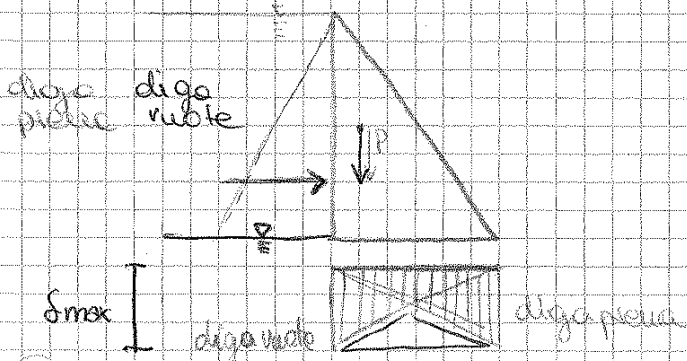
→ A serbatoio pieno ha tutto

X queste 2 condizioni faccio la verifica e scostamento e e

17/12/12

# DIGHE ALLEGGERITE

X la Diga massiccia



$\sigma_{max} \leq \sigma_{amm}$  → max sforzo di compressione che il calcestruzzo possa sostenere

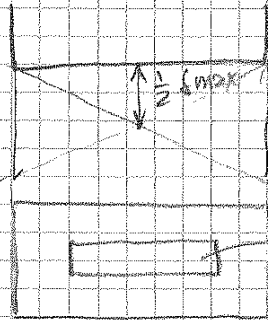
Se  $\sigma_{amm} \uparrow$  (ma seguono le dimensioni)  $\uparrow$  il prezzo

no sia quando la diga è vuota sia quando la diga è piena ho una zona in cui la tensione è minore di quella massima. Ho del calcestruzzo che non viene sfruttato e pieno

$$S = \frac{P}{A}$$

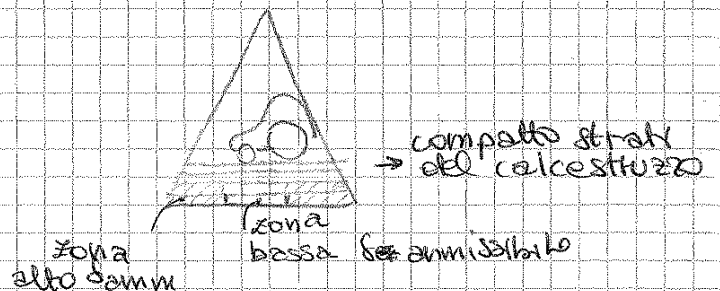
- ove dimezzare l'area con  $S$  costante raddoppiando l'area,  $A$  variabile, possiamo ridurre in  $S = k \cdot A = S_{max}$

Al centro zero meno calcestruzzo



Ad esempio dare lavoro meno dimezzare l'area

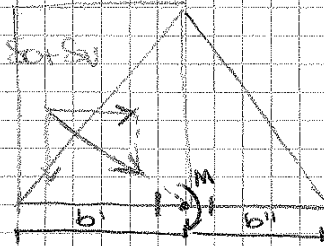
- oppure uso materiali diversi → meno usate. Si usano i materiali con costanti diverse  
RCC Rolled Compacted



$$b' + b'' = B$$

Voglio dire che  $b'$  cade proprio nel terzo medio del centro

↓  
 è come dire cade nel baricentro e si trasmette in egual modo a tutta la base



Se sovrappo le braccia rispetto al punto di applicazione

$$b' + b'' = B$$

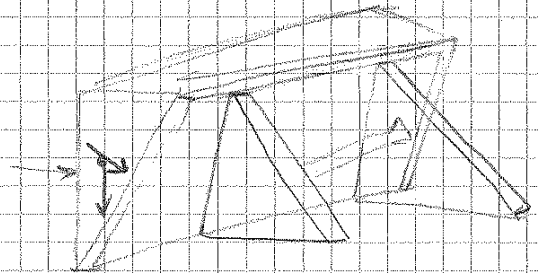
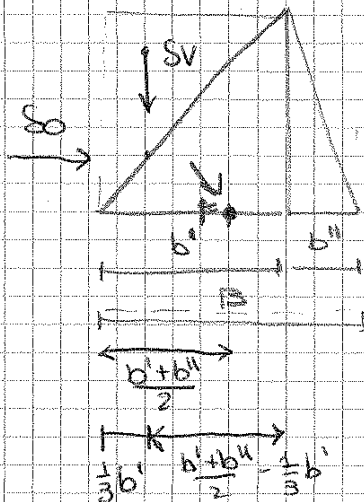
$$S_0 = \frac{1}{3} H = S_v - b_v$$

Posso trovare il valore di  $b_v$

$$b_v = \left( \frac{b' + b''}{2} \right) - \frac{b'}{3}$$

$b'$  è noto da  $S_v$ ,

$$b' = \frac{b' + b''}{2} - \text{pub in cui è applicata la risultante}$$

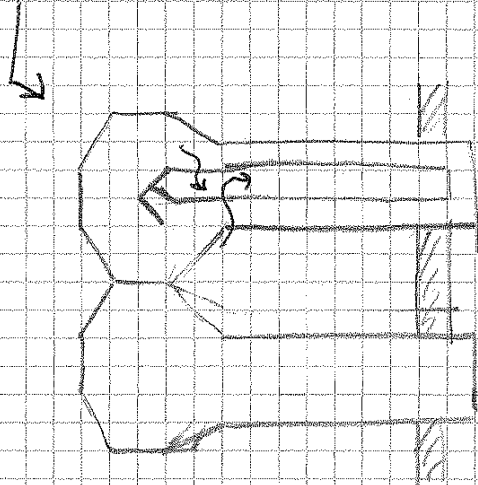


Per poter tenere regolare le zone di deformazione della membrata si possono realizzare dei muri che non hanno struttura fissa strutturale. Si hanno poi altre i contrafforti della trave e stabilizzare i contrafforti, le dighe come quelle

Per realizzare la struttura > realizzare attraverso un cassetto il + semplice possibile tutto il quale si tratta il distacco di cassette sono rampanti (arrampicarmi).

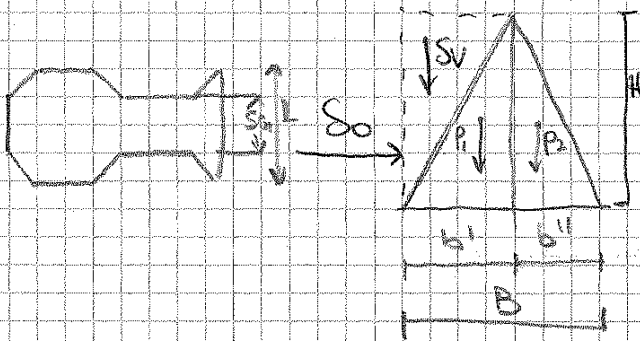
Oggi non si costruiscono tanto xke cresce il costo delle manodopera (è + pericoloso ed è + complesso la <sup>realizzazione</sup> spostamento rote cassette)

Sperone marcello



Il vantaggio della diga a speroni rispetto a quella massiccia in termini di sottospinte è che sono decisamente ridotte xke l'H<sub>2</sub>O può sfogare tra i speroni => non ho sottospinte

Il dimensionamento di una diga a speroni deve essere fatto a modulo: ogni sperone deve essere stabile



Non è a mensola, ha il proprio peso. Il rapporto tra sezione gamba  $0,5 \geq \frac{S_0}{B} \geq 0,25$ . Posso non considerare la sottospinta se  $\frac{S_0}{B} > 0,5!$

$\frac{S_0}{B} = 1 =$  diga massiccia

$\frac{S_0}{B} > 0,25 =$  diga a mensola



# Struttura dell'impianto

(++)

Per un impianto idroelettrico ho

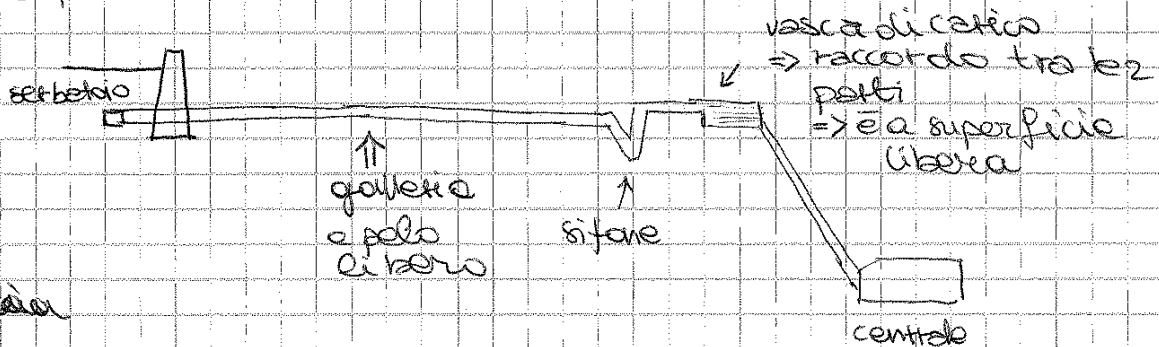
- opere di derivazione
- ~~bacino~~ traversa - sbarramento
- opere di presa
- ~~con~~ opere di adduzione
- opere centrali
- opere di scarico

dello scarico

Quando salto e distanza dalla presa sono notevoli l'adduzione si divide in 2 parti (in condizioni particolari di salto può mancare 1<sup>a</sup> o 2<sup>a</sup> parte o entrambe).

- 1<sup>a</sup> parte a bassa pendenza => Galleria
- 2<sup>a</sup> parte alimenta il suo cammino nella via + breve possibile

Ad esempio



Galleria

adduzione può essere

- a pelo libero → impiegati nelle applicazioni senza regolazione
- ~~perdite inferiori~~: a parità di sezione liquida ammette un contatto bagnato minore e raggio medio più grande: posso ridurre la sezione man mano
- in  $\exists$  i problemi statici imposti dall'acqua in pressione e dunque il costo dell'opera è + basso
- la pendenza della condotta è vincolata = pendenza naturale

si perde un eventuale battente d'acqua in corrispondenza della presa e non si può essere il corso creato dalle dighe di sbarramento.



- sul 2° tronco si hanno benefici in quanto
- nel pozzo piezom. la pressione resta costante

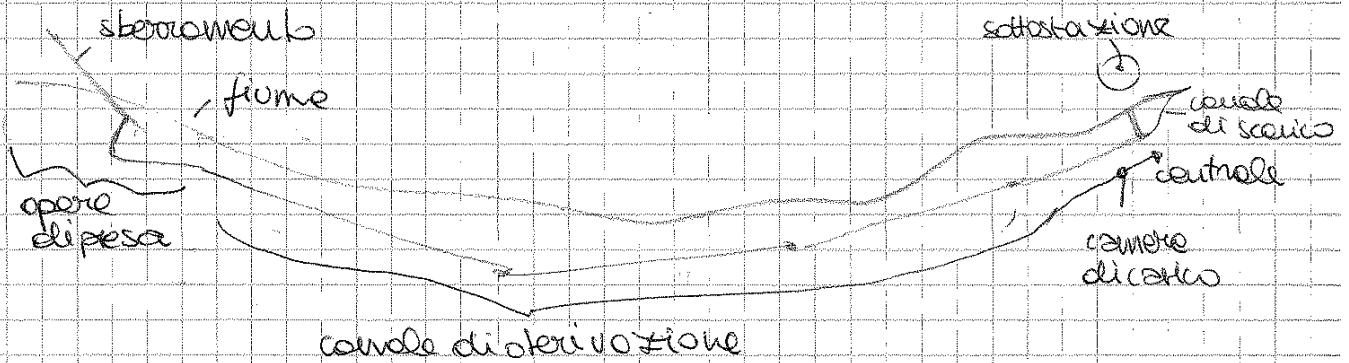
Gli impianti ad H<sub>2</sub>O fluente si realizzano in punti cui canale adduttore o polo libero con semplice vasca di carico terminale la regolazione è affidata ad altre centrali interconnesse

Domanda:

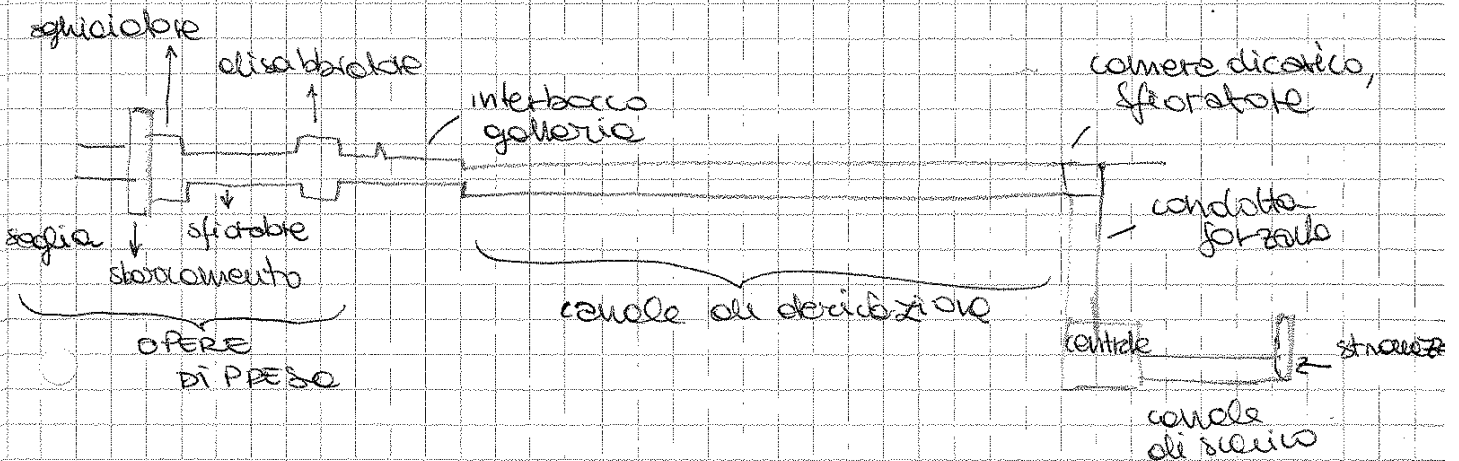
gli impianti in pressione hanno vasca di carico?

→ xko hanno anche il pozzo

### Schema planimetrico impianto

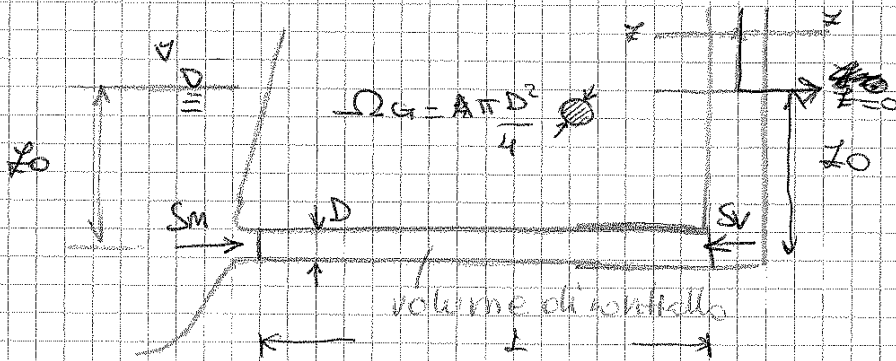


### Profilo schematico





Dimensionamento del pezzo piezometrico - o vasche di oscillazione



Fornisce il bilancio energetico sul volume di controllo

$$S_m = \delta z_0 \cdot Q_G$$

$$S_v = \delta(z_0 + z) \cdot Q_G = \delta \frac{dz}{dt} \cdot V$$

$$S_m - S_v = V \cdot \rho \frac{dz}{dt} = Q_G L \cdot \rho \frac{dz}{dt}$$

Ora con le oscillazioni di massa il liquido si sposta tutto insieme (non è come nel caso obliquo che si frena a priori) x continuità.

$$\delta z_0 \cdot Q_G - \delta(z_0 + z) \cdot Q_G = -Q_G L \cdot \rho \frac{dz}{dt}$$

$$\boxed{+g z + L \frac{dz}{dt} = 0} \quad \text{1}^a \text{ equazione}$$

È una eq in z oscillatori

$$u \rightarrow \text{varia nel tempo} = Q \sqrt{Lg}$$

$$z \rightarrow \text{ " " " "}$$

$$u = \frac{Q}{\sqrt{Lg}} = \frac{Q \sqrt{Lg}}{Lg}$$

all'interno del pezzo il volume di liquido è

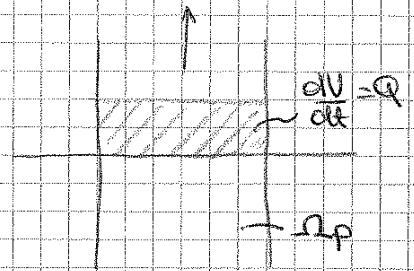
$$V = \Omega p z \rightarrow \frac{dV}{dt} = Q = \Omega p \cdot \frac{dz}{dt}$$

Sostituendo

$$g z + L \frac{dQ}{dt} = g z + \frac{L}{\Omega g} \Omega p \frac{d^2 z}{dt^2}$$

$$z + \frac{L}{g} \frac{\Omega p}{\Omega} \frac{d^2 z}{dt^2} = 0$$

è l'eq. di una oscillazione



Pezzo!

[m]

[t tempo]

• Per  $t=0$   $z=0$   $B=\phi$

$Q = \rho g \bar{U}$   $\rightarrow$  velocità media entro la galleria

$Q = \rho p \frac{dz}{dt}$

Per  $t=0$   $Q=Q_0$

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

$Q_0 = A \cdot \frac{2\pi}{T} \rho p_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \rightarrow$  cos della tre  $\pm A$

$A = \frac{Q_0}{\frac{2\pi}{T}} \sqrt{\frac{L}{g} \frac{\rho p'}{\rho g}} \cdot \frac{1}{\rho p}$

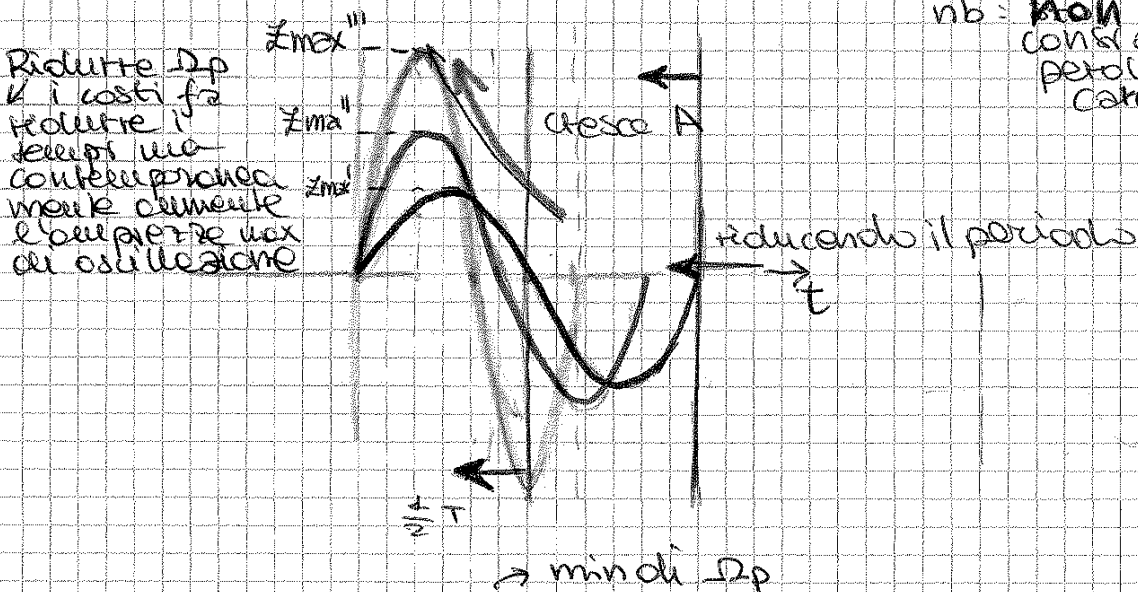
$= \frac{Q_0}{2\pi} \sqrt{\frac{L \cdot 1}{g \rho g \rho p}} = z_{max}$

per  $t=0$   $Q=Q_0$   
 $\cos\left(\frac{2\pi}{T} 0\right) = 1$

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

$z_{max} = A$   
 $z_{min} = -A$

Per ridurre il periodo devo avere  $L$  + piccolo  
 ma + lo riduco + sale l'ampiezza  $A$



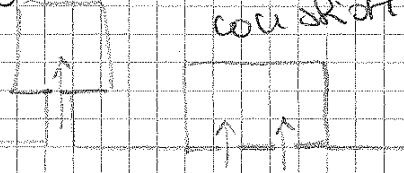
Il valore max di  $z$  inoltre è definito dalla concorrenza  
 nb: opere su  $Dp$  piccolo serve da ne avere

Si dividono

- pozzi semplici → cilindrici
- pozzi con vasca di espansione
- pozzi con strozzatura



ho perdite che intervengono solo in presenza di moto d'onda



camera superiore

sf

camera inferiore

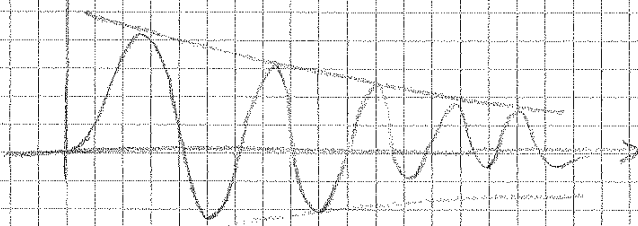
(lower chamber)

combinati eventualmente con sf

Le camere inferiori sono realizzate e spesse in modo che l'acqua non abbia una via di fuga

strozzatura → per perdere energia ed e per smorzare velocemente le oscillazioni

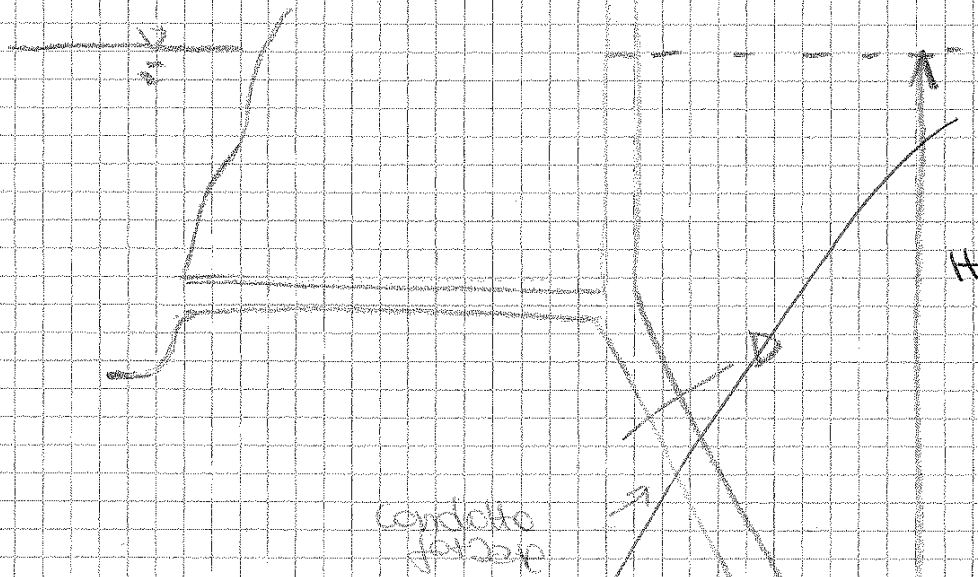
A causa della ~~superficie~~ dissipazione di ~~oscillazioni~~



- realizzando il sistema + acqua ho smorzamento una perdita di energia anche in condizioni ordinarie. X questo si perdono energia solo nel pozzo con la strozzatura



# Condolte forzate



Trascurando le perdite

$$P = \int Q H$$

potenziamento

$$\text{Epotenziale} = \int_0^T \int Q H dt = \int \bar{Q} H \text{ Totilizzo}$$

$$\text{Ricarico potenziale} = \int \bar{Q} H \frac{T_{\text{utilizzo}}}{T_{\text{tot}}} \cdot C_e \quad C_e = \left[ \frac{E}{m \cdot w} \right]$$

Hp:

$\Delta H_{GA} \approx 0 \rightarrow$  considero nulle le perdite rispetto a quelle in condotta forzata

Si fanno le gallerie grosse che sono scavate.

Quanto deve essere grosso il diametro? ~~scava~~

$$D \rightarrow \infty \quad \Delta H = B \frac{Q^2}{D^5} = \phi \quad P = P_{\text{potenziale}}$$

$\Delta H$  è il diametro  $\rightarrow$  è il costo ma  $<$  sono le perdite

$$\text{Se } D = \text{cost} \quad \text{La perdita di carico } B \frac{Q^2}{D^5} L = \Delta H_{\text{cf}}$$



$$massa = volume \times densità = \rho \, dV = \rho \, dS \, dl$$

la forza  $\cdot dt = impulso$

crego una relazione che mi dice quanto varia la pressione

$$\rightarrow \Delta p = \rho \left( \frac{ds}{dt} \right) \cdot v_0$$

sovrappressione + un  
cristallizzazione

↳ velocità  $a$

$$\Delta h = a \frac{v_0}{g}$$

la riduzione di carico  
⇒ SOVRACCARICO x chiusura  
istantanea\*

debito ← prima di operare lo var. di chiusura

$$a = 1000 \frac{m}{s} \rightarrow \text{è tanto elastica quanto + la condotta è ripida}$$

⇒  $V \neq \frac{m}{s}$  di velocità ho un sovraccarico = 100 m

se ho  $3 \frac{m}{s}$  con sovraccarico di 300 m!

Il fenomeno deve essere tollerato dalle strutture

\* tempi di chiusura "breui" ↓

se la chiusura avviene in tempi < di un tempo di fase della condotta gli effetti sono questi (istantanei)

$$\text{tempo di chiusura} < \text{tempo di fase della condotta}$$

⇓  
chiusura brusca



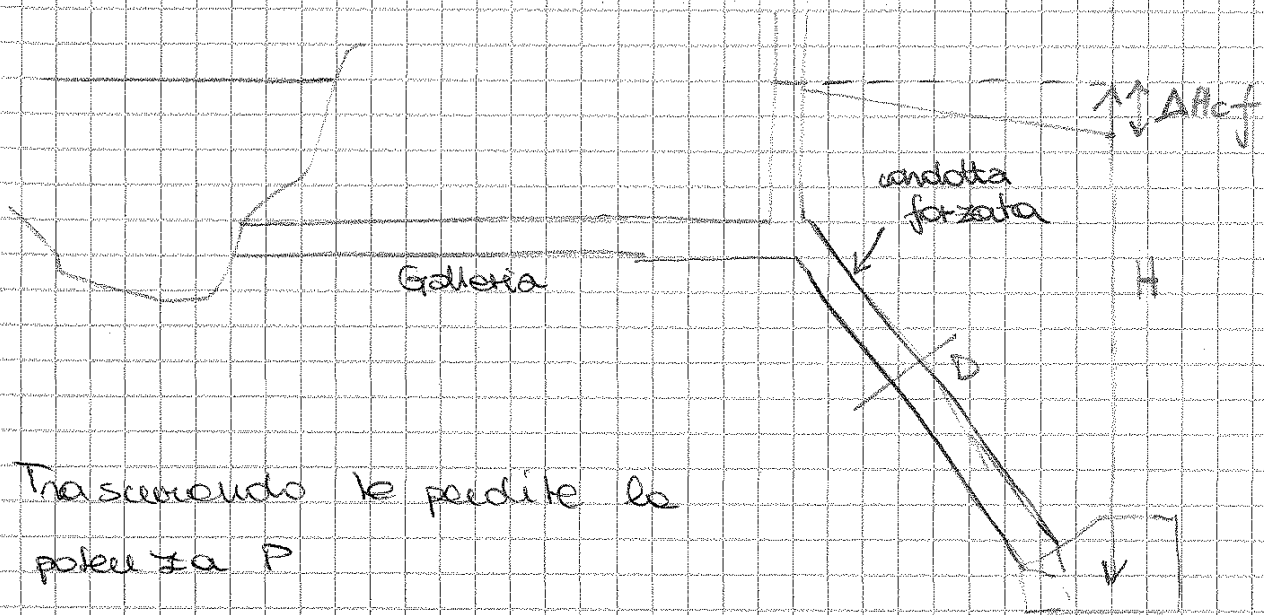
$$\Delta p = \rho \frac{ds}{dt} = \rho a v_0$$

Il tempo di fase della condotta è il tempo che impiega la turbolenza elastica a evolversi dalla ~~impulso~~ <sup>zona cinetica (turbolenza)</sup> a monte e tornare indietro fino al logo

→ se la condotta è uguale a 1

$$\frac{2L}{a} = \text{tempo di fase della condotta}$$

da ~~10/10/10~~



Trascurando le perdite la potenza è  $P$

$$P_{potenziale} = \rho \cdot Q \cdot H$$

La corrispondente energia producibile è

$$E_{potenziale} = \int_0^T \rho Q H dt = \rho \bar{Q} H T_{util} \neq 0$$

Il conseguente ricavo potenziale è

$$R_{potenziale} = \rho \bar{Q} H T_{ut} \cdot C_e$$

↓  
[€/MWh]

Se si considerano i termini di perdita

$\Delta H_{galleria} \geq 0 \Rightarrow$  diametri molto elevati, sono scovate  $D_{min} = 2m$   
 $\Rightarrow$  piccole e spesso alla perdita in condotta forzata

$$\Delta H_{condotta\ forzata} = \beta \frac{Q^2}{D^5} L = c \quad \text{per } D = k \cdot \text{cost}$$

$\uparrow D$  si riducono le perdite

•  $D \rightarrow \infty \quad \Delta H_{cf} = 0 \quad P = P_{potenziale}$

Naturalmente al crescere del diametro aumentano i costi  
 $\exists$  una soluzione di compromesso tra costi di gestione e costi di installazione

Riferendosi ad una portata media

le perdite di carico

costante che ingloba i fattori

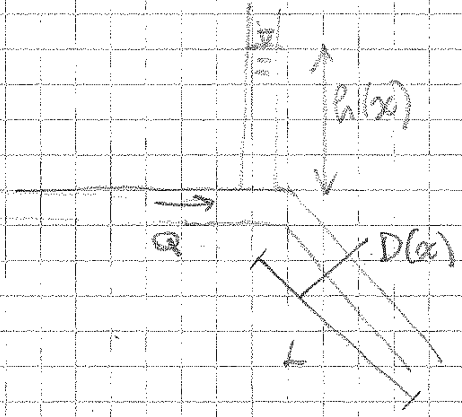
$$\Delta R = \int_0^L i(x) \cdot dx \cdot C_1 = C_1 \int_0^L \frac{\beta Q^2}{D(x)^5} dx$$

Il costo della condotta forzata per unità di lunghezza  $\bar{c}$

$$C_{cf} = C_2 \cdot \pi D \cdot \delta$$

↳ costante che ingloba i fattori

Per la formula di Mariotte la pressione sulla tubazione



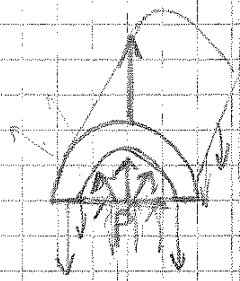
$$P(x) = \rho \cdot h(x)$$

la tensione circostante

$$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot K}$$

$$\sigma_{amm} \cdot S = D(x) \cdot \rho \cdot h(x)$$

Allora la sezione  $S$  sarà



$$S = D(x) \cdot h(x) \cdot \frac{\rho}{2 \sigma_{amm}}$$

$\sigma_{amm}$  → tipico per un materiale

Il costo totale della condotta forzata  $\bar{c}$

$$C_{cf} = \int_0^L C_3 D^2(x) h(x) dx$$

C<sub>3</sub> ingloba  $\rho$  e  $\sigma$

$$C_{tot} = \Delta R + C_{tot} cf = C_1 \int_0^L \frac{\beta Q^2}{D(x)^5} dx + C_3 \int_0^L D^2(x) h(x) dx$$

Se il diametro è costante a tutti:

$$C_{tot} = C_4 \frac{Q^2}{D^5} L + C_3 D^2 \int_0^L h(x) dx$$

Derivando costo totale rispetto al diametro ed eguagliandolo a zero

$$\frac{dC_{tot}}{dD} = C_5 \frac{Q^2}{D^6} L + C_6 D(x) \int_0^L h(x) dx = 0$$

7/1/13



# TRAVERSE FLUVIALI

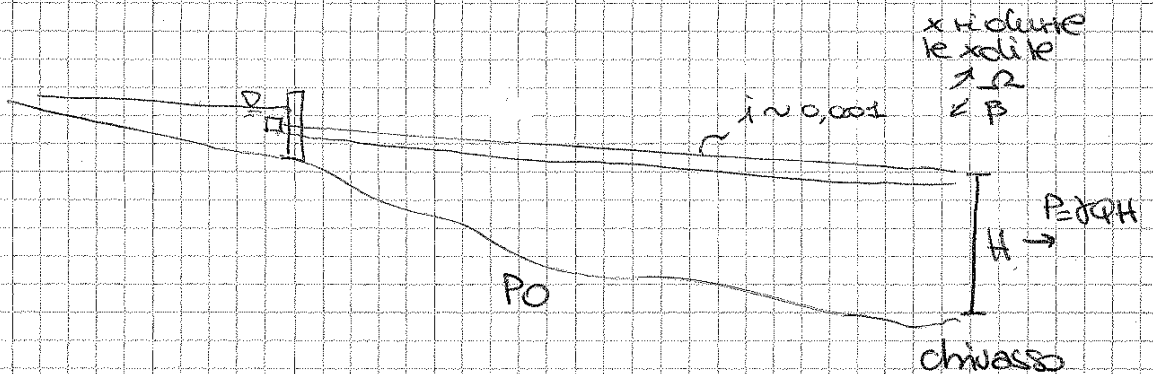
Per andare creare un grosso imbaso in // c'è sono una serie di impianti che non servono x immagazzinare H<sub>2</sub>O ma servono x realizzare un rifurgito, ~~altro~~ sovraincasso

sette ↓

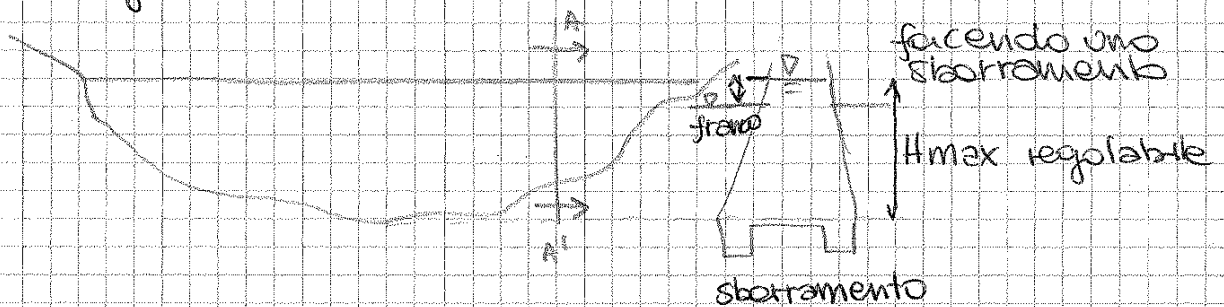
- aumentare il carico a monte

- porre la presa ad una altezza superiore

↓  
alzo il battente anche in un t.c.o con para H<sub>2</sub>O



Se il fiume con letto —



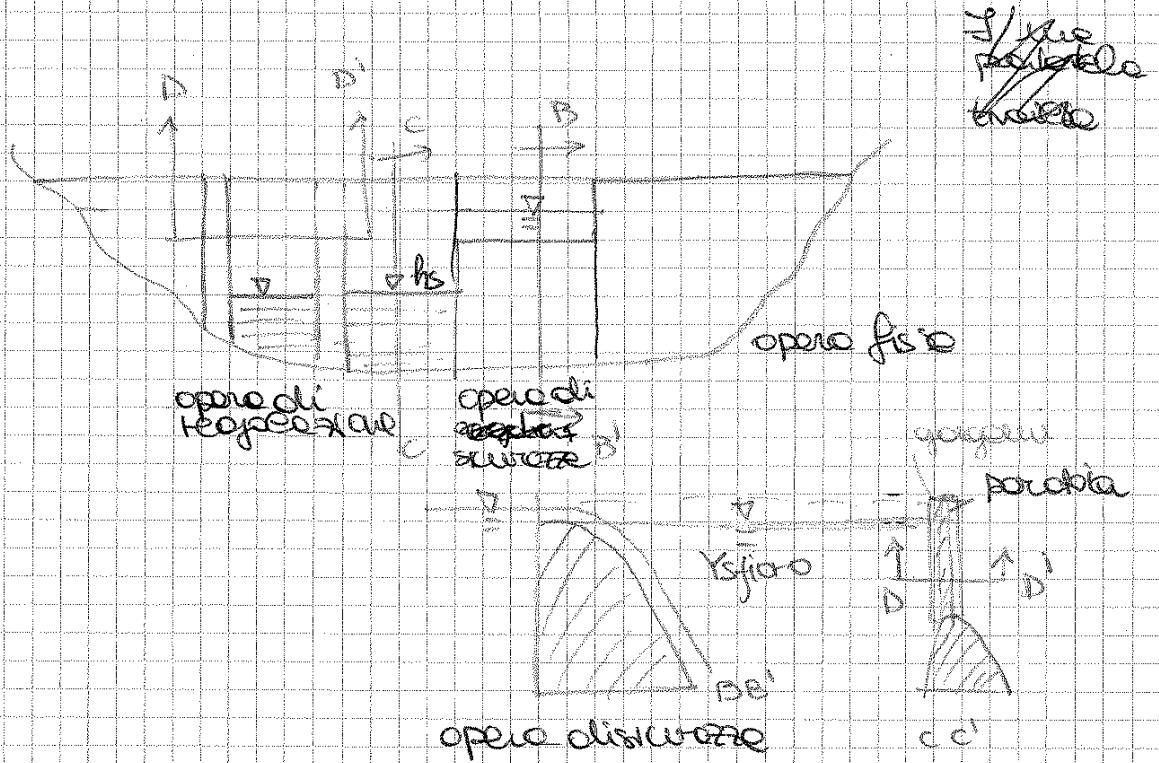
Se nelle zzo



~~Se non fosse~~

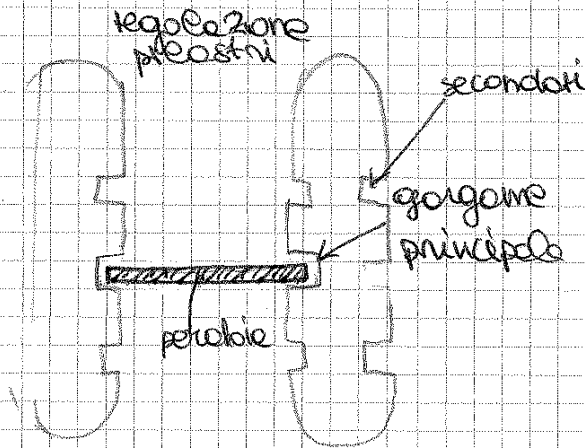
Si possono realizzare spioni. Ho

- un'opera non sormontabile (origine)
- un' " sormontabile (diga)



Ho poi un'opera di regolazione, operando la parabolic  
~~non faccio aprire~~ <sup>possibile</sup> il fluido

Regolazione sezione D D'



Gorgoni = fessure in  
un vero allato  
le parabolic

nei gorgoni secondarie  
si possono sfruttare x  
fare un'energia



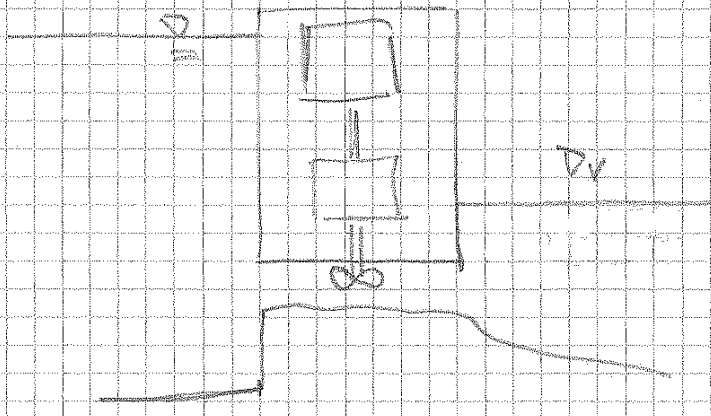
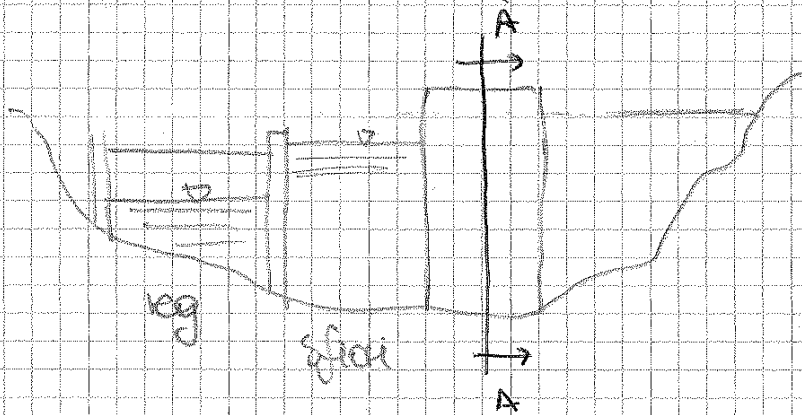
Modello x sezione circolare.



Puo' accadere che nei grandi fiumi che

- opera alte
- molto Q

si può turbare all'incubo dell'opera. Si aggiunge  
le zone di salto macchine



## Dimensionamento della condotta forzata di un impianto idroelettrico

L'impianto che si considera è un impianto a serbatoio, in cui il serbatoio è già dimensionato/costruito lo schema di interesse prevede

- galleria di deviazione
- condotta forzata
- posto piezometrico

Il dimensionamento della condotta forzata con la definizione del diametro ottimale si ottiene con il metodo VAN (Valore Attuale Netto).

Il VAN valuta la redditività di un investimento

La valutazione degli investimenti verifica se un investimento è vantaggioso o meno e si basa su:

- FLUSSI DI CASSA: stima di future entrate ed uscite (costi) connessi all'investimento

- TEMPO  $\rightarrow$  è il tempo che impiegano le risorse finanziarie investite in un progetto a tornare minori rispetto ai benefici

Si deve prendere in considerazione e scegliere il TASSO DI INTERESSE al quale si attualizzano i flussi finanziari

Il tasso di interesse rappresenta il costo del capitale

Il criterio del VAN = Entrate attualizzate - Uscite attualizzate  $\rightarrow$  riferite cioè allo stesso istante di tempo

Se un investimento ha

$VAN > 0 \Rightarrow$  conveniente

$VAN_{max}$  è il + conveniente!

Il VAN è il valore complessivo di una serie di flussi di cassa applicando l'attualizzazione sullo stesso tasso di rendimento

D: variabile di progetto → noto Q si ipotizzano una serie di valori di D interno della condotta assunto costante in tutta la lunghezza

Considero velocità massima in condotta es  $v_{max} = 5 \frac{m}{s}$  in maniera tale che

- si limitano le spinte in curva
- limitare l'abrasione da parte del trasporto solido

Allora

$Q = v \cdot Area$

$Area = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}} = D$

$D = \sqrt{\frac{4,5 \cdot 4}{5 \cdot \pi}} = 1,07$

Se faccio variare il  $\pi$  ottengono diversi valori di diametro, o meglio variando il diametro si ottengono diversi valori di velocità

$[\frac{m^3}{s}]$ Q	D [m]	v [m/s]	
4,5	1,07	5,00	Se D ↑ v ↓
	1,20	3,98	
	⋮		
	3,00	0,64	

velocità inferiori a 0,64 non sono auspicabili per deposito di natura solida in galleria

✓ coppia D, velocità solute e non

Per il calcolo dello spessore si assume che

$\delta$  costante a tratti

$\delta$  per ciascun tratto calcolato per  $e$  estremo + sfavorevole

$\delta \geq 10 \text{ mm}$

Con

$$h(x) = \text{carico idraulico nelle condizioni di funzionamento} + \text{carico statico dovuto al colpo d'ariete}$$

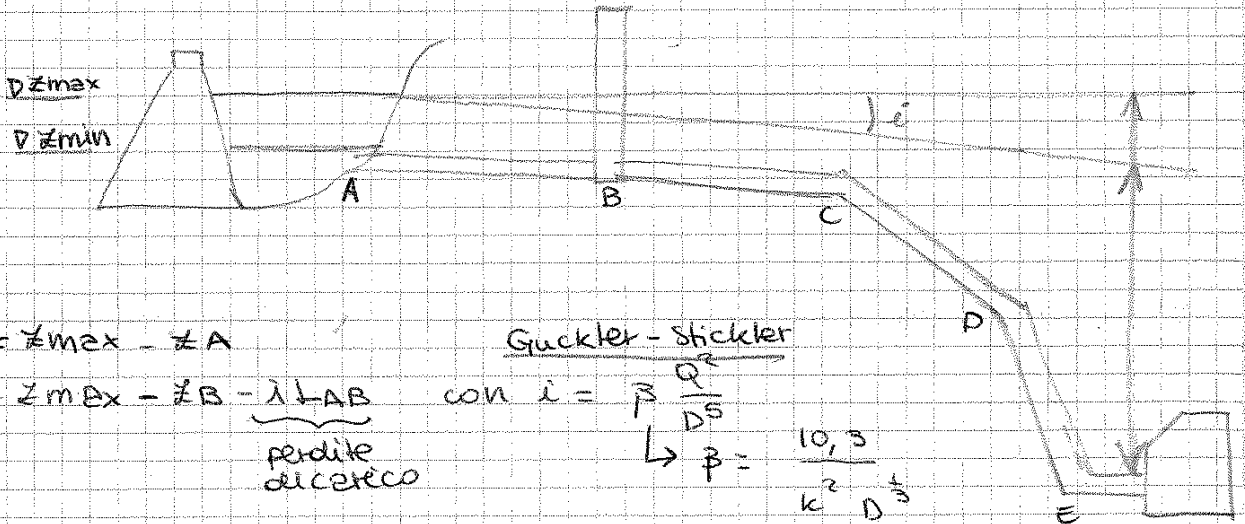
1° - quota massimo inverso

1° - condotta morta

2° - chiusura brusca della valvola di alimentazione

### Carico idraulico

Il carico nel punto A



$$h_{xA} = Z_{max} - z_A$$

$$h_{xB} = Z_{max} - z_B - \underbrace{\lambda L_{AB}}_{\text{perdite di carico}}$$

Guckler - Sticker

$$\text{con } i = \beta \frac{Q^2}{D^5}$$

$$\beta = \frac{10,3}{k^2 D^{1/3}}$$

↑ scabrezza

$$h_C = Z_{max} - z_C + i_{BC} L_{BC} + i_{AB} L_{AB}$$

$$= h_B + z_B - z_C - i_{BC} L_{BC}$$

Nel punto E

$$h_e = (Z_{max} - z_e)$$

in condizioni statiche

$$h_e = Z_{max} - z_e - iL$$

in condizioni dinamiche

Al crescere del carico  $h$  si riduce