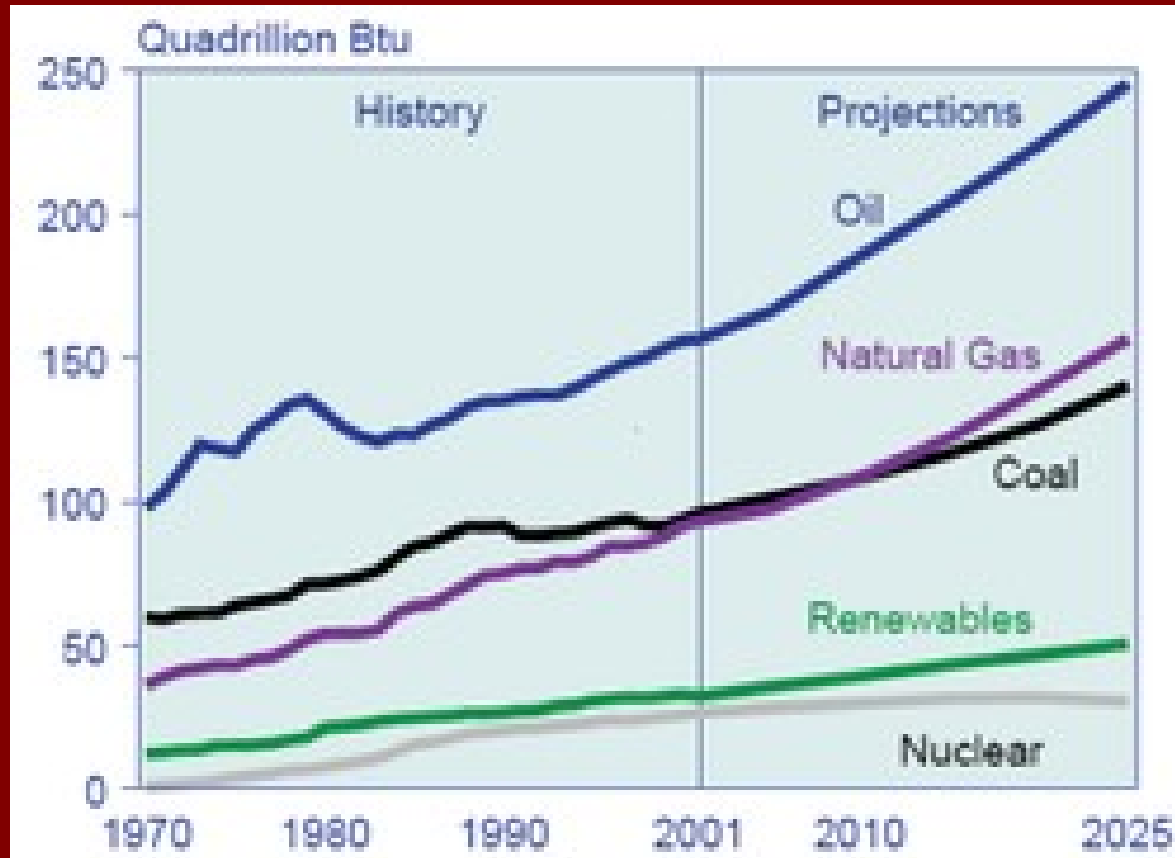




# IMPIANTI IDROELETTRICI

# IMPIANTI IDROELETTRICI



**Consumo di energia mondiale, 1970-2025.**

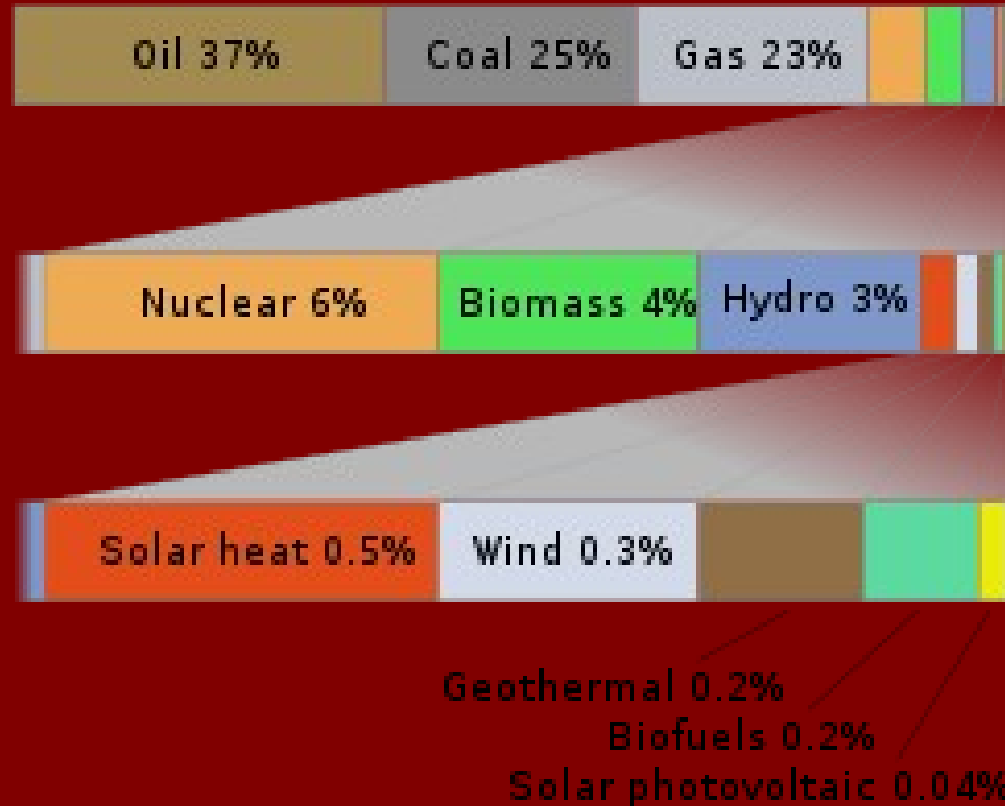
***Fonte: International Energy Outlook 2004.***

# IMPIANTI IDROELETTRICI



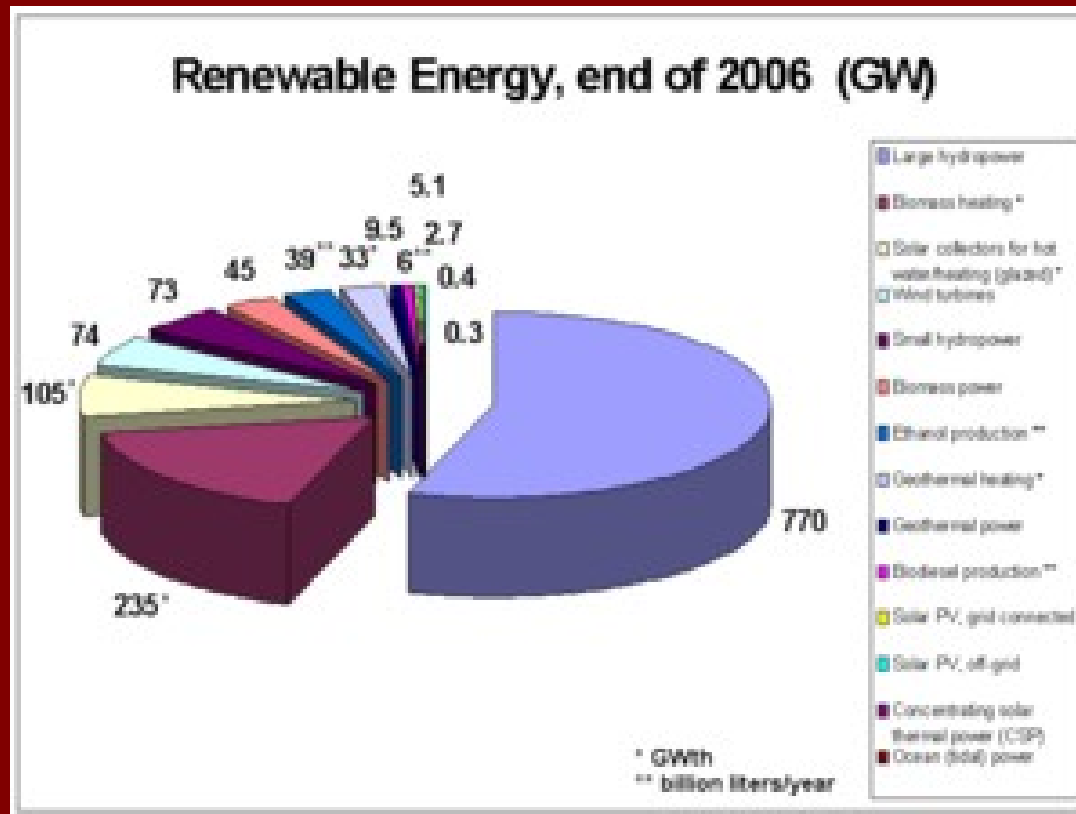
- **Energia rinnovabile disponibile.** Il volume dei cubi rappresenta la quantità di energia geotermica, eolica e solare disponibile in TW, ricordando che soltanto una piccola parte può essere recuperata. Il piccolo cubo rosso mostra proporzionalmente il consumo energetico globale.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



**Utilizzo dell'energia nel mondo, con tre bande di magnitudine crescente per rendere visibili alcune fonti molto esigue**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- **Sorgenti mondiali di energia rinnovabile alla fine del 2006: le grosse dighe (> 50 Mw) contribuivano per più del 60% del totale delle energie rinnovabili. Fonte: REN21**

# IMPIANTI IDROELETTRICI

- Nel mondo la produzione di **energia idroelettrica** raggiunge i 816 GW nel 2005, consistendo di 750 GW degli impianti maggiori, e 66 GW delle installazioni **mini-idroelettriche**. Molte grosse dighe con una capacità produttiva che totalizza i 10,9 GW sono state aggiunte dalla **Cina**, dal **Brasile** e dall'**India** nel corso dell'anno 2005, ma vi è stata una crescita molto più veloce (8%) nel cosiddetto "small hydro", che vede l'aggiunta di 5 GW, principalmente in Cina, dove circa il 58% degli impianti **mini-idroelettrici** si localizzano

# IMPIANTI IDROELETTRICI

- **Nell'Occidente**, anche se il **Canada** è il maggiore produttore di energia idroelettrica nel mondo, la costruzione di grossi impianti idroelettrici ha subito una stagnazione a causa di preoccupazioni di tipo ambientalista. La tendenza odierna sia nel Canada che negli Stati Uniti propende verso il microidroelettrico perché ha un impatto ambientale irrilevante e rende possibile sfruttare molti più siti per la generazione di energia. Nella sola regione canadese della **British Columbia** le stime sono che il microidroelettrico riuscirà a più che raddoppiare la produzione di energia nella provincia.

# IMPIANTI IDROELETTRICI

- **In Italia le favorevoli condizioni di idraulicità hanno permesso alla produzione idroelettrica di raggiungere nel 2009 i 49.137 GWh, un livello inferiore al solo record di 51.054 GWh del 1977. E' quanto si evince dal rapporto statistico sull'idroelettrico pubblicato dal Gestore dei Servizi Energetici (Gse)**



# IMPIANTI IDROELETTRICI

- **Con 2.249 impianti per complessivi 17,7 GW a fine 2009, l'idroelettrico si è confermato la prima fonte rinnovabile italiana con il 67% della potenza rinnovabile totale e il 71% della produzione.**

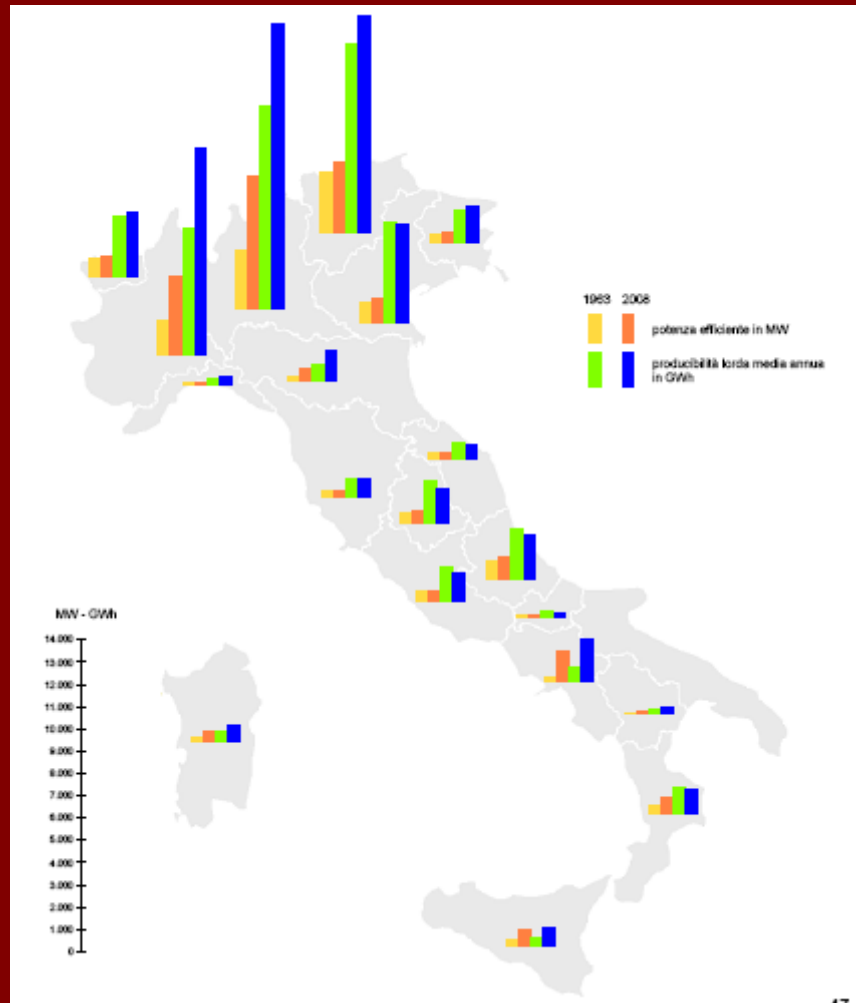
# IMPIANTI IDROELETTRICI

- **Nell'Italia del Nord risultano installati il 79% degli impianti idro: in Piemonte si contano ben 498 impianti. in Trentino Alto Adige 392 e in Lombardia 351. Anche in termini di potenza, il 75% è installato nelle Regioni settentrionali**

# IMPIANTI IDROELETTRICI

**la classifica della potenza vede in testa la Lombardia con 4.951 MW, poi Trentino Alto Adige (3.113 MW) e Piemonte (2.456 MW). L'unica Regione del Centro-Sud che si contraddistingue per lo sfruttamento della Fonte idro è l'Abruzzo con 1.002 MW. Dei 65 nuovi impianti entrati in esercizio nel 2009, il 71% è ubicato nelle Regioni settentrionali**

# IMPIANTI IDROELETTRICI

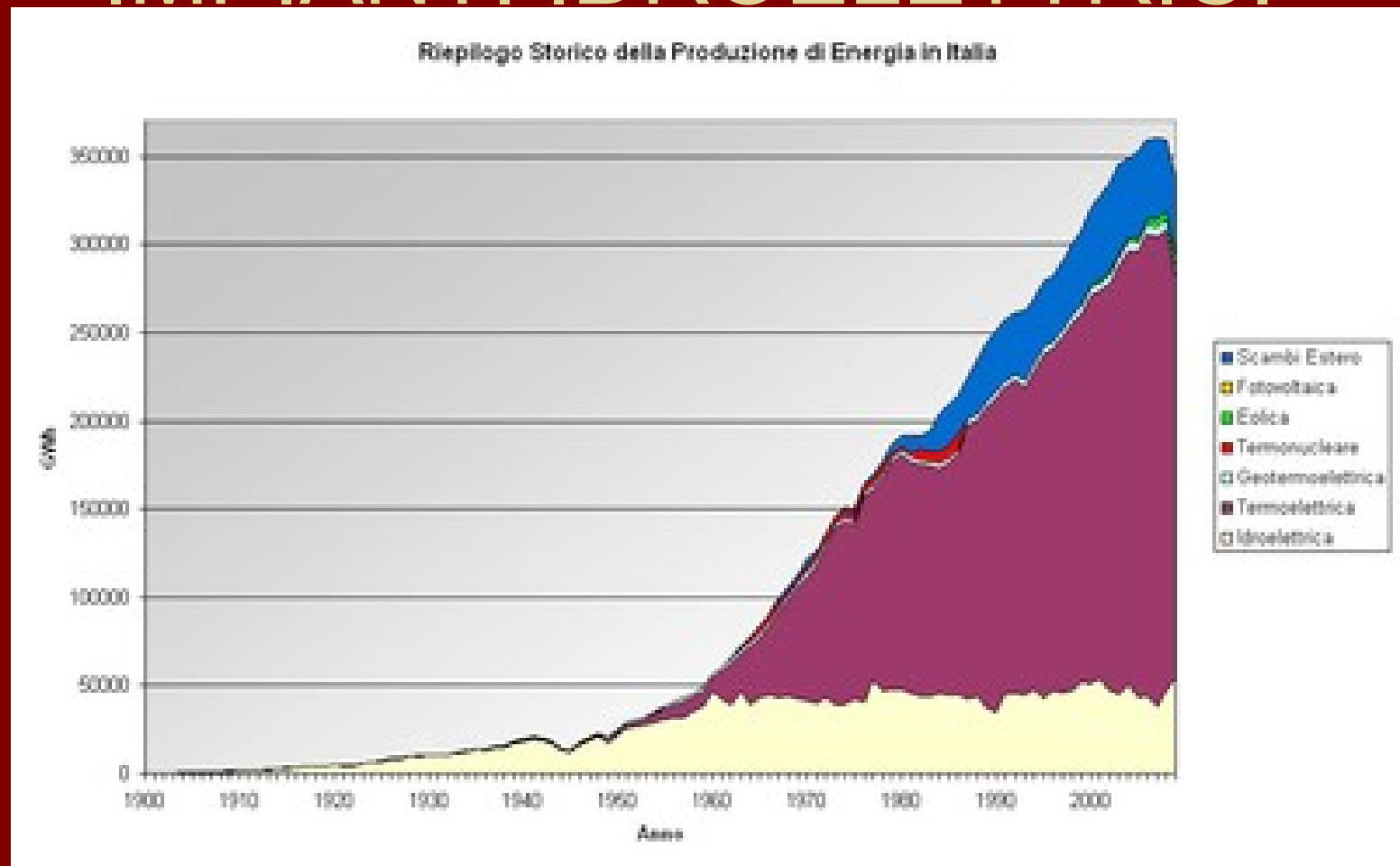


- **Potenza efficiente lorda media annua impianti idroelettrici in Italia al 31 dicembre degli anni 1963 e 2008**

# IMPIANTI IDROELETTRICI

- **L'Italia è il terzo produttore idroelettrico europeo dopo Svezia (65.124 GWh) e Francia (56.909 GWh).**

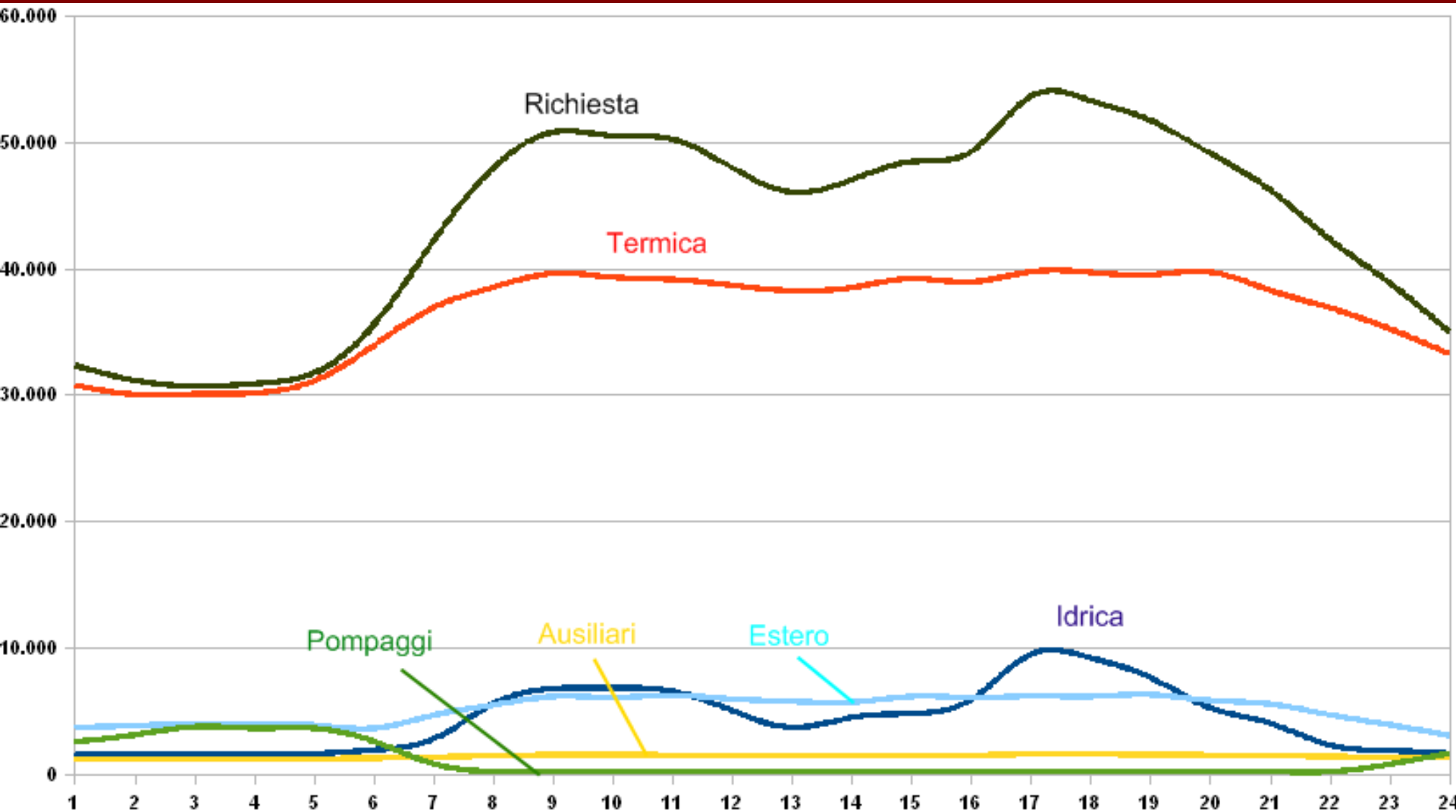
# IMPIANTI IDROELETTRICI



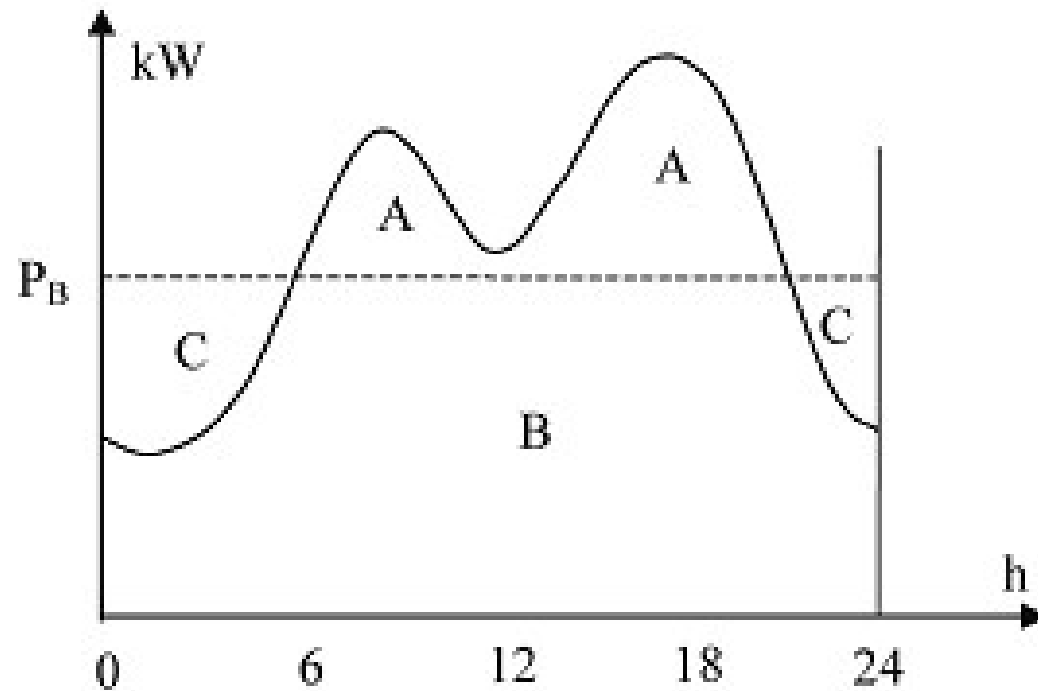
**Riepilogo storico della produzione di energia in Italia dal 1950.  
Elaborazione da dati pubblicati da Terna**

a cura di Catello Masullo (c.masullo@hydroarchsrl.com)

# IMPIANTI IDROELETTRICI



# IMPIANTI IDROELETTRICI



*Fig. 1. – Esempio di diagramma di carico giornaliero. Sono evidenziate: le punte di carico (A), il carico base (B) e le eccedenze (C).*



# IMPIANTI IDROELETTRICI

## Origini dell'energia idroelettrica

# IMPIANTI IDROELETTRICI



I greci e i romani furono le prime civiltà nel Mondo allora conosciuto, ad utilizzare la potenza dell'acqua, o più precisamente dell'energia cinetica prodotta dal liquido; però si deve specificare che queste due antiche civiltà sfruttarono questo tipo di energia rinnovabile **solo** per azionare semplici mulini per **macinare il grano.**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



Si deve aspettare il Basso Medioevo, e le scoperte portate dal popolo degli Arabi del Nord-Africa, per avere altri metodi di sfruttamento dell'acqua: furono sempre più utilizzate, sia per l'irrigazione dei campi, sia per la bonifica di vaste zone paludose, la **ruota idraulica**, schematizzabile come un mulino senza pale che ruotava su un punto fisso per azione della forza esercitata dall'acqua stessa.

# IMPIANTI IDROELETTRICI

Un progresso tecnico di enormi proporzioni si è avuto alla fine dell'Ottocento, circa all'inizio della Seconda Rivoluzione Industriale avvenuta in Europa e non solo, in seguito all'evoluzione della ruota idraulica in turbina, macchina motrice costruita da una ruota a pale imperniata su un asse,

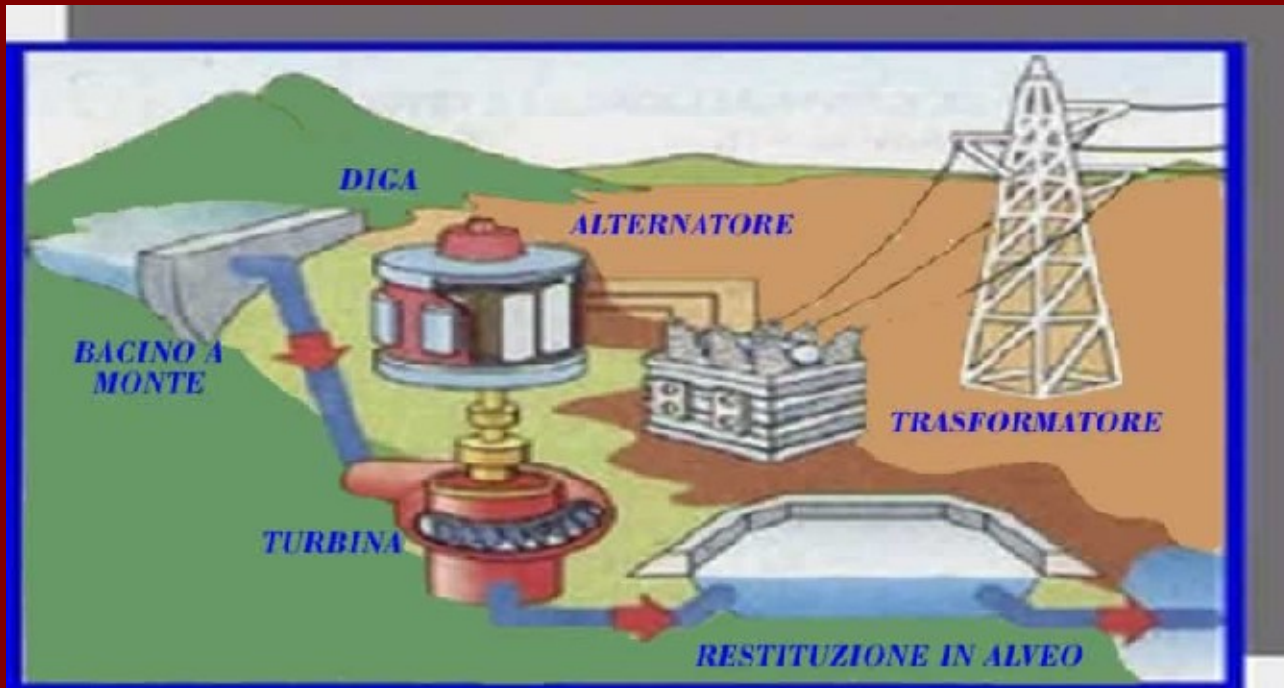


# IMPIANTI IDROELETTRICI

Le turbine idrauliche all'inizio erano grossolane e schematizzate, ma con le innovazioni tecnologiche, soprattutto della prima metà del Novecento, divennero sempre più perfezionate e funzionali.



# IMPIANTI IDROELETTRICI



- Per centrale idroelettrica si intende una serie di opere di ingegneria idraulica posizionate in una certa successione, accoppiate ad una serie di macchinari idonei allo scopo di ottenere la produzione di energia elettrica da masse di acqua in movimento. L'acqua viene convogliata in una o più turbine che ruotano grazie alla spinta dell'acqua. Ogni turbina è accoppiata a un alternatore che trasforma il movimento di rotazione in **energia elettrica.**

# IMPIANTI IDROELETTRICI

- **• Impianti ad acqua fluente (in genere a bassa caduta)**
- **• Impianti a bacino (a regolazione parziale) (media o alta caduta)**
- **• Impianti a serbatoio (a regolazione totale) (media o alta caduta)**
- **• Impianti di ripompaggio**

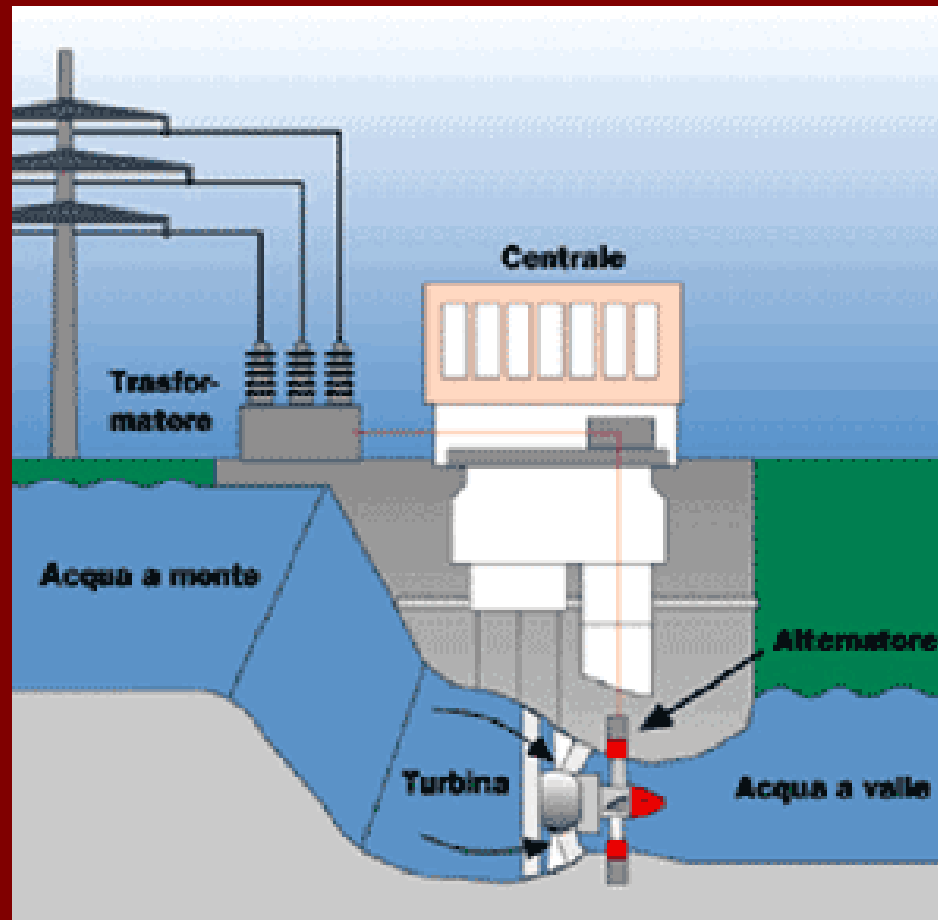
# IMPIANTI IDROELETTRICI



## IMPIANTO IDROELETTRICO AD ACQUA FLUENTE

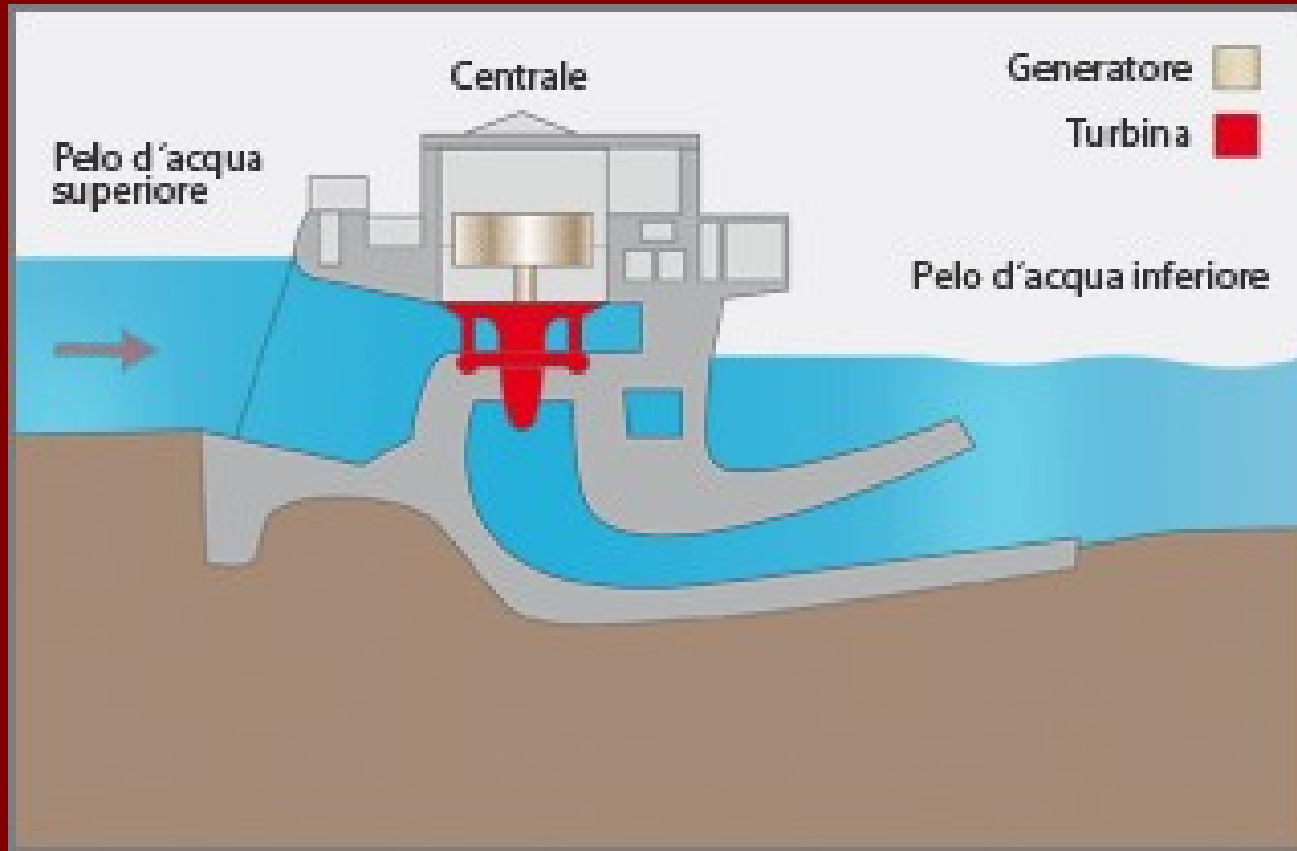


# IMPIANTI IDROELETTRICI



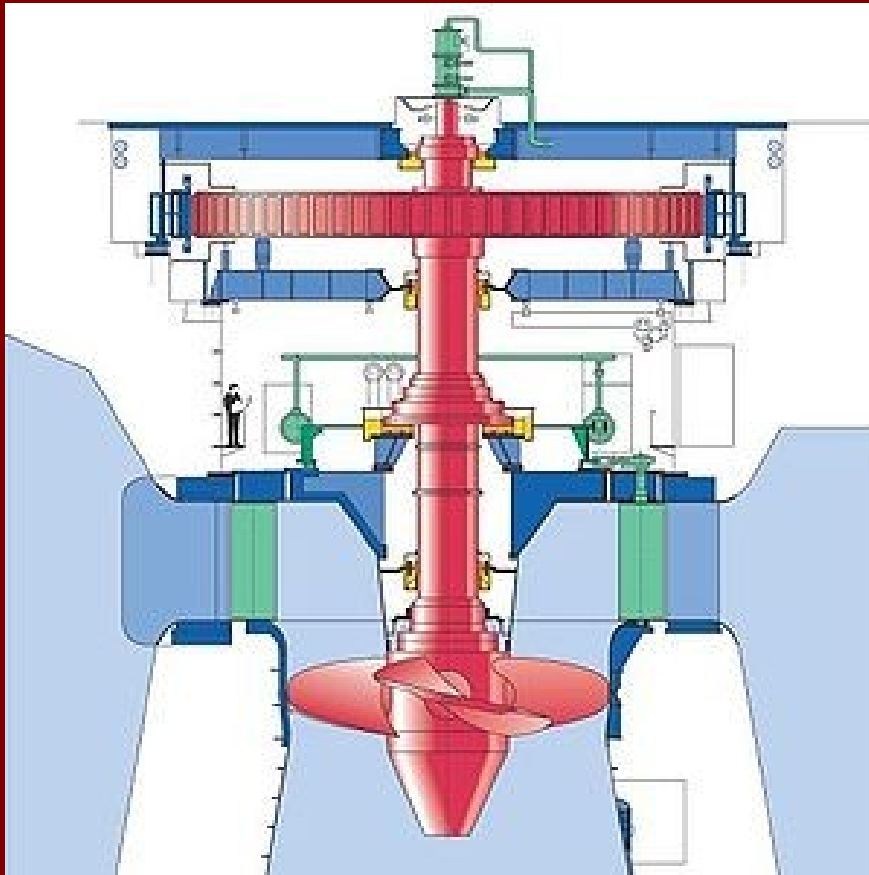
## IMPIANTO IDROELETTRICO AD ACQUA FLUENTE

# IMPIANTI IDROELETTRICI



## IMPIANTO IDROELETTRICO AD ACQUA FLUENTE

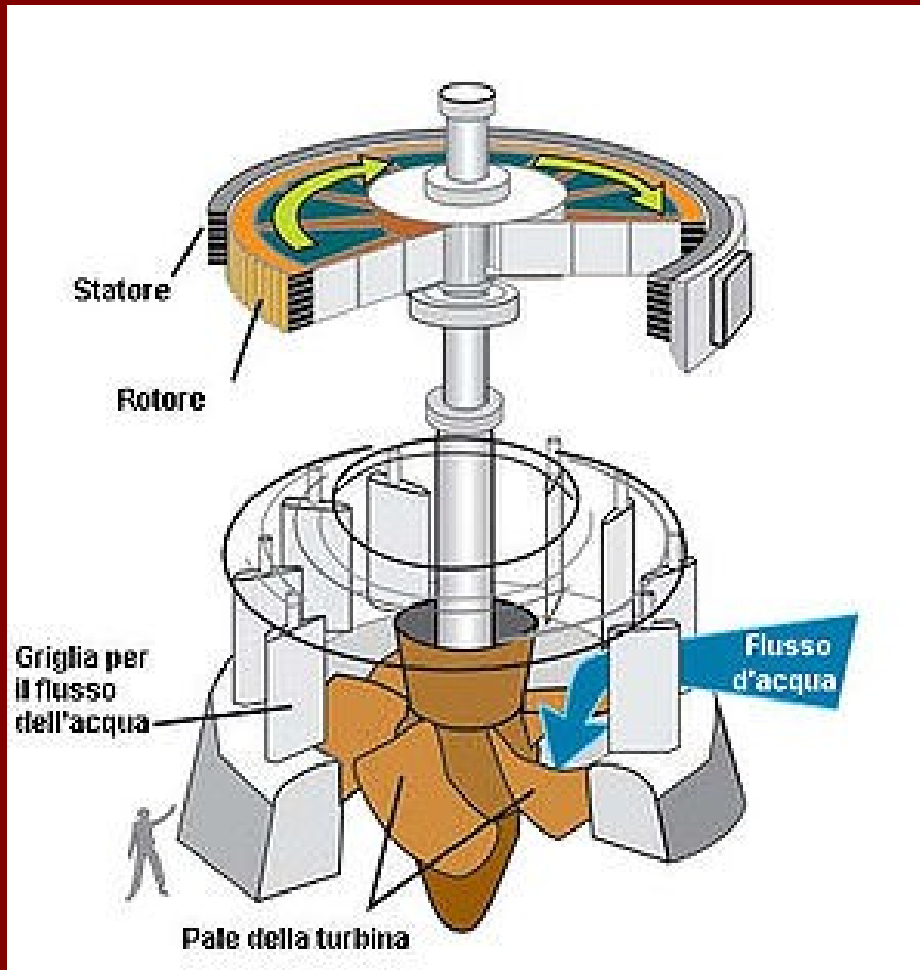
# IMPIANTI IDROELETTRICI



## IMPIANTO IDROELETTRICO AD ACQUA FLUENTE

- Con una turbina ad elica la regolazione è praticamente nulla, quindi può funzionare solo per una certa portata, ragion per cui il distributore non è nemmeno regolabile.
- Con la turbina Kaplan, grazie all'orientazione delle pale della girante, è invece possibile l'adattamento alla portata presente. Questo perché ad ogni regolazione del distributore corrisponde un'orientazione delle pale e ciò permette di farla lavorare con rendimenti molto alti (fino al 90%) in un grande intervallo di portate.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



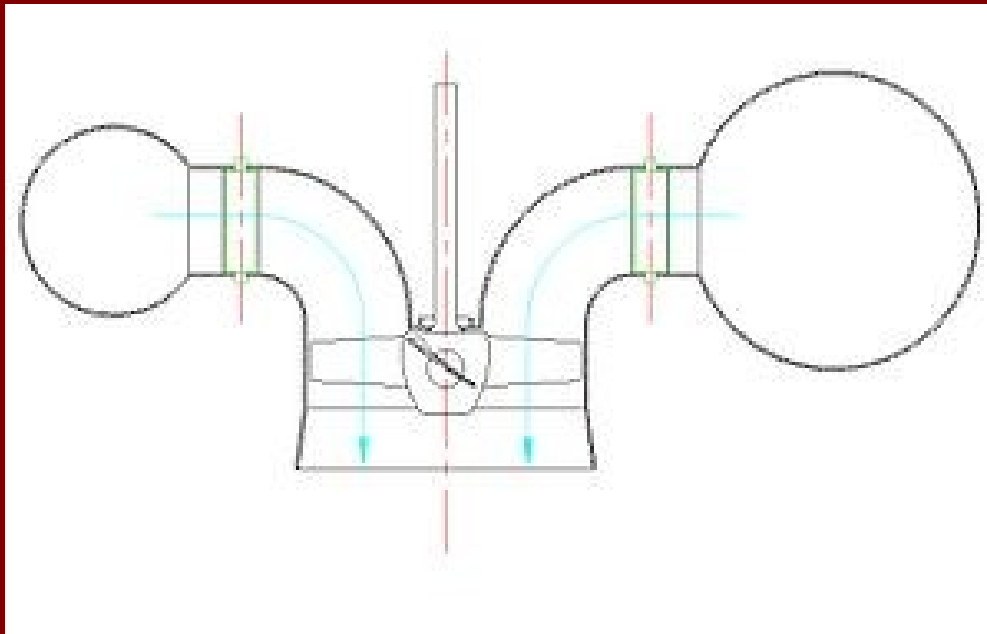
Il campo di utilizzazione delle turbine Kaplan lente arriva a cadute massime attorno ad 80 m e portate sino a  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , sovrapponendosi in parte al campo di utilizzo delle **turbine Francis** veloci le quali arrivano a cadute inferiori a 10 m e portate che possono superare  $300 \text{ m}^3/\text{s}$

# IMPIANTI IDROELETTRICI



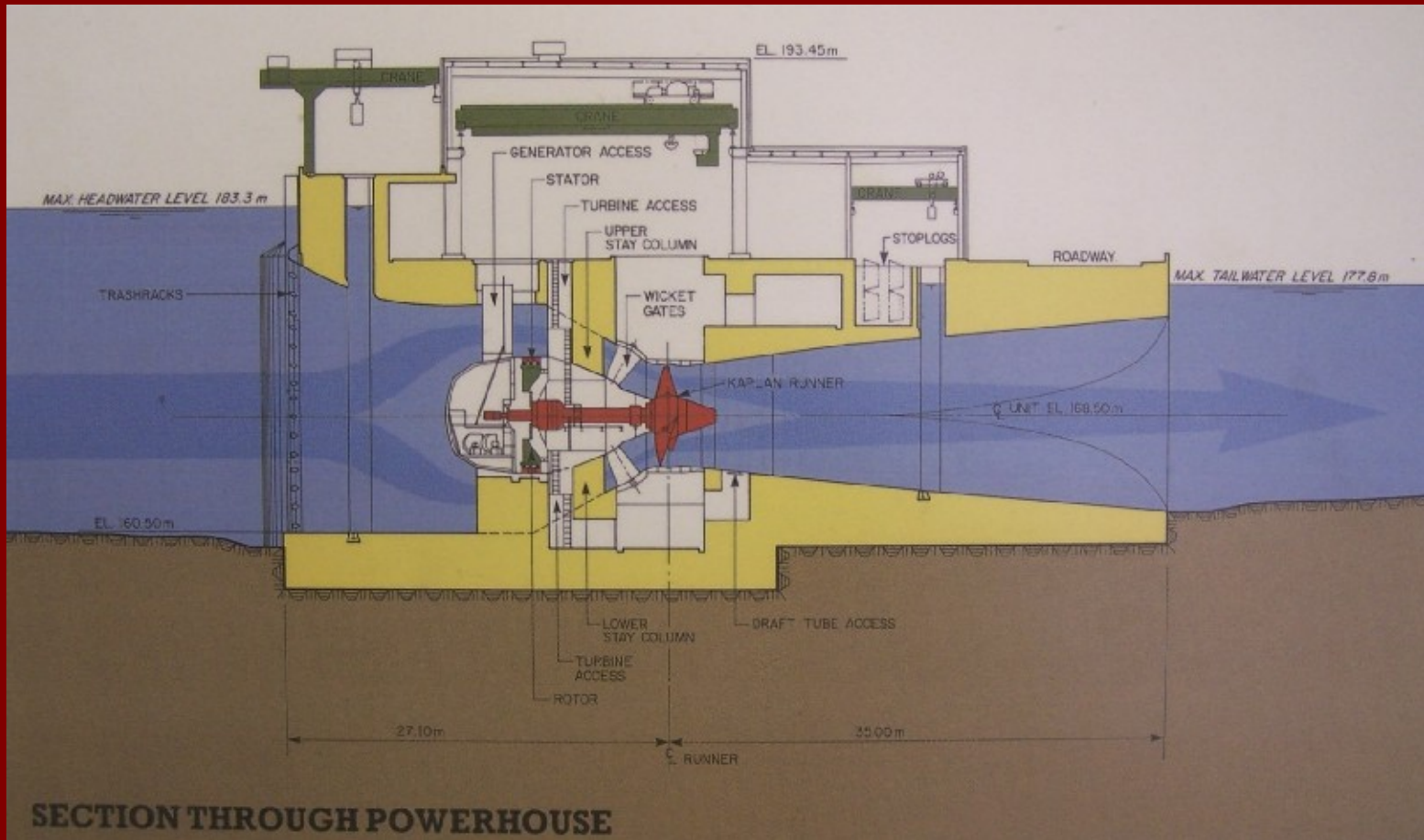
- La turbina Kaplan fu inventata nel **1913** dal professore austriaco **Viktor Kaplan**.
- È una **turbina** idraulica a reazione che sfrutta piccoli dislivelli, fino a qualche decina di metri, ma con grandi portate, da qualche decina di m<sup>3</sup> in su. Costruttivamente è un'elica, ove le pale si possono orientare, al variare della portata d'acqua permettendo di mantenere alto il rendimento fino a portate del 20-30% della portata nominale.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



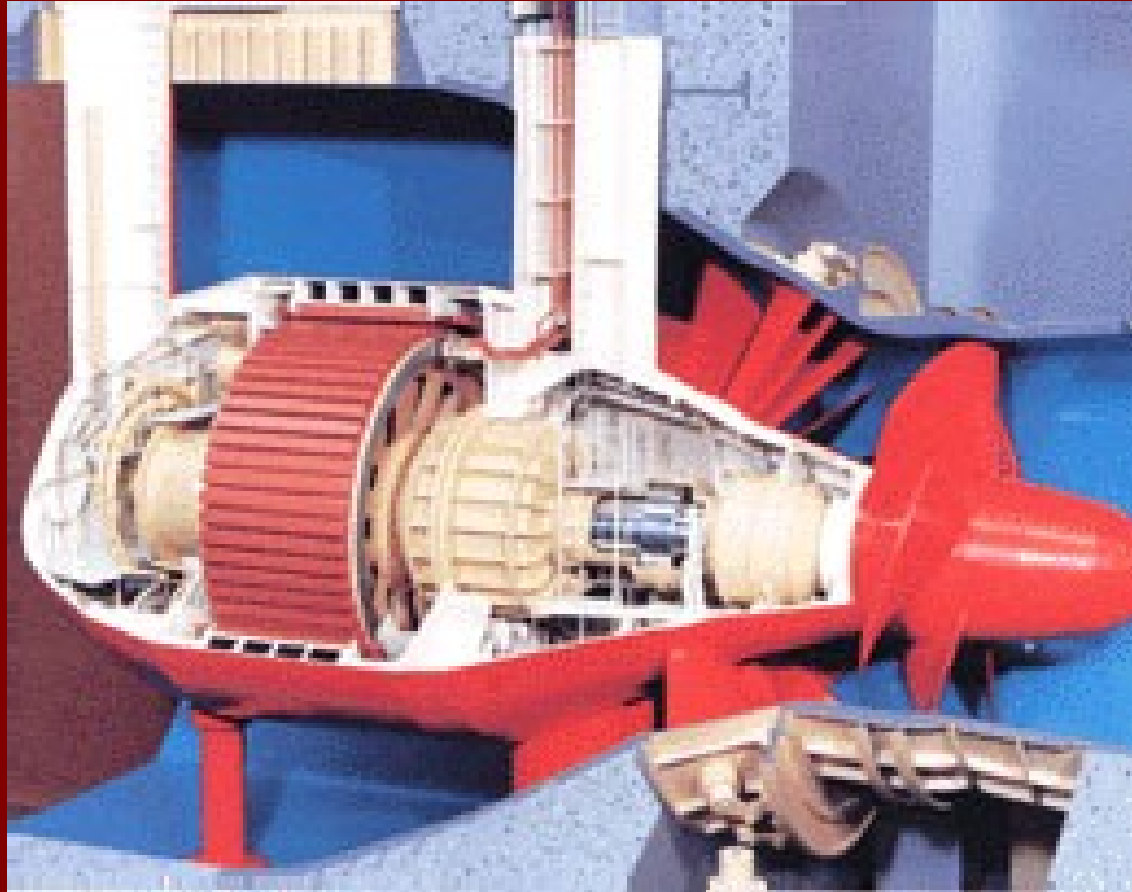
- Per la turbina Kaplan il liquido giunge sulla turbina grazie ad un condotto a forma di chiocciola che alimenta tutta la **circonferenza**, poi attraversa un distributore che dà al **fluido** una rotazione vorticoso, essenziale per imprimere il moto alla girante, ove il flusso deviato di  $90^\circ$  la investe assialmente.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- turbina Kaplan bulbo

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- **turbina Kaplan bulbo**



# IMPIANTI IDROELETTRICI



**La centrale di NAG-**  
**HAMMADI**  
**SUL FIUME NILO**  
• **ALTO EGITTO**



# IMPIANTI IDROELETTRICI



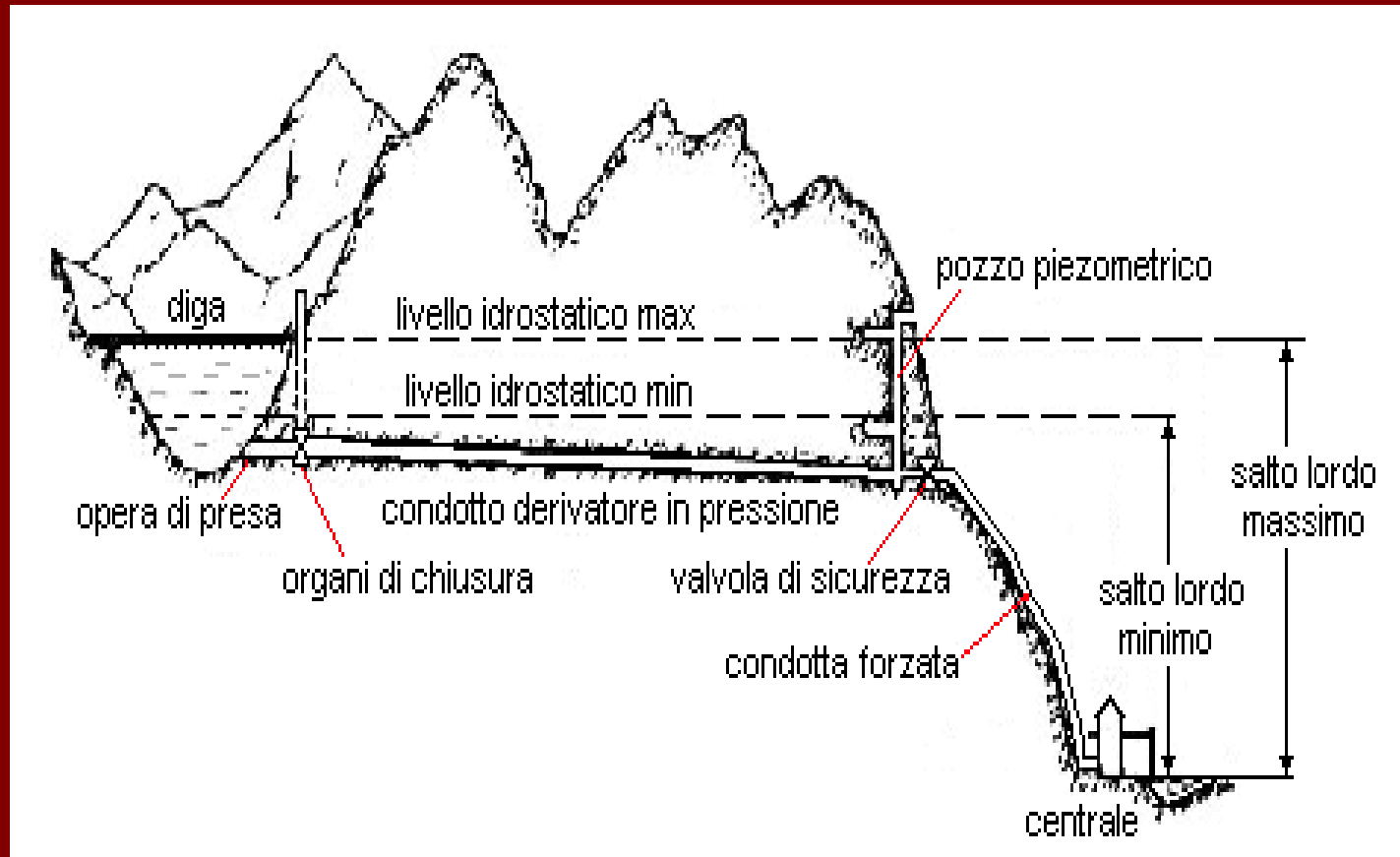
- La centrale di NAG-HAMMADI
- SUL FIUME NILO
- ALTO EGITTO
- 4 TURBINE DA 16 MW
- 23 KM DI LINEA ELETTRICA
- 445 MILIONI DI EURO

# IMPIANTI IDROELETTRICI



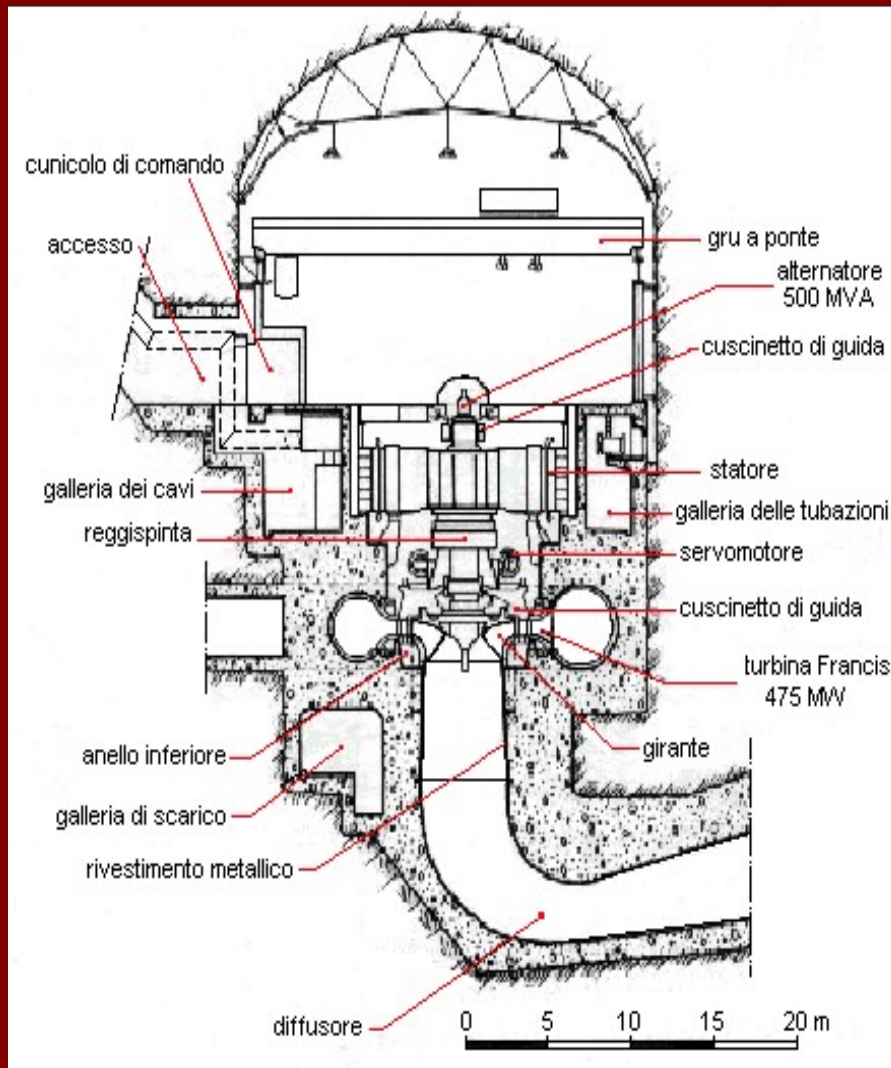
- La centrale di NAG-HAMMADI
- SUL FIUME NILO
- ALTO EGITTO
- 4 TURBINE DA 16 MW
- 23 KM DI LINEA ELETTRICA
- 445 MILIONI DI EURO

# IMPIANTI IDROELETTRICI



## SCHEMA DI IMPIANTO IDROELETTRICO A SERBATOIO

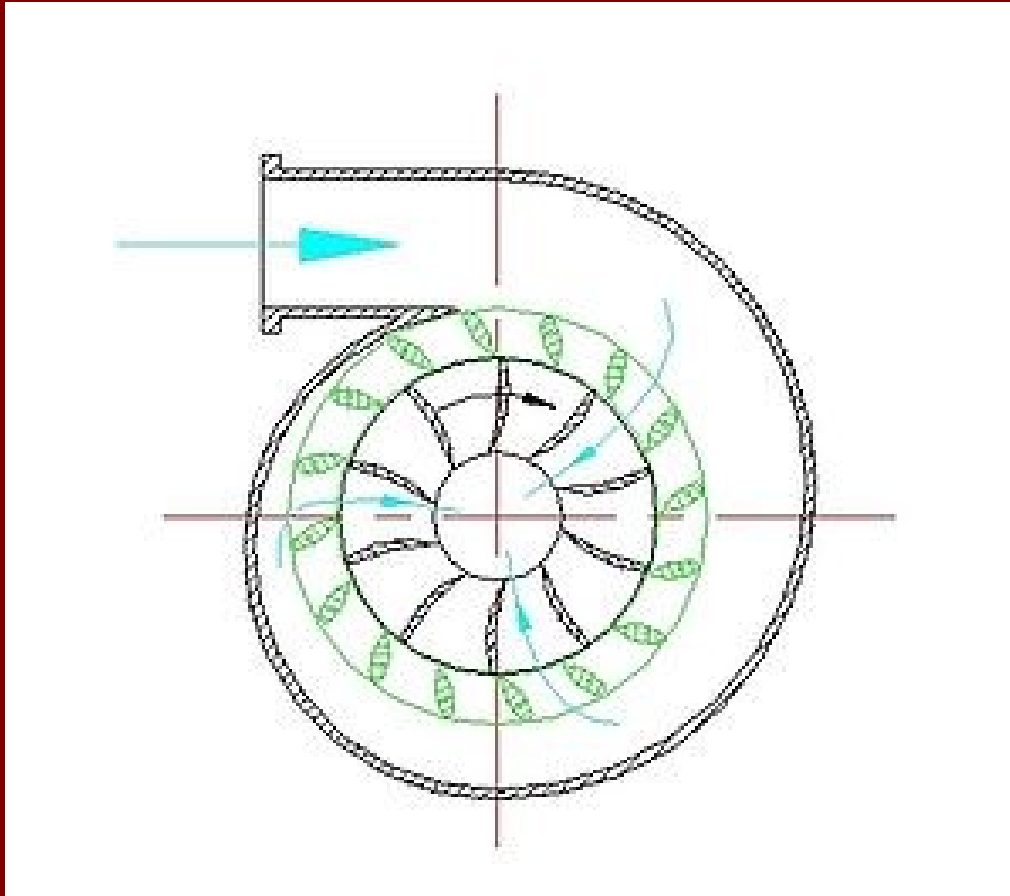
# IMPIANTI IDROELETTRICI



## SCHEMA DI IMPIANTO IDROELETTRICO A MEDIA CADUTA CON TURBINA FRANCIS.

La turbina Francis è una turbina a reazione sviluppata nel 1848 da James B. Francis, un ingegnere inglese trasferitosi negli Stati Uniti. Oggi rappresenta il tipo di turbina più utilizzato.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



## TURBINA FRANCIS

È una turbina a flusso centripeto: l'acqua raggiunge la girante tramite un condotto a chiocciola che la lambisce interamente, poi un distributore, ovvero dei palettamenti sulla parte fissa, statorica, indirizzano il flusso per investire le pale della girante.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



## TURBINA FRANCIS

La turbina è detta a reazione poiché non sfrutta solo la velocità ma anche la **pressione** del getto d'acqua che, quando giunge nella girante, è ancora superiore a quella atmosferica.

Infatti tramite il condotto convergente costituito dal canale tra le pale del distributore e da quello tra le pale della girante stessa si finisce di convertire la pressione ancora presente in velocità (**energia cinetica**).

# IMPIANTI IDROELETTRICI

## TURBINA FRANCIS

Per ottimizzare il funzionamento della turbina l'espansione dell'acqua viene prolungata al di sotto della pressione atmosferica, così da creare una sorta di effetto vuoto, che fa aumentare ancora di più la differenza di pressione.





# IMPIANTI IDROELETTRICI



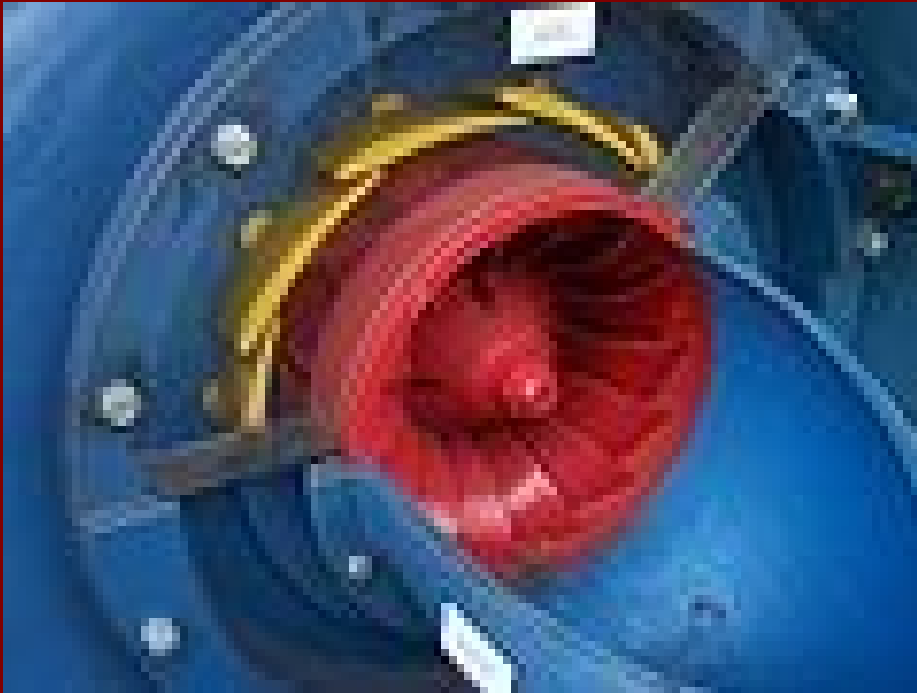
## TURBINA FRANCIS

Se si esagera nella ricerca del vuoto però si rischia di incappare nel fenomeno, sgradito, della **cavitazione** per cui l'acqua, scesa al di sotto della pressione di liquido saturo, si trasformerebbe in vapore, corrodendo e distruggendo i palettamenti della girante.

# IMPIANTI IDROELETTRICI

## TURBINA FRANCIS

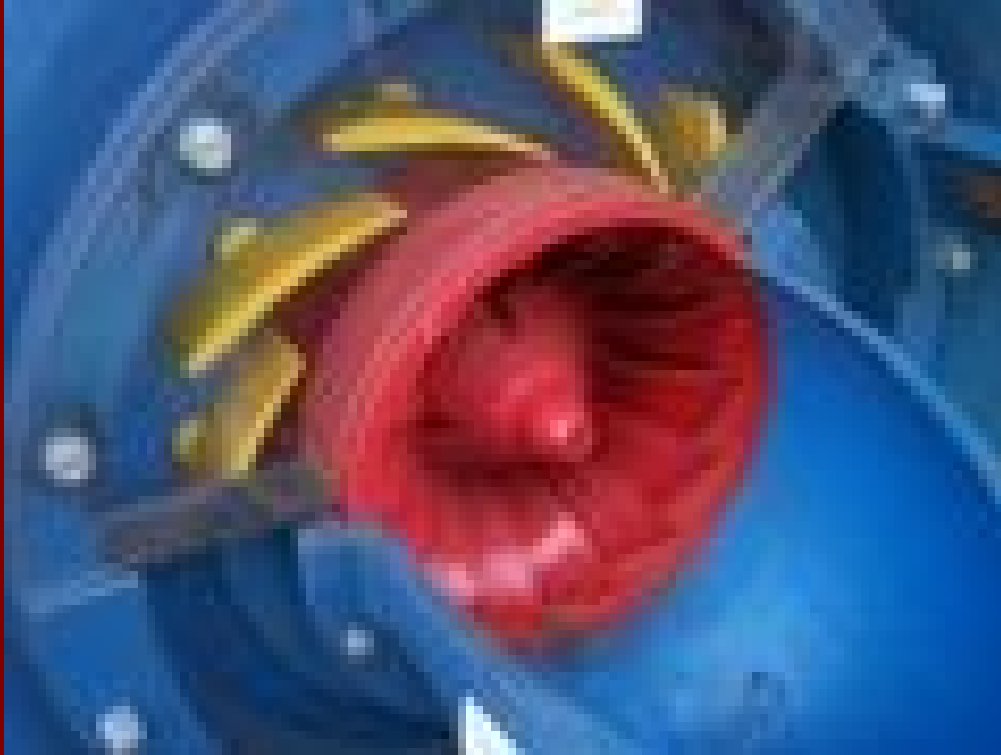
Pale regolabili (gialle)  
posizionate per la  
minima portata (la  
turbina è vista con  
copertura sezionata)



# IMPIANTI IDROELETTRICI

## TURBINA FRANCIS

Pale regolabili settate  
per la massima  
portata



# IMPIANTI IDROELETTRICI



**DIGA DI ERMENEK  
TURCHIA  
A DOPPIA  
CURVATURA  
ALTEZZA 230 M**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



**DIGA DI ERMENEK  
TURCHIA  
A DOPPIA  
CURVATURA  
ALTEZZA 230 M**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



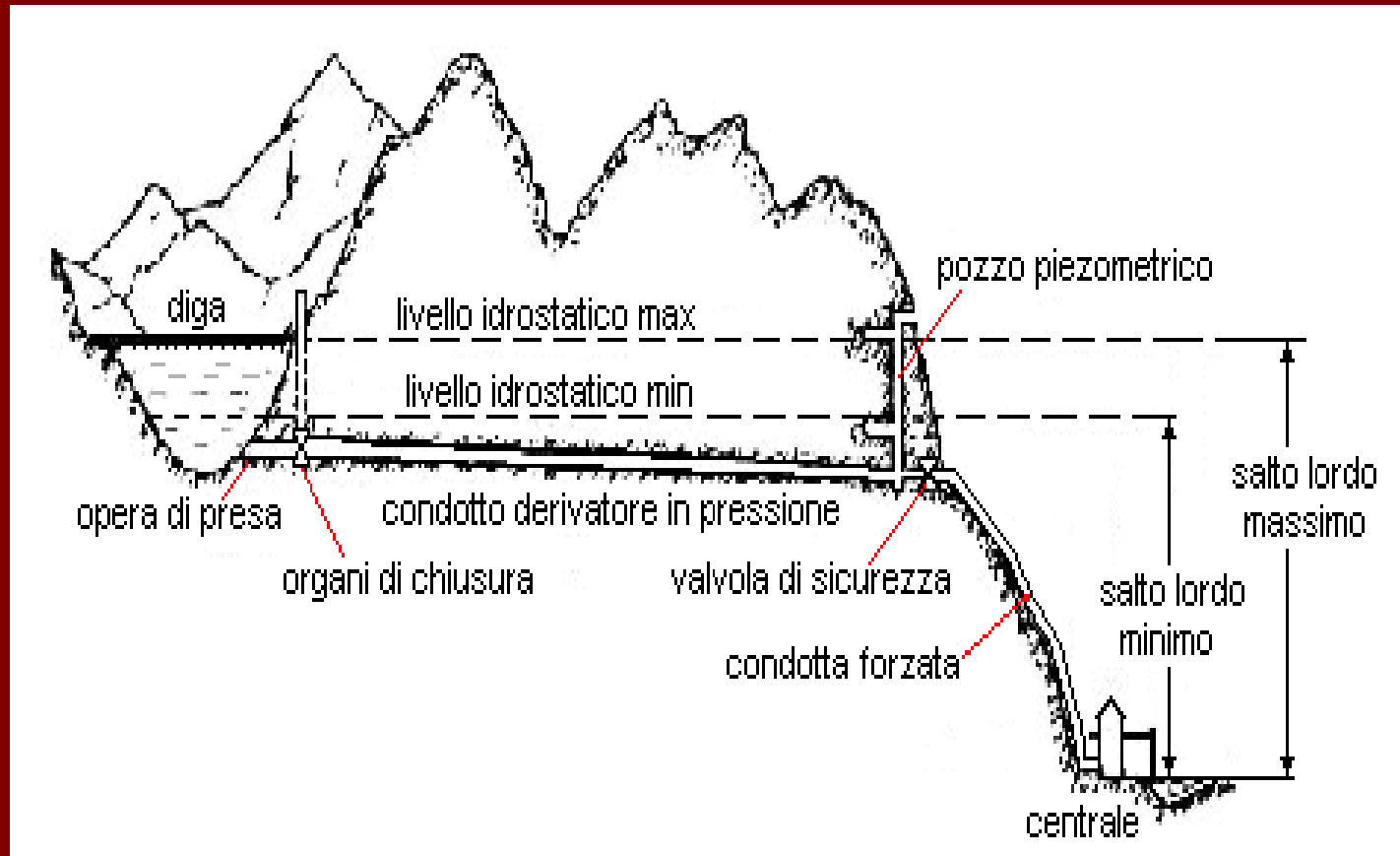
**DIGA DI ERMENEK  
TURCHIA  
A DOPPIA  
CURVATURA  
ALTEZZA 230 M**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



**DIGA DI ERMENEK  
TURCHIA  
A DOPPIA  
CURVATURA  
ALTEZZA 230 M  
306 MW (DUE TIRBINE  
FRANCIS DA 153  
MW)  
700 MILIONI DI EURO**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



## SCHEMA DI IMPIANTO IDROELETTRICO AD ALTA CADUTA



# IMPIANTI IDROELETTRICI

## IMPIANTI IDROELETTRICI AD ALTA CADUTA



La Turbina Pelton fu inventata da **Lester Allan Pelton, carpentiere**, nel **1879** mentre lavorava in **California**, e risulta essere ancora oggi la turbina con rendimento più elevato.

- È utilizzata per grandi salti (maggiori di 15 m, di solito tra i 300 e i 1400 m) e piccole portate (inferiori a 50 m<sup>3</sup>/s), si utilizza quindi solitamente per i **bacini idroelettrici alpini**.

# IMPIANTI IDROELETTRICI

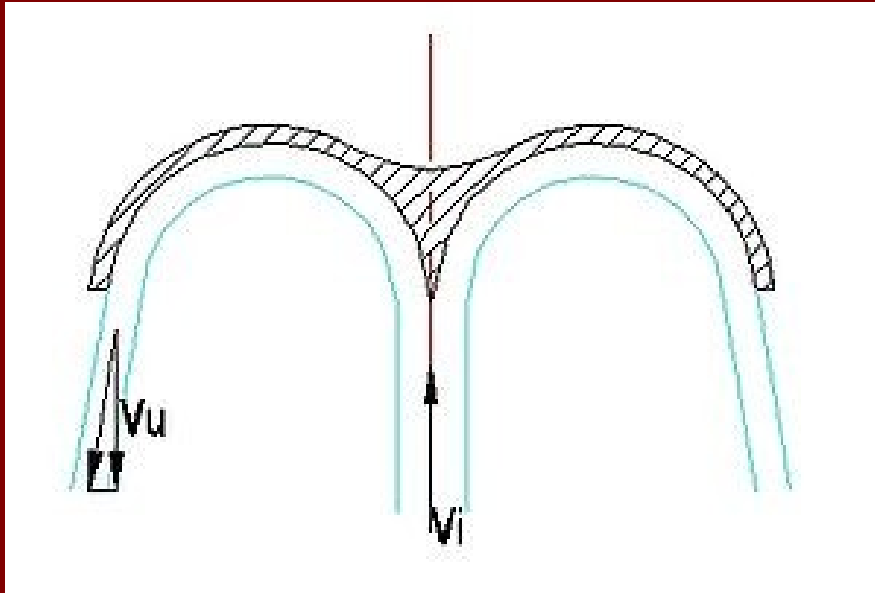
## IMPIANTI IDROELETTRICI AD ALTA CADUTA



L'**energia potenziale** dell'**acqua** ( $U = mgh$ ) accumulata ad elevate altitudini giunge alla turbina tramite dei "condotte forzate" che conducono l'acqua a valle. Un **ugello** (o più di uno) indirizzano l'acqua sulle pale della Pelton determinandone la rotazione. L'ugello grazie alla sua forma trasforma in **energia cinetica** tutta la pressione contenuta sui condotti, così il getto sulla turbina non sarà in pressione: proprio per questo la turbina Pelton è una turbina ad azione

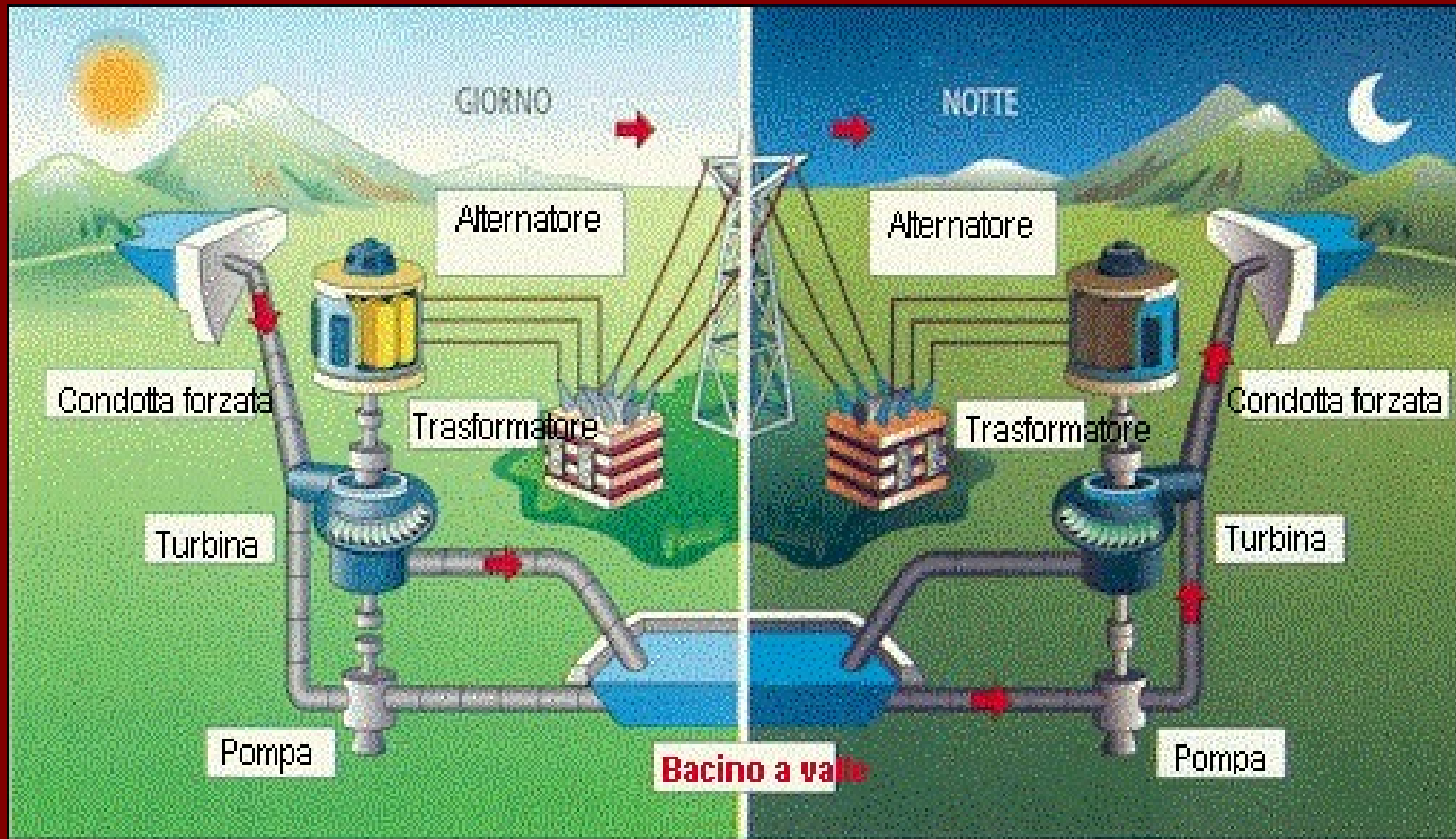
# IMPIANTI IDROELETTRICI

## IMPIANTI IDROELETTRICI AD ALTA CADUTA



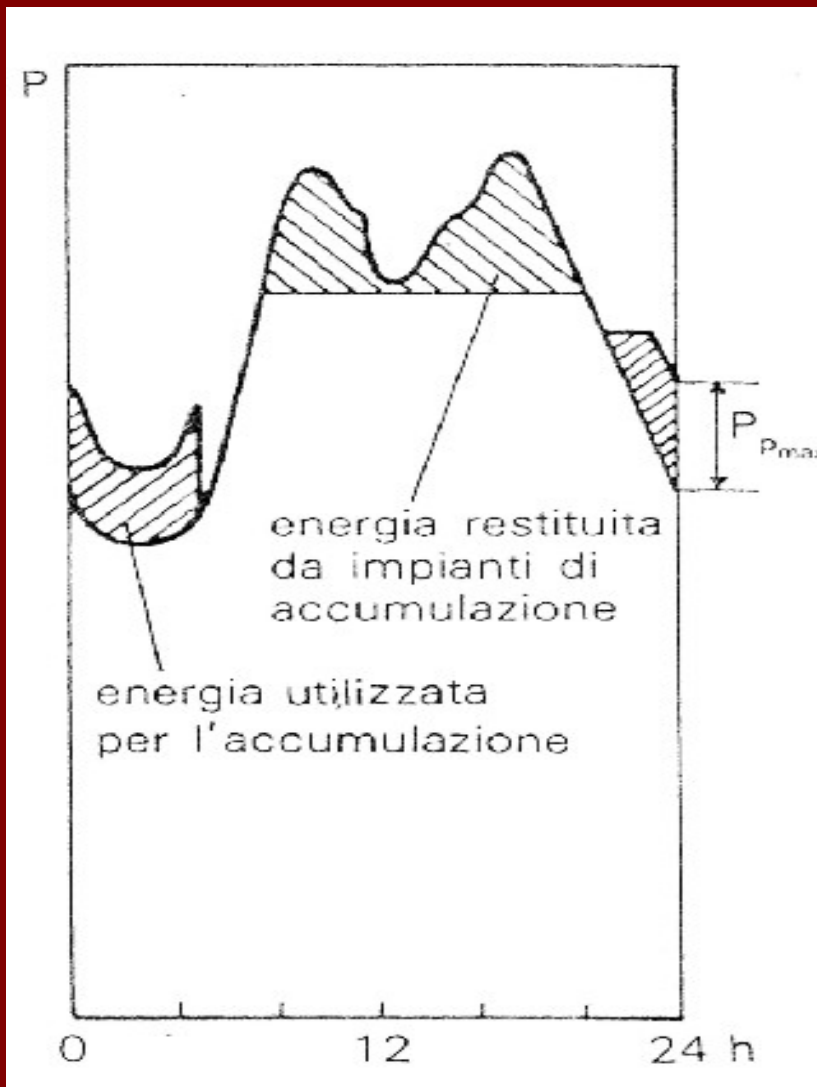
La forma delle pale è quella di due cucchiari appaiati, tra i quali si trova un tagliante che divide a metà il getto, per farlo uscire ai lati sotto forma di due getti separati e equilibrare la spinta sui due lati della turbina. velocità di rotazione di 3000 giri/min per la generazione della corrente AC a 50 Hz usata in Europa (3600 giri/min e 60 Hz negli USA).

# IMPIANTI IDROELETTRICI



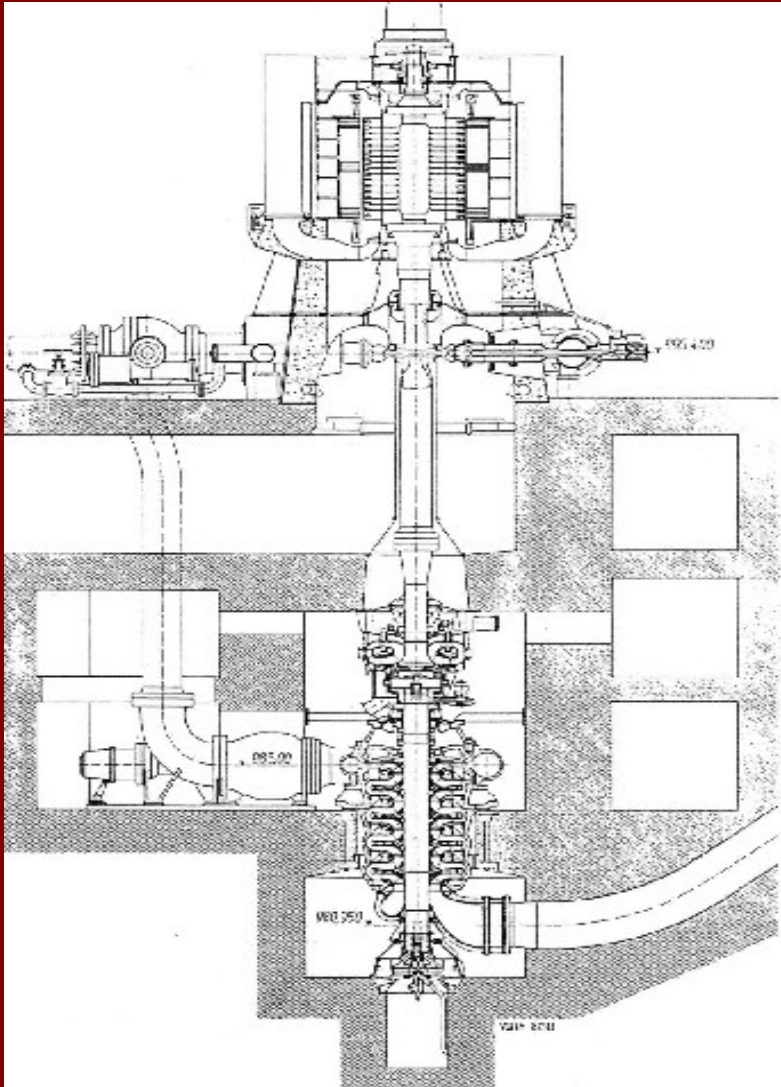
## SCHEMA DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI RIPOMPAGGIO

# IMPIANTI IDROELETTRICI



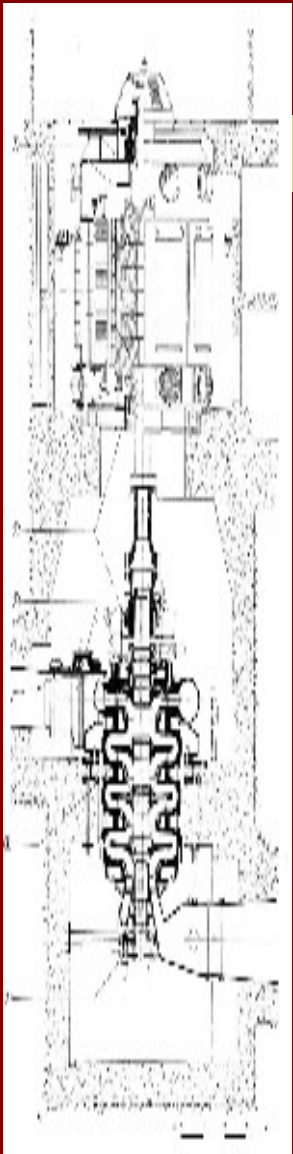
**Allo stato della tecnica quelli di  
ripompaggio sono  
sostanzialmente i soli  
impianti in grado di  
accumulare rilevanti quantità  
di energia, la cui utilizzazione  
può essere effettuata in  
tempi anche notevolmente  
diversi dal periodo in cui il  
sistema energetico mette a  
disposizione energia  
primaria” che non possa  
essere utilizzata.**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- Nei gruppi di ripompaggio ternari (3 macchine generatore/motore, turbina e pompa) sono disposte sullo stesso asse, generalmente con disposizione verticale. Questa configurazione permette di installare l'alternatore e la turbina al di sopra del livello dell'acqua dello scarico, mentre la pompa si trova al di sotto di tale livello.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- **Nei gruppi di ripompaggio binari, si utilizza una cosiddetta macchina reversibile (la pompa/turbina), con riduzione del numero delle macchine e semplificazione dell'impianto, con conseguente riduzione dei costi. Questo vantaggio viene in parte attenuato dal più basso rendimento che presenta una macchina reversibile rispetto alle due che sostituisce.**
- **Nei gruppi binari, passando da un tipo di funzionamento all'altro, il senso di rotazione si inverte; pertanto è sempre necessario fermare il gruppo ed invertire il senso ciclico delle fasi di alimentazione della macchina elettrica.**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



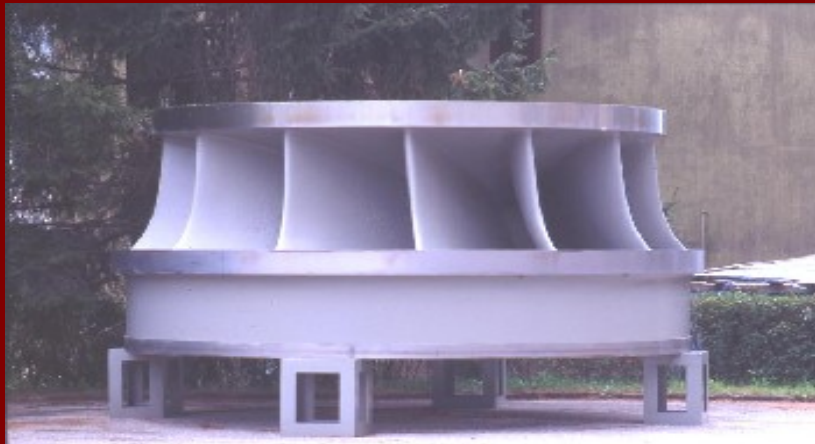
- La centrale di Fadalto

- **La centrale idroelettrica “Ottaviano Ghetti”, di Fadalto, fa parte del complesso di centrali che sfruttano il bacino idrografico del Piave.**

**Questo impianto sfrutta il serbatoio di monte del lago di S. Croce e di valle del Lago Morto.**



# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di Fadalto
- L'impianto attuale, entrato in servizio nel 1971, è dotato di una centrale in caverna in cui sono installati due gruppi ternari ad asse verticale (pompa radiale, turbina Francis, alternatore-motore) in grado di sviluppare una potenza massima di
  - 120 MW ciascuno (con portata massima 125 m<sup>3</sup>/s, salto motore 100 m).

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di Rottau in Carinzia
  -
- **La centrale idroelettrica di Rottau, fa parte del complesso di Centrali di Malta , in Carinzia, che sfruttano una zona del bacino idrografico dell'alta Drava.**
- **Utilizza il serbatoio in alta quota di Kolbrein (200 milioni di m<sup>3</sup>, a 1.700 m).**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- **La centrale di Rottau in Carinzia**

**La centrale è dotata di due gruppi ternari (pompa radiale multistadio, turbina Pelton) da 180 MW ciascuno, con caduta 1.100 m .**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- **La centrale di Rottau in Carinzia**

**La centrale è dotata di due gruppi ternari (pompa radiale multistadio, turbina Pelton) da 180 MW ciascuno, con caduta 1.100 m .**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- **La centrale di Edolo**
- **La centrale idroelettrica di pompaggio di Edolo, in Val Camonica, è entrata in servizio nel 1985.**
- **Ha una potenza installata di 1.000 MW ed è uno degli impianti idroelettrici più grandi in Europa.**

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di Edolo  
E' costituita da 2 serbatoi in quota (lago d'Avio e lago Benedetto) e 1 a valle (a Edolo).  
L'acqua, prelevata dai serbatoi a monte è convogliata in 2 condotte forzate alla centrale con un salto di 1.265 m.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di Edolo

L'impianto svolge i servizi di:

- -produzione di energia (media annua 220 GWh)
- -accumulo con pompaggio
- -disponibilità di immissione in rete di potenza in pochi minuti (emergenze)

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di Edolo
- è dotata di 8 gruppi reversibili ad asse verticale.
- Ogni pompa-turbina ha una potenza di 125 MW, ed è costituita da 5 giranti radiali in serie con distributore fisso e da un generatore-motore sincrono.



# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di Edolo
- è dotata di 16 valvole rotative (2 per ciascun gruppo) per intercettare il flusso d'acqua ad alta pressione (valvola di manovra + valvola di sicurezza).
- Il “lancio” della pompa viene fatto da una turbina.

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di CHIOTAS
- Diga ad arco-gravità della altezza di 130 m
- Capacità 27.3 milioni di m<sup>3</sup>

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di CHIOTAS
- IMPIANTO DI RIPOMPAGGIO  
Salto principale di 1.048 m, condotte forzate lunghe 1.550m , del diametro da 3.35 a 3.38 m
- la più grande centrale idroelettrica italiana, oltre 1.000 MW

# IMPIANTI IDROELETTRICI



- La centrale di CHIOTAS
- IMPIANTO DI RIPOMPAGGIO
- Pompe/turbine reversibili multistadio

# IMPIANTI IDROELETTRICI

- **Bibliografia:**
  - **Università di Udine : Impianti di accumulo mediante pompaggio:caratteristiche generali e peculiarità funzionali**
  - **Appunti del corso di formazione “Energie Alternative e Risparmio Energetico”, presso Ordine degli Ingegneri di Padova, De Carli M 2006**
  - **"Tornare al nucleare? L'Italia, l'energia, l'ambiente" libro del 2008 di Chicco Testa. Collana Gli Struzzi, Ediz. Einaudi**
  - **(EN) Australian Consumers Association. 1991. *The Energy Guide*. Australian Government Publishing Service. ISBN 0-646-05705-7**
  - **(EN) International Energy Agency. (2006) World Energy Outlook 2006. ISBN 92-64-10989-7**
  - **(EN) Smil, Vaclav. (2003) *Energy at the crossroads* MIT Press. ISBN 0-262-19492-9**
  - **(EN) Tester, Jefferson W. et al. (2005) *Sustainable Energy: Choosing Among Options*. The MIT Press. ISBN 0-262-20153-4**
  - **(EN) Yergin, Daniel (1993). *The Prize*. Simon & Schuster: New York. ISBN 0-671-79932-0**
  - **Wikipedia**
- a cura di Catello Masullo (c.masullo@hydroarchsrl.com)