

# Opere idrauliche

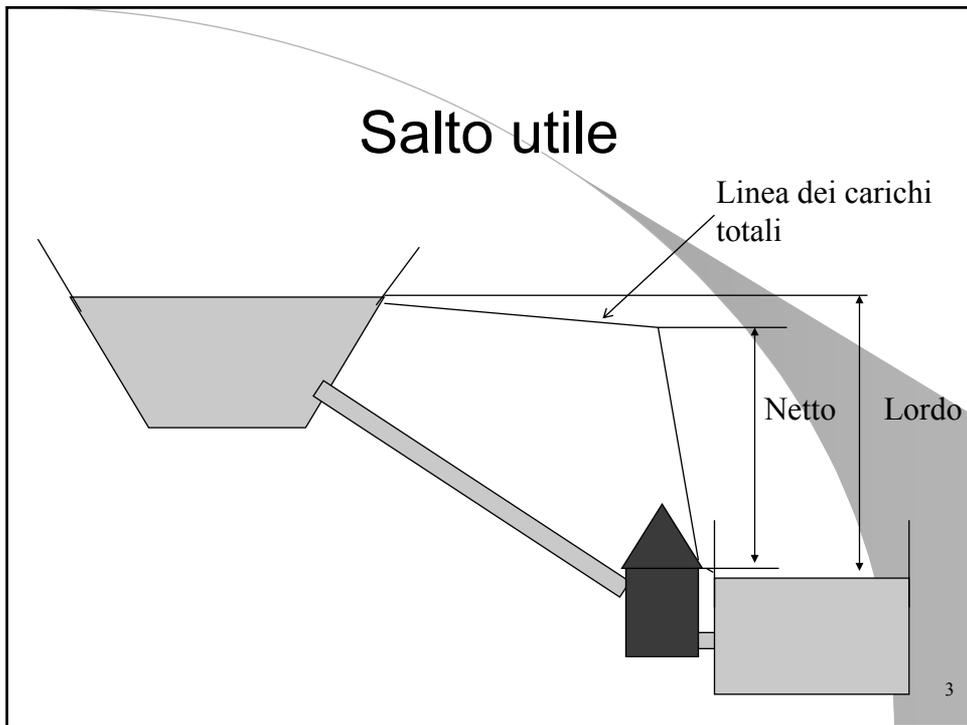
Alberto Berizzi,  
Dipartimento di Elettrotecnica  
Politecnico di Milano

1

# Impianto idroelettrico

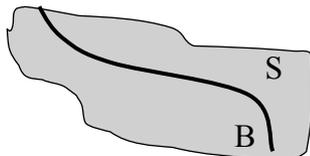
- Permette di sfruttare un salto e una portata per azionare un motore idraulico (turbina), il quale mette in rotazione una macchina elettrica per la produzione di energia elettrica
- Salto utile lordo: differenza tra le quote
- Salto utile netto: differenza fra il carico totale all'ingresso e all'uscita della turbina

2



## Grandezze idrauliche

Portata massima derivabile [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]: la massima portata erogabile da tutte le macchine in centrale, contemporaneamente. Serve per il dimensionamento delle opere idrauliche



Dato il bacino imbrifero  $S$ , e  $h_p$ , altezza delle precipitazioni,  $Sh_p$  è l'afflusso  $A$  [ $\text{m}^3$ ]

A causa dell'evaporazione, filtraggio e altro, il deflusso utilizzabile [ $\text{m}^3$ ] nella sezione B è minore di A:

$$D=CA$$

( $C$ =coeff. di deflusso: 0.1 in Sicilia, 0.98 nel bacino dell'Adda)

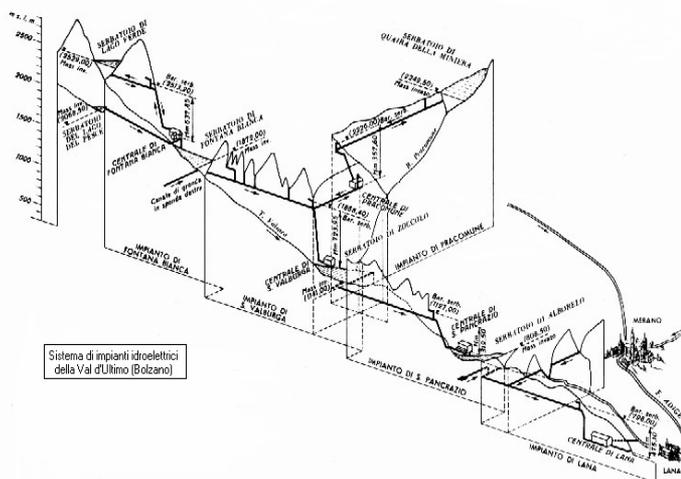
Capacità utile  $C_u$  di un bacino: volume compreso tra la minima e la massima quota di ritenuta

# Grandezze elettriche

- Potenza di concessione: potenza idraulica media teoricamente disponibile
- Potenza effettiva:  $P_e [\text{kW}] = 9.81 \eta_c \eta_t \eta_g QH$   
dove  $\eta = \eta_c \eta_t \eta_g \approx 0.8$
- Energia teorica in un anno:  
 $E_t [\text{kWh}] = DH/367$
- Producibilità:  $E_t$  per il rendimento  $\eta$
- Energia accumulata nel serbatoio di capacità  $C_u$ :  
 $E_a [\text{kWh}] = \eta C_u H_u / 367$

5

# Elementi di un impianto idroelettrico

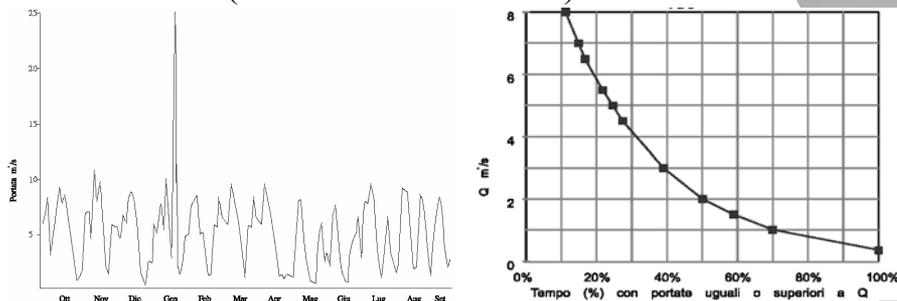


Captazione e presa  
Derivazione  
Condotte  
Centrali  
Restituzione

6

# Valutazione della portata

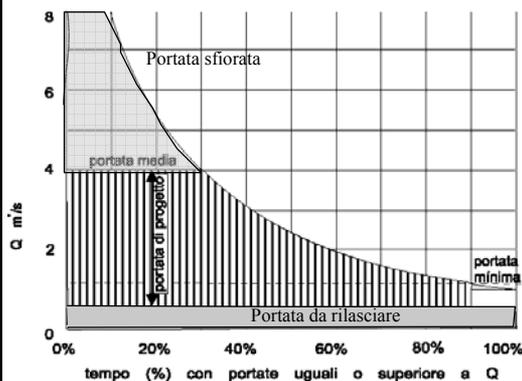
- misurazione delle portate:
  - sezione (trapezi) x velocità (mulinelli o misuratori elettromagnetici)
  - diluizione di soluto nella corrente
  - stramazzo
- idrogramma (portata in funzione del tempo)
- FDC (*Flow Duration Curve*)



7

# Valutazione della producibilità

- Misurazione del salto lordo: metodi topografici
- Stima del salto netto: stima di tutte le perdite
- Deflusso minimo vitale



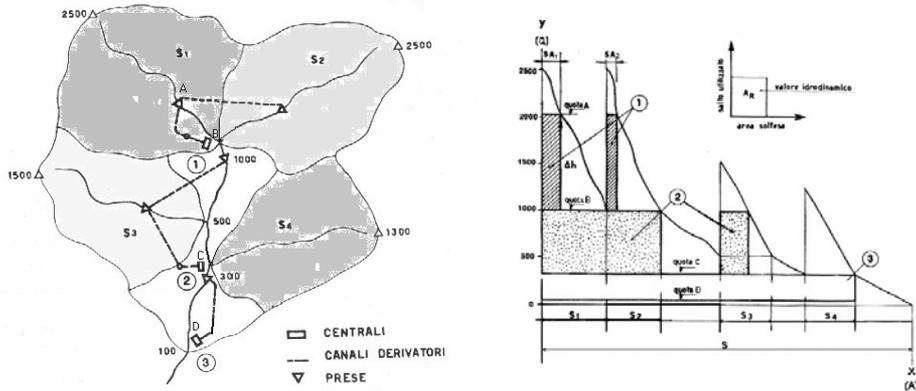
## Massimo tornaconto economico

Tipo di turbina	$Q_{min}$ (% di $Q_{max}$ )
Francis a spirale	30
Francis in camera libera	30
Semi Kaplan	30
Kaplan	20
Cross Flow	15
Pelton	10
Turgo	10
Elica	65

□ portata ecologica    ▨ area utile

8

# Impianti complessi: curva idrodinamica



9

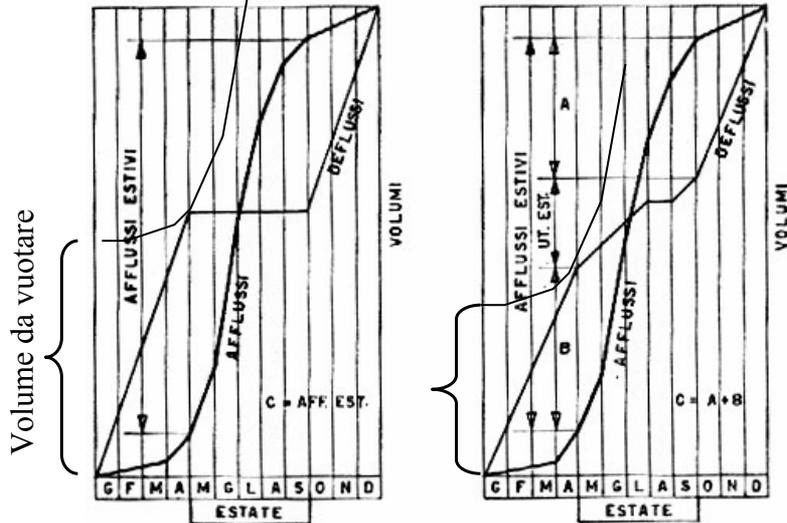
## Acqua fluente

- Il dimensionamento consiste nella sola scelta della portata massima derivabile, che determina il costo di tutte le opere idrauliche e elettromeccaniche
- Tale scelta è tecnico-economica (diversi progetti da valutare)

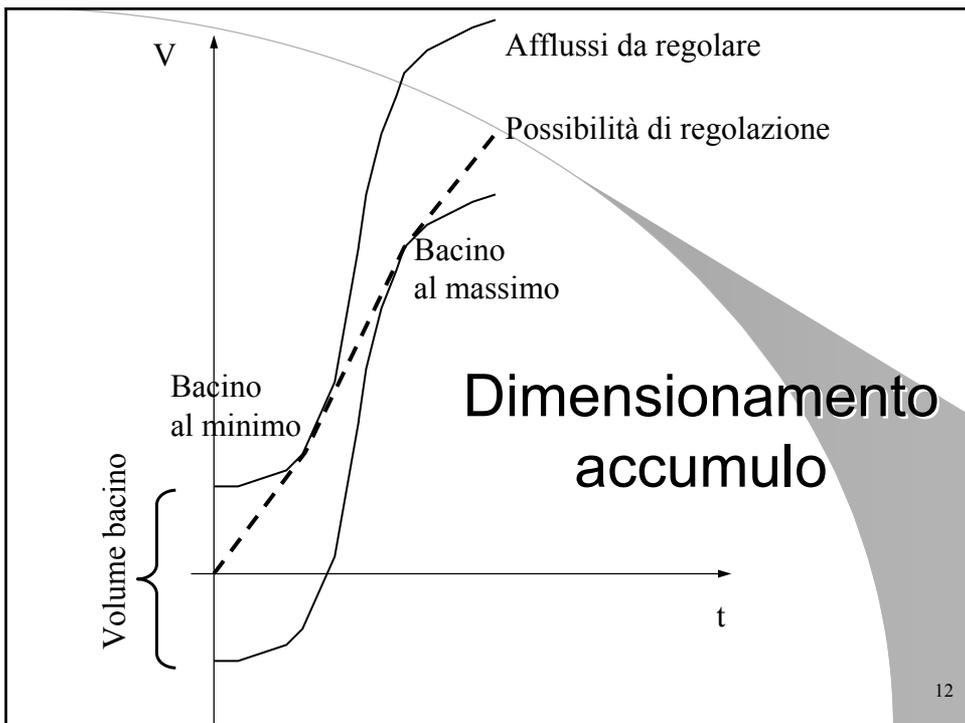
10

# Accumulo

- Le portate superiori alla pmd sono utilizzabili solo in presenza di accumulo, che bisogna dimensionare opportunamente

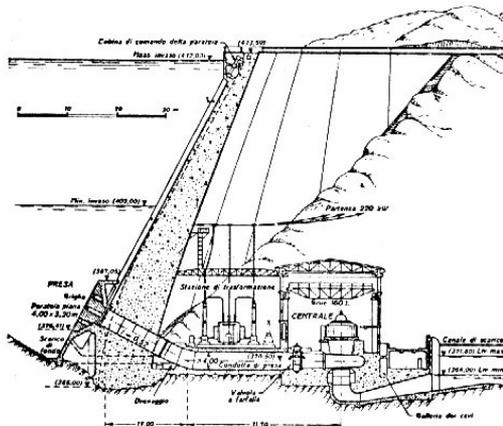


11



12

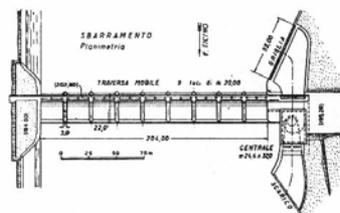
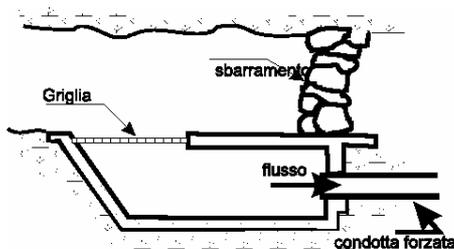
## Impianti connessi a dighe di ritenuta



- Impianto semplice
- La centrale può essere incorporata nella diga
- Il salto è creato dalla diga (max circa 100 m)

13

## Impianti fluviali senza canale derivatore

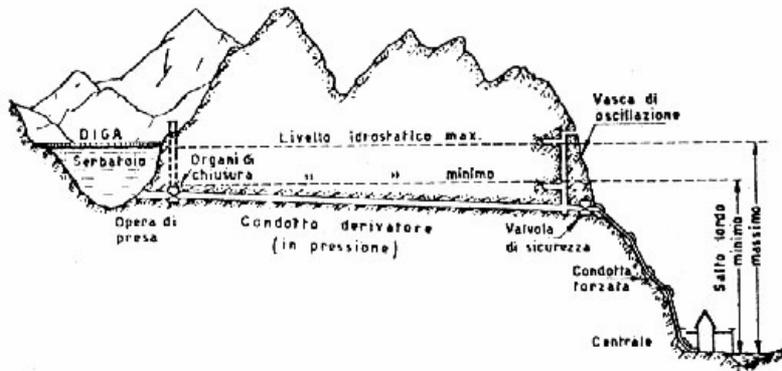


- A acqua fluente
- Salto funzione del rigurgito a monte
- Problema delle onde per distacco carico



14

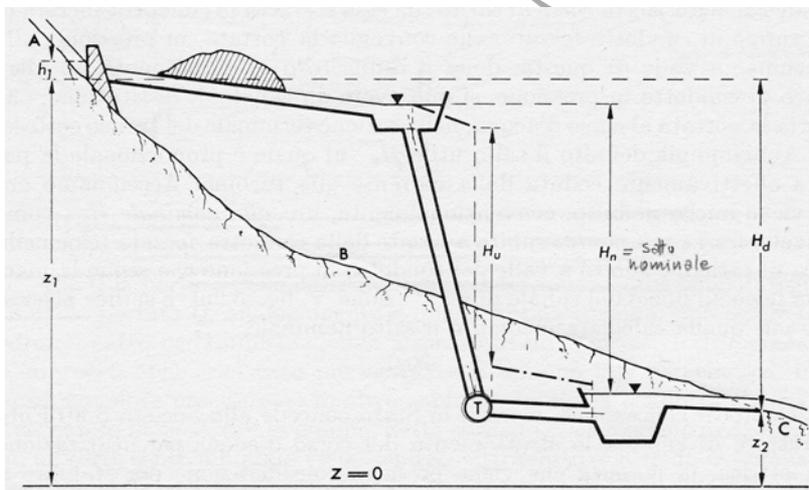
# Impianto con bacino, canale e condotta forzata



- Con canale a pelo libero
- Con galleria in pressione

15

# Carichi idraulici di un impianto



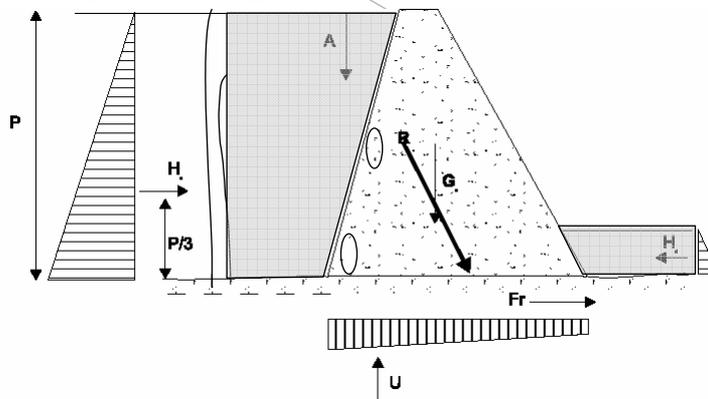
16

# Dighe

- in terra
- a scogliera
- in muratura a secco
- a gravità massiccia
- a gravità alleggerita
- a contrafforti
- a arco

17

## Dighe a gravità massiccia



Per evitare il ribaltamento, la risultante deve cadere nel terzo mediano

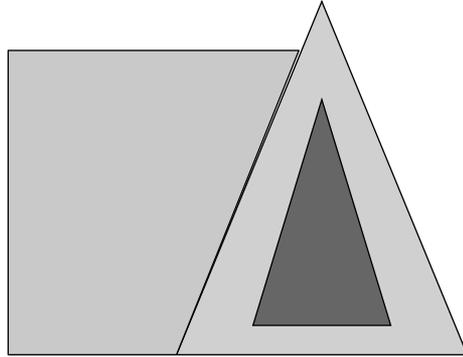
All'interno della diga ci sono canne di drenaggio e gallerie di ispezione

18

# Dighe a gravità alleggerita

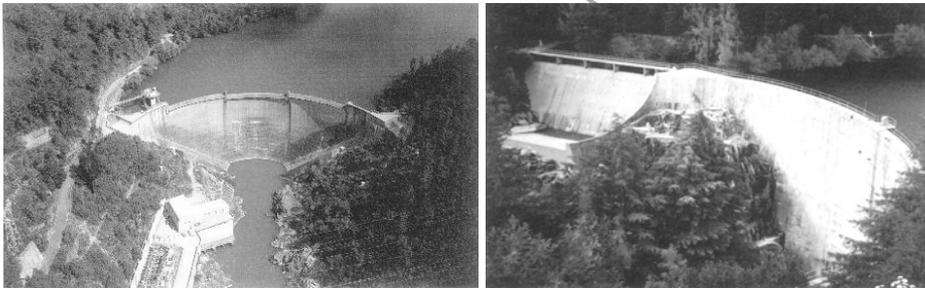
La struttura è molto alleggerita (cambio forma, per avere anche un contributo verticale dell'acqua)

Le infiltrazioni hanno meno effetto



19

# Dighe a arco



La forma a arco scarica sulle pareti rocciose laterali la pressione  
Sono adatte a imbocchi stretti e con roccia sana

20

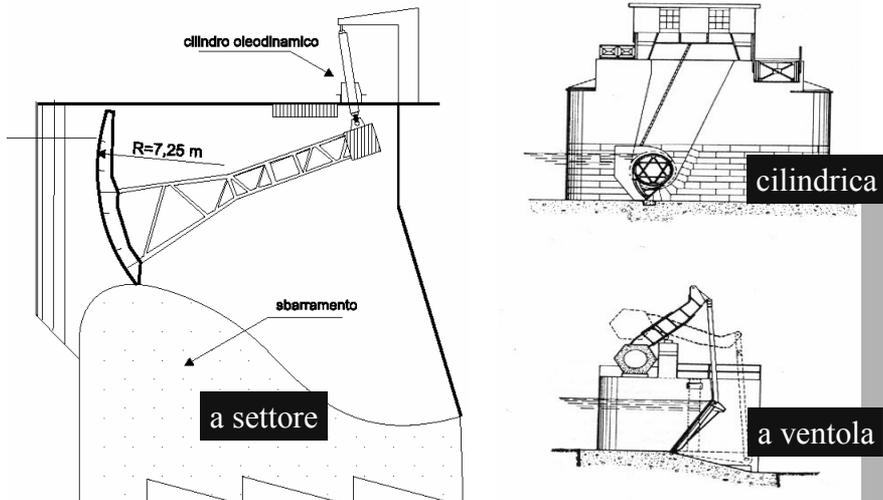
# Opere di scarico

- Sfioratori di superficie
  - a ciglio fisso
  - a sifone
  - a paratoie
- Scarico di alleggerimento, per contribuire in casi eccezionali allo svuotamento del serbatoio
- Scarico di fondo, alla quota minima
- Deve sempre essere previsto il comando manuale, con organi di chiusura ridondati

21

# Traverse fluviali

Creano un rigurgito a monte per derivare parte dell'acqua



22

# Presas



23

# Presas



24

# Canale a pelo libero

- Non si presta a essere abbinato a un grande bacino, perché si perde la parte di salto tra il massimo e minimo invaso (alla cui quota devono essere installate le opere di presa)
- Opere di presa con sghiaiatori e dissabbiatori
- Non adatto a rapide e significative variazioni di portata (no servizio di punta)
- Termina nella vasca di carico, ove ha inizio la condotta forzata
- Si possono avere perdite di portata
- Le velocità sono circa 1.5-3 m/s, pendenza tra 0.2-1 m per km di lunghezza
- Scelta del rivestimento
- Frane, percorso del canale (difficoltà realizzative)

25

# Canali a pelo libero



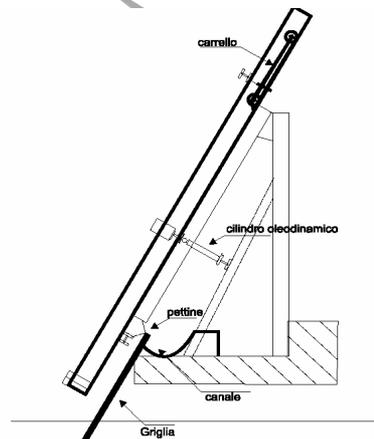
26

# Vasca di decantazione



27

# Sgrigliatore



28

## Bacino di carico

- Ripartisce la portata fra le condotte
- Smorza le oscillazioni
- Deve essere dotato di
  - scarico di fondo
  - scarico di superficie
- Può consentire la regolazione giornaliera

29

## Bacino di carico



30

## Galleria in pressione

- Pieno sfruttamento del salto (fino al massimo invaso)
- Debole pendenza (qualche m per km)
- Termina al pozzo piezometrico (eventualmente con camere di oscillazione)
- Può ricevere contributi di altri affluenti
- La portata e la velocità dipendono esclusivamente dal carico idraulico (da dieci a centinaia di metri) e dall'apertura della turbina

31

## Vasca di oscillazione e pozzo piezometrico

- In caso di colpo d'ariete disaccoppia il canale dalla condotta
  - riduce i tempi critici di chiusura
  - di solito si considera:
    - il distacco del massimo carico con massimo livello
    - presa di carico con minimo livello
- Consente rapide variazioni di portata dovute alle rapide variazioni di carico
- Tipologie: pozzo cilindrico, a camere, vasca differenziale

32

# Organi di chiusura e regolazione

- Canali a pelo libero: paratoie di varia forma (piane, a settore, a ventola, cilindriche, a galleggiante)
- Tubazioni in pressione:
  - Valvole a farfalla (ostruiscono parzialmente)
  - Saracinesche con by-pass
  - Valvole sferiche o cilindriche (a piede di turbina), non manovrabili a carico (by-pass)
  - Valvole a fuso
- Meglio due sistemi di manovra indipendenti
- Sicurezza (contrappesi, funzionano a mancanza di alimentazione)

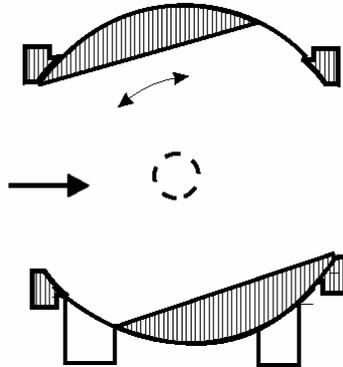
33

## Valvola a farfalla e palmola



34

## Valvola rotativa



35

## Tubo aeroforo e condotta chiodata



36

## Condotte forzate

- Minimo sviluppo, pendenza il più possibile costante (se in galleria), pressioni rilevanti
- Coefficiente di Strikler  $k=60-90$
- Velocità: 4- 6 m/s
- Scelta del numero di condotte: è una scelta economica. Si tende a installarne il minor numero possibile.

37

## Dimensionamento delle condotte

- Spessore di dimensionamento (formula di Mariotte) dato il diametro D

$$s=pD/2\sigma$$

dove  $\sigma$  è il carico di sicurezza a trazione, p è maggiorata per il colpo d'ariete

- Spessore crescente fino all'imbocco della Centrale: da 5 mm a 70 mm e più
- Si può diminuire D all'aumentare del carico idraulico: soluzione meno costosa

38

# Condotta forzata



Problema dell'isolamento elettrico

39

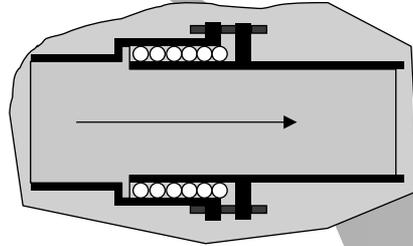
# Montaggio condotta e saldatura elicoidale



40

## Altri elementi

- Tubo aeroforo o valvola rientro d'aria
  - Giunti di dilatazione
  - Passi d'uomo
- Il collegamento con le macchine idrauliche deve avvenire con circa  $60^\circ$  di angolo per evitare interferenze tra la condotta e le macchine



41

## Giunto di dilatazione



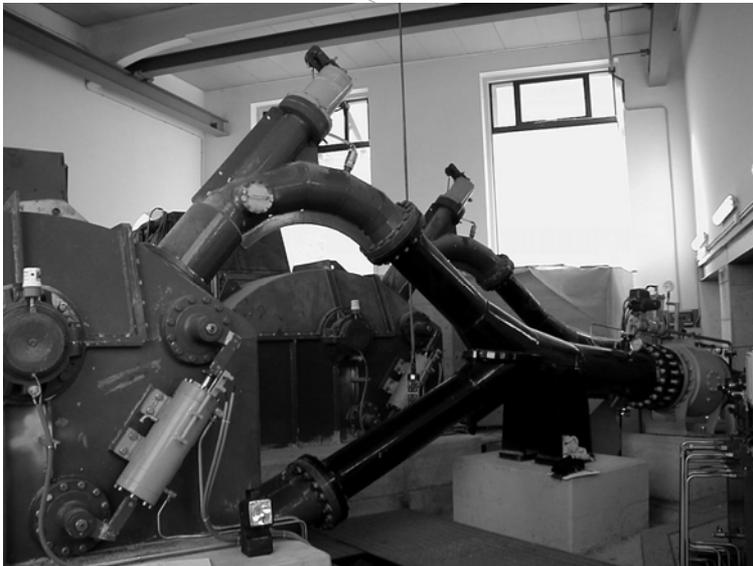
42

# Ubicazione della centrale

- All'esterno
- In caverna:
  - Rilevante costo degli scavi
  - Galleria di ingresso di sezione adeguata e possibilmente corta
  - Drenaggio delle infiltrazioni d'acqua
  - Pendenza ottimale della condotta e sua maggiore durata
  - Ubicazione dei trasformatori (in caverna separata, eventualmente): problematica delle perdite
  - Condizionamento dell'ambiente e illuminazione: maggiore costo
  - Ridotto impatto ambientale

43

# Centrale: sala macchine



44

# Opere di restituzione

- In genere canali a pelo libero, dimensionati per lo scarico in condizioni di piena
- $V=1-1.5$  m/s
- Raccordo con l'alveo naturale
- Vasca di espansione o piccolo bacino di compenso per le portate variabili