



# scienza attiva<sup>®</sup>

EDIZIONE 2015/2016  
AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

*Il Mini-Hydro*

Paola Allamano

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e  
delle Infrastrutture, Politecnico di Torino



Un progetto di

  
agorà scienza  
centro interuniversitario



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO

Documento di livello: B

  
scienza attiva<sup>®</sup>

# Cosa sono i sistemi idroelettrici?

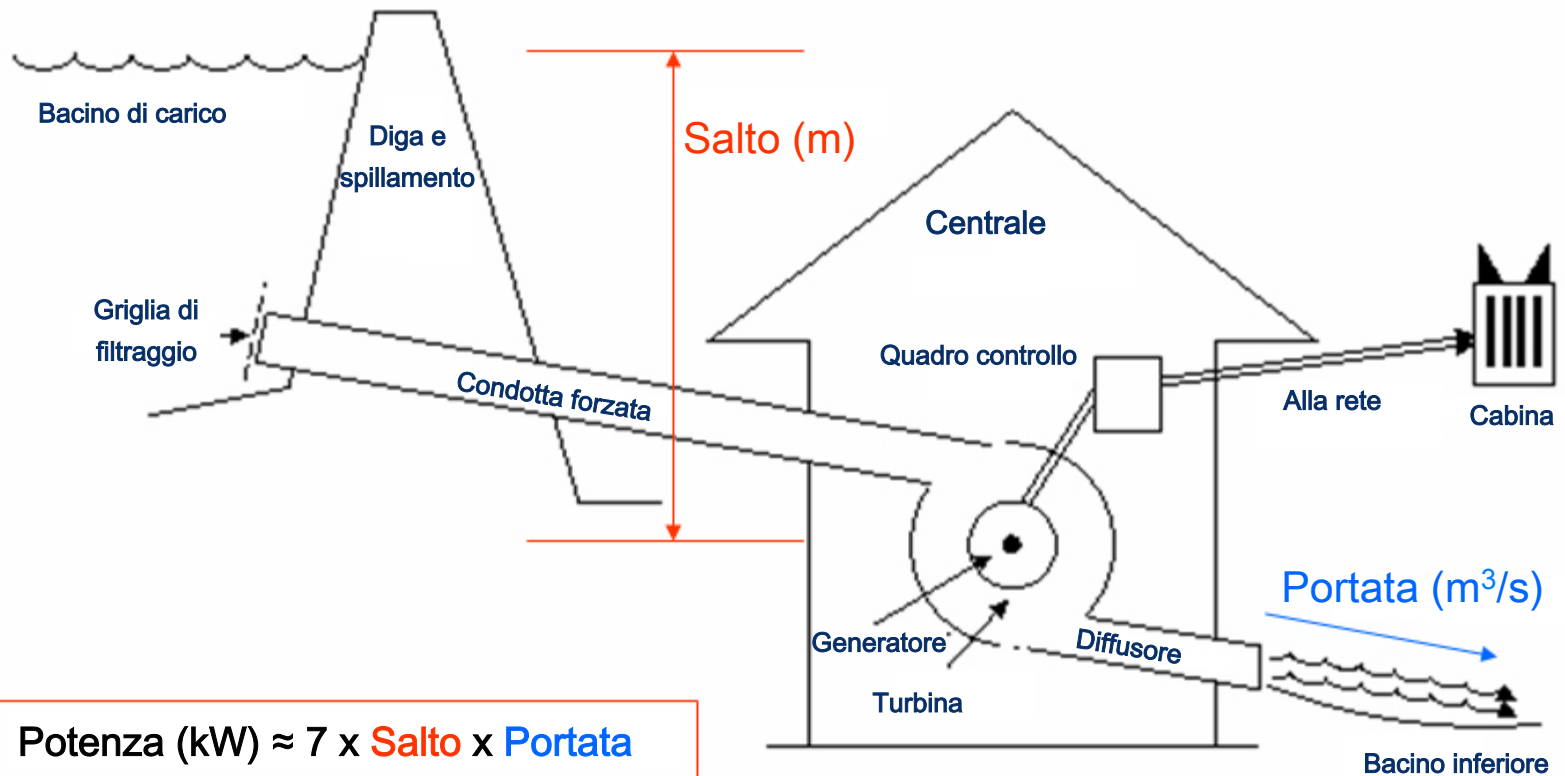


# L'impianto idroelettrico

Si definisce *impianto idroelettrico* l'insieme delle opere che:

- permettono di modificare il deflusso naturale delle acque di un fiume o di un torrente, allo scopo di deviarlo per un certo tratto su un nuovo percorso, con minima pendenza e minime perdite, al termine del quale si trova concentrato tutto il dislivello (salto);
- utilizzano il **salto** per azionare un motore idraulico con relativo generatore elettrico;
- scaricano la **portata** utilizzata nell'alveo dello stesso corso d'acqua a valle del punto di presa oppure nell'alveo di un altro corso d'acqua.

# L'impianto idroelettrico



# Energia idroelettrica generata nel mondo

	Potenziale tecnico (TWh/anno)	% Sviluppo
Africa	1.150	3
Asia del sud e Medio Oriente	2.280	8
Cina	1.920	6
Ex-Unione Sovietica	3.830	6
Nord America	970	55
Sud America	3.190	11
Centro America	350	9
Europa	1.070	45
Oceania	200	19

Fonte: *Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity*, 1993, Island Press.

# Cenni storici

## L'energia idroelettrica:

- ▶ Uso dell'energia dell'acqua come forza motrice
  - Mulini, trattamento dei tessuti, irrigazione, segherie, etc
- ▶ Fine XIX – inizio XX secolo: inizio generazione idroelettrica
  - Produzione energia su vasta scala
  - Primo impianto in Italia: 1890, Isoverde (Soc. Acquedotto de Ferrari Genova), tre centrali con potenza totale 1,200 kW
- ▶ Al 1997
  - In Italia: circa 1,800 impianti, P installata circa 20,000 MW (di cui grandi impianti di proprietà ENEL)
  - incremento interesse nel Piccolo Idroelettrico

# Impianti idroelettrici

- **Impianti ad acqua fluente**
  - ▶ nessuna capacità di regolazione degli afflussi: la **portata** sfruttata coincide praticamente con quella disponibile nel corso d'acqua, fino al limite consentito dalle opere di derivazione, non dimensionate per accettare i valori più elevati di portata ( brevi periodi durante le piene)
- **Impianti a deflusso regolato**
  - ▶ invaso alla presa del corso d'acqua allo scopo di adattare la **portata** utilizzata dalla centrale a quella del deflusso naturale in un certo arco di tempo
- **Impianti a bacino**
  - ▶ modeste capacità d'invaso: regolazione della **portata** su base per lo più giornaliera o settimanale
- **Impianti a serbatoio**
  - ▶ muniti di capacità d'invaso tali da consentire il trasferimento stagionale di volumi idrici e quindi della relativa produzione
- **Impianti di accumulo mediante pompaggio**
  - ▶ due serbatoi di estremità, ubicati a quote differenti e collegati mediante opere idroelettriche
  - ▶ assorbono dalla rete durante le ore di basso carico energia prodotta da altra fonte (prevalentemente termica tradizionale), per restituire una quantità minore, a causa delle perdite del ciclo, ma di pregio maggiore, in quanto fornita nelle ore di massima richiesta

**Che cos'è la portata?**





# La risorsa - Portata

- Portata = volume d'acqua che attraversa nell'unità di tempo una sezione normale del corso stesso
  - ▶ Si misura in m<sup>3</sup>/s (e talvolta l/s)
  - ▶ Concessioni demaniali : 1 MODULO = 100 l/s
- E' variabile, anche fortemente (es. regime torrentizio)
  - ▶ Se legata alla piovosità (es Italia) : max in primavera ed autunno
  - ▶ Se legata a scioglimento nevi: max inizio estate (min inverno)
- Deflusso (o Portata Integrale)
  - ▶ volume d'acqua che attraversa una certa sezione del corso d'acqua in un fissato intervallo di tempo (ad esempio un mese o un anno)
- Portata Media [0;T]

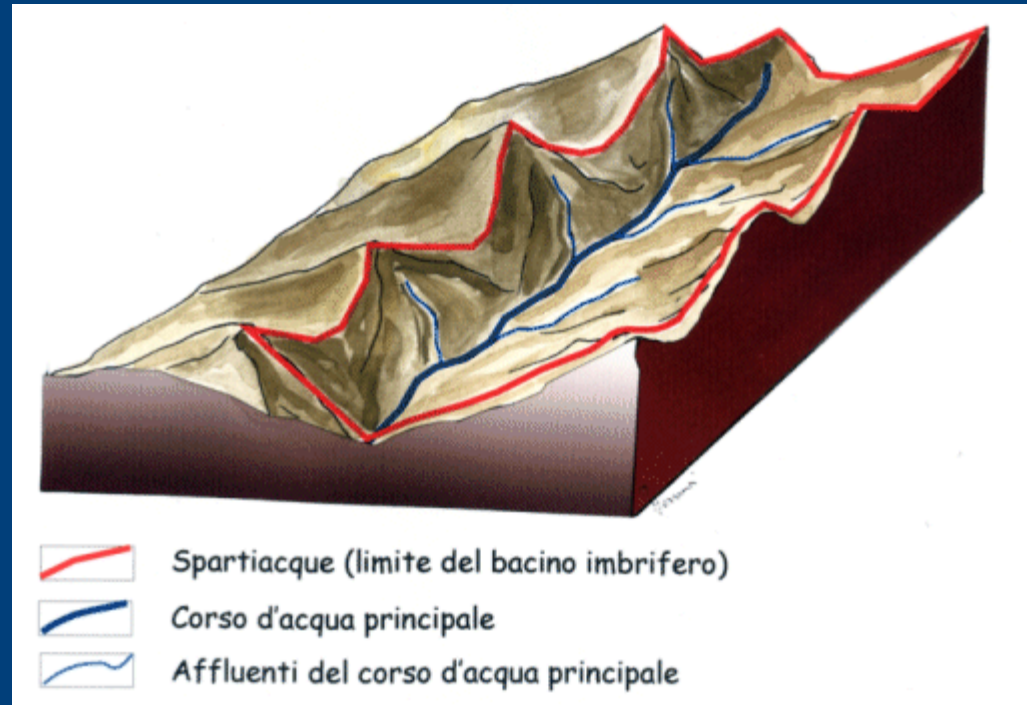
$$V(t) = \int_0^T Q(t)dt$$

$$Q_{\text{med}} = \frac{V(T)}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t)dt$$

**Da dove viene la risorsa?**

# Il bacino idrografico

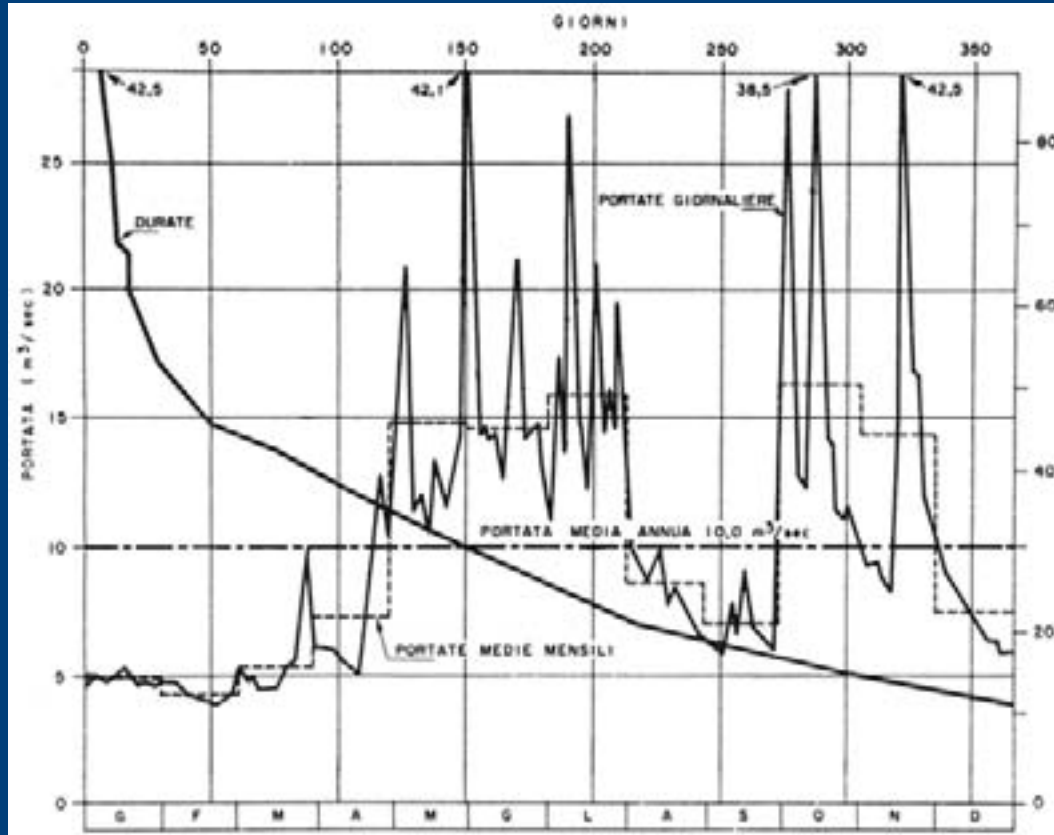
E' l'area topografica (solitamente identificabile in una valle o una pianura), delimitata da uno spartiacque topografico (superficiale), di raccolta delle acque che scorrono sulla superficie del suolo confluenti verso un determinato corpo idrico recettore (fiume) che dà il nome al bacino stesso.



In un bacino idrografico è possibile identificare un luogo di convergenza delle acque, detto *sezione di chiusura*, attraverso il quale passa tutto il volume dell'acqua raccolta superficialmente

# Idrogramma

E' il diagramma che riporta la serie temporale delle portate osservate alla sezione di chiusura del bacino in funzione del tempo



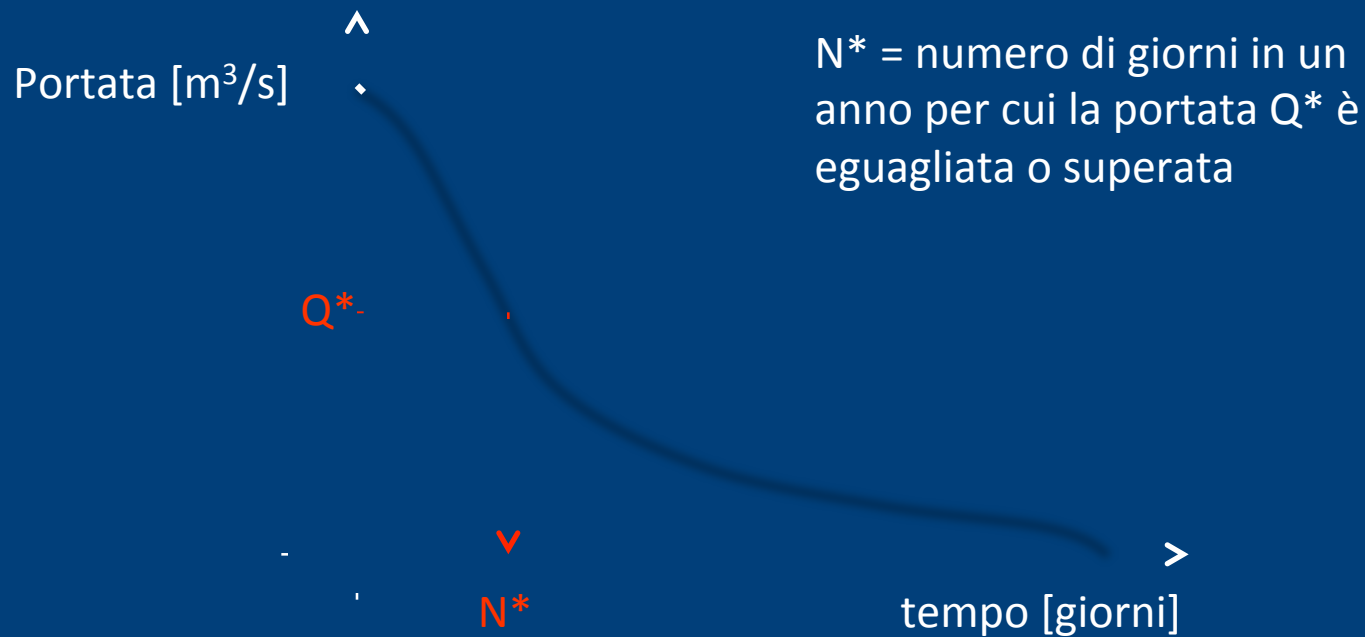
E' utile per ottenere la CURVA DI DURATA DELLE PORTATE

# Potenziali siti idroelettrici

E' necessario un fiume sfruttabile:

- Cambio di quota in una breve distanza (**salto**)
- Disponibilità **portata derivabile**  $Q^*$  per un periodo sufficientemente lungo ( $N^*$ )

## Curva di durata delle portate



L'analisi della FDC è il principale elemento per la progettazione dell'impianto e la scelta della macchina idraulica

## II MINI-HYDRO



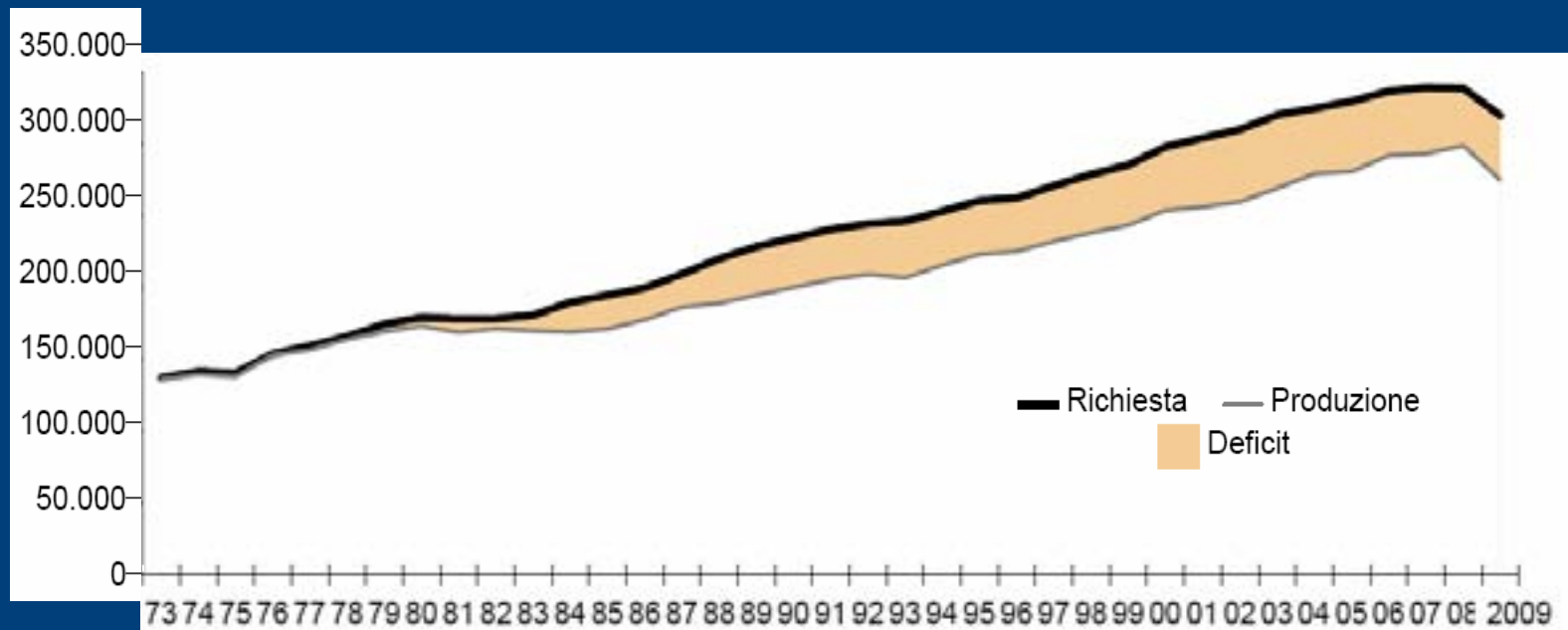
# “Piccoli” progetti idroelettrici: classificazione

- La taglia “Piccola” non è universalmente definita
- Mini idraulica è il termine con cui la UNIDO (Organizzazione delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Industriale) indica le centrali idroelettriche di potenza inferiore a 10 MW. In particolare vale la seguente classificazione:
  - ▶ pico centrali:  $P < 5 \text{ kW}$
  - ▶ micro centrali:  $P < 100 \text{ kW}$
  - ▶ mini centrali:  $P < 1.000 \text{ kW}$
  - ▶ piccole centrali:  $P < 10.000 \text{ kW}$
  - ▶ grandi centrali:  $P > 10.000 \text{ kW}$
- Questa convenzione è adottata anche da Commissione Europea, UNIPEDE (Unione Internazionale dei Produttori e Distributori di Energia Elettrica) ed ESHA (European Small Hydro Association).
- Nella realtà italiana invece l’Autorità per l’Energia Elettrica e il Gas (AEEG) pone come limite tra le mini e le grandi centrali il valore di 3000 kW (3 MW);

# PERCHE' IL MINI HYDRO? (1)

## 1) DEFICIT

Energia PRODOTTA in Italia nel 2009: 275.309 GWh  
Energia RICHIESTA in Italia nel 2009: 320.268 GWh  
DEFICIT: - 44.959 GWh



(Dati TERNA SpA: proprietario/responsabile della Rete di Trasmissione Nazionale di energia elettrica ad alta tensione)

# PERCHE' IL MINI HYDRO? (2)

## 2) FONTE RINNOVABILE

Dal 1997 l'obiettivo UE era di raddoppiare la percentuale di "energie rinnovabili" fino a coprire il 12% del fabbisogno energetico entro il 2010.

Nel 2004, la UE ha stabilito l'obiettivo di coprire con le energie rinnovabili il **20%** del consumo totale di energia entro il 2020.

L'idroelettrico e' la principale fonte rinnovabile (in Italia rappresenta il 75% della potenza rinnovabile lorda, fonte: TERNA).





# PERCHE' IL MINI HYDRO? (3)

## 3) MARGINI DI SVILUPPO

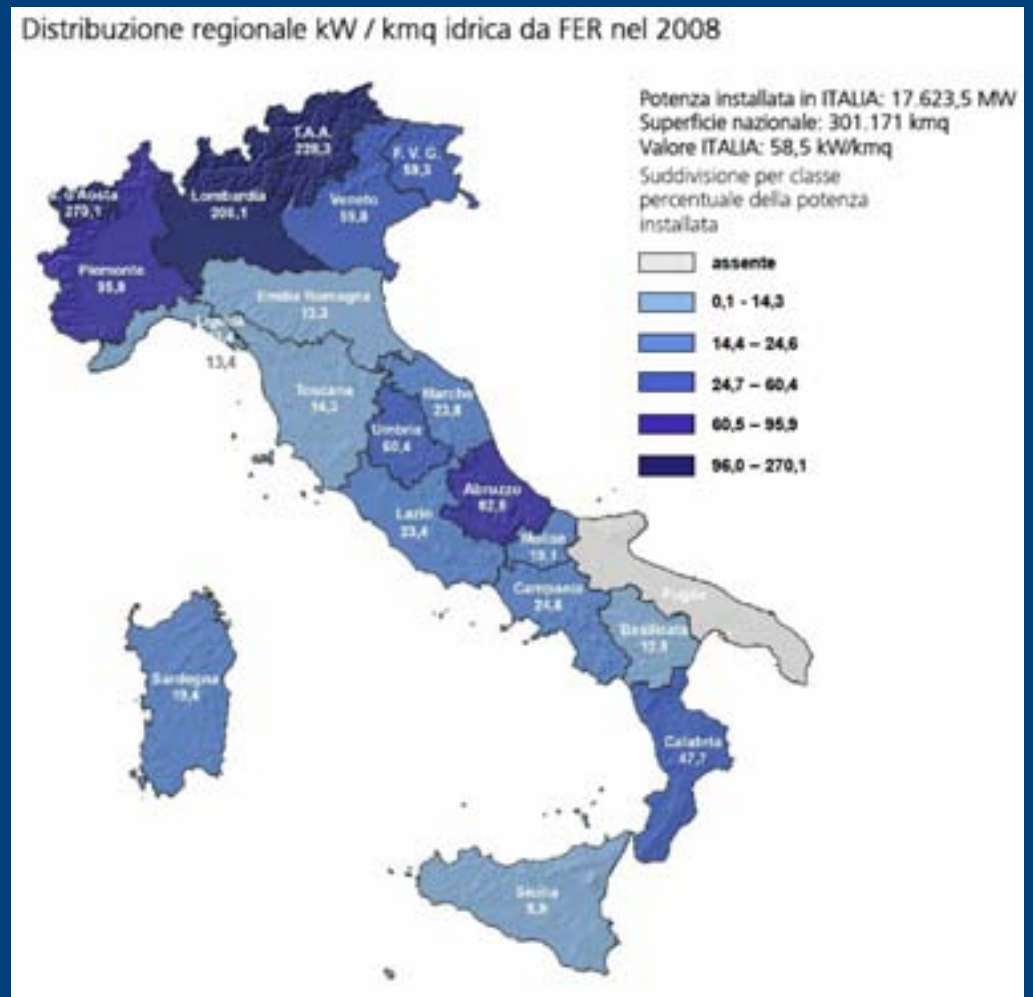
La **POTENZIALITA'** di sviluppo dei **grandi** impianti idroelettrici e' praticamente **ESAURITA**.

Impianti con basso salto e poca portata (**small-hydro** e **mini-hydro**) hanno piu' margine di sviluppo.

**Attenzione!**

**Bassa potenza = SOSTENIBILITA'**

**Bassa potenza = POCA ENERGIA**



# Componenti: turbine

- Versioni ridotte di grandi turbine idroelettriche
- Possibile efficienza fino al 90%
- Impianti ad acqua fluente: portata variabile
  - ▶ La turbina deve funzionare bene anche con portata molto fluttuante oppure devono essere utilizzate più turbine
- A reazione: Francis, elica a pale fisse, Kaplan
  - ▶ Per applicazioni con salto basso e medio
  - ▶ Le turbine sommerse usano la pressione dell'acqua e l'energia cinetica
- Ad azione: Pelton, Turgo, a flusso trasversale
  - ▶ Per applicazioni con salto alto
  - ▶ Utilizzano l'energia cinetica di portate d'acqua veloci



Foto: PO Sjöman Hydrotech Consulting

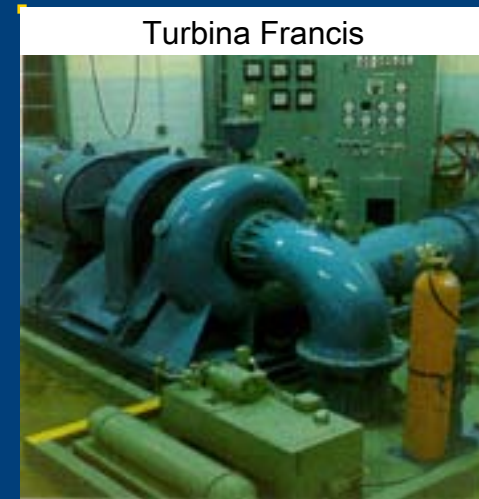


Foto: PO Sjöman Hydrotech Consulting

# Le portate caratteristiche

Applicazioni Ottimali		
Turbina	Salto (m)	Portata minima della turbina (% dalla massima)
Kaplan	2-20	20-30%
Francis	10-350	30%
Pelton	50-1300	10%
Cross-flow	3-200	15%
Turgo	50-250	10%
Elica	2-20	65%

# Componenti: opere civili

- Sbarramento o diga di diversione

- ▶ Piccola diga di semplice costruzione per gli impianti ad acqua fluente
- ▶ Cemento, legno, murature
- ▶ Il solo costo della diga può essere elevato

- Corso d'acqua

- ▶ Aspirazione con griglia di filtraggio;
- ▶ Canale scavato, galleria sotterranea e/o condotta forzata
- ▶ Valvole di intercettazione all'ingresso/uscita della turbina (per manutenzione)

- Centrale elettrica

- ▶ Centrale alloggiamento turbina e quadri elettrici



# Impianti collegati alla rete elettrica centrale

- Ad acqua fluente: la rete è alimentata quando c'è disponibilità di portata d'acqua
- Impianti di proprietà e gestiti da produttori di energia elettrica con autorizzazioni a lungo termine

Costruzione piccola centrale, Sud-Est degli Stati Uniti



Foto: CHI Energy

2,3 MW, 2 Turbine, Jasenie, Slovacchia



Foto: Emil Bedi (Foundation for Alternative Energy)/ Inforse

Costruzione piccola centrale, Newfoundland, Canada



Foto: CHI Energy

# Piccoli impianti idroelettrici per reti isolate

Esempi: Stati Uniti e Cina

- Comunità remote
- Complessi residenziali e/o industriali remoti

Piccolo generatore idroelettrico, Cina



Foto: International Network on Small Hydro Power



Piccolo impianto idroelettrico di King Cove da 800 kW  
Paese di 700 abitanti

Foto: Duane Hippe/ NREL Pix

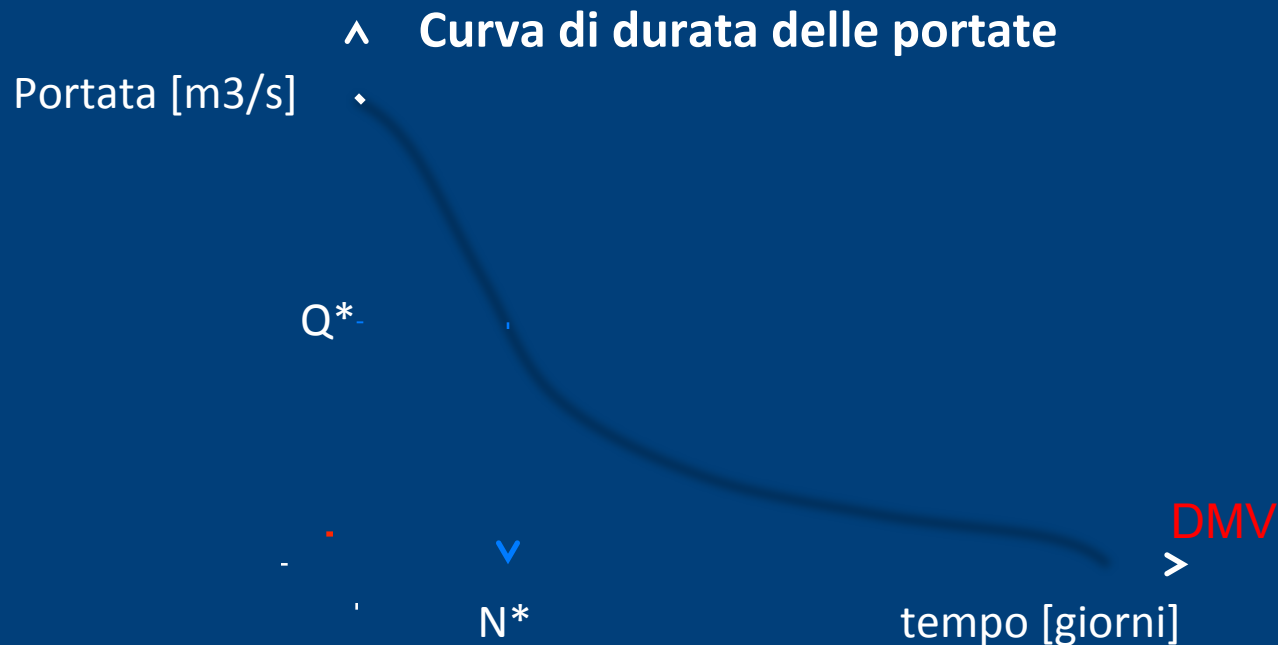
- Prezzo più alto pagato per l'elettricità
- Gli impianti ad acqua fluente hanno bisogno di potenze supplementari o potrebbero avere portate in eccesso

# Considerazioni ambientali

- I piccoli impianti idroelettrici possono cambiare:
  - ▶ L'habitat dei pesci
  - ▶ L'estetica del sito
  - ▶ Gli usi ricreativi e della navigazione
- I requisiti d'impatto ambientale dipendono dal sito e dal tipo di progetto:
  - ▶ Ad acqua fluente con dighe esistenti: relativamente minori
  - ▶ Ad acqua fluente da sviluppare: costruzione diga/sbarramenti/deviazioni
  - ▶ A bacino: impatto più grande con l'aumentare della dimensione dell'impianto

# Deflusso Minimo Vitale

Per deflusso minimo vitale o DMV si intende quel quantitativo di acqua rilasciata da una qualsiasi opera di captazione sull'asta di un fiume, in grado di garantirne la naturale integrità ecologica, con particolare riferimento alla tutela della vita acquatica.





# CENNI di IDRAULICA

# Le grandezze idrauliche

Una delle fondamentali leggi dell'idraulica, il teorema di Bernoulli, afferma che per un liquido perfetto in regime permanente è costante la somma dell'energia di posizione, dell'energia di pressione e dell'energia cinetica in ogni punto di un medesimo filetto fluido.

Il trinomio di somma costante

$$h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

rappresenta l'energia che l'unità di peso del liquido in moto possiede per il fatto che nel punto di quota  $h$  è dotata di velocità  $v$  ed è sottoposta alla pressione  $p$ .

Assunto un piano orizzontale di riferimento ed esaminando una sezione verticale della corrente nel senso del movimento, si ha che:

- la linea luogo dei punti di ordinata  $h$  è la traiettoria della particella fluida,
- la linea luogo dei punti di ordinata  $\left(h + \frac{p}{\gamma}\right)$  è la linea piezometrica,
- la linea luogo dei punti di ordinata  $\left(h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}\right)$ , che per il teorema di Bernoulli è una retta parallela al piano di riferimento, è la retta dei carichi idraulici o totali.

# Le grandezze idrauliche

Ognuno dei tre termini di energia risulta espresso in metri, avendo fatto riferimento all'unità di peso di liquido ed essendo  $\gamma$  il suo peso specifico.

In un filetto liquido elementare di sezione  $d\sigma$ , normale alla direzione del moto, l'energia trasportata dalla corrente nell'unità di tempo sarà:

$$dP = \left( h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right) \gamma v \cdot d\sigma$$

essend  $v \cdot d\sigma = dq$  la portata istantanea del filetto fluido.

Considerando la corrente liquida nel suo insieme, se  $\sigma_1$  ne è una sezione trasversale normale e  $v$  è la velocità costante in tutti i punti di essa, la potenza della corrente sarà:

$$P = \gamma \int_{\sigma_1} \left( h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right) v \cdot d\sigma = \gamma Q \left( h + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right)$$

# Le grandezze idrauliche

Poiché la portata  $Q$  di una corrente permanente è costante, dal teorema di Bernoulli si può concludere che la potenza presenta lo stesso valore per tutte le sezioni trasversali della corrente .

In realtà nei fluidi reali, che sono viscosi, la potenza non si manterrà costante lungo il percorso, ma diminuirà nel senso del moto in conseguenza delle azioni dissipatrici di energia, dovute agli attriti interni che ne trasformano una parte in calore.

L'espressione della potenza può essere semplificata, nel caso delle centrali idroelettriche, considerando una sezione in corrispondenza del serbatoio a monte.

In tal caso il termine cinetico è trascurabile e il termine  $p/\gamma$  è nullo perché la pressione è quella atmosferica di riferimento.

Se  $H$  è il dislivello (denominato *salto*) tra il serbatoio a monte e la turbina, la potenza teorica disponibile sarà:

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

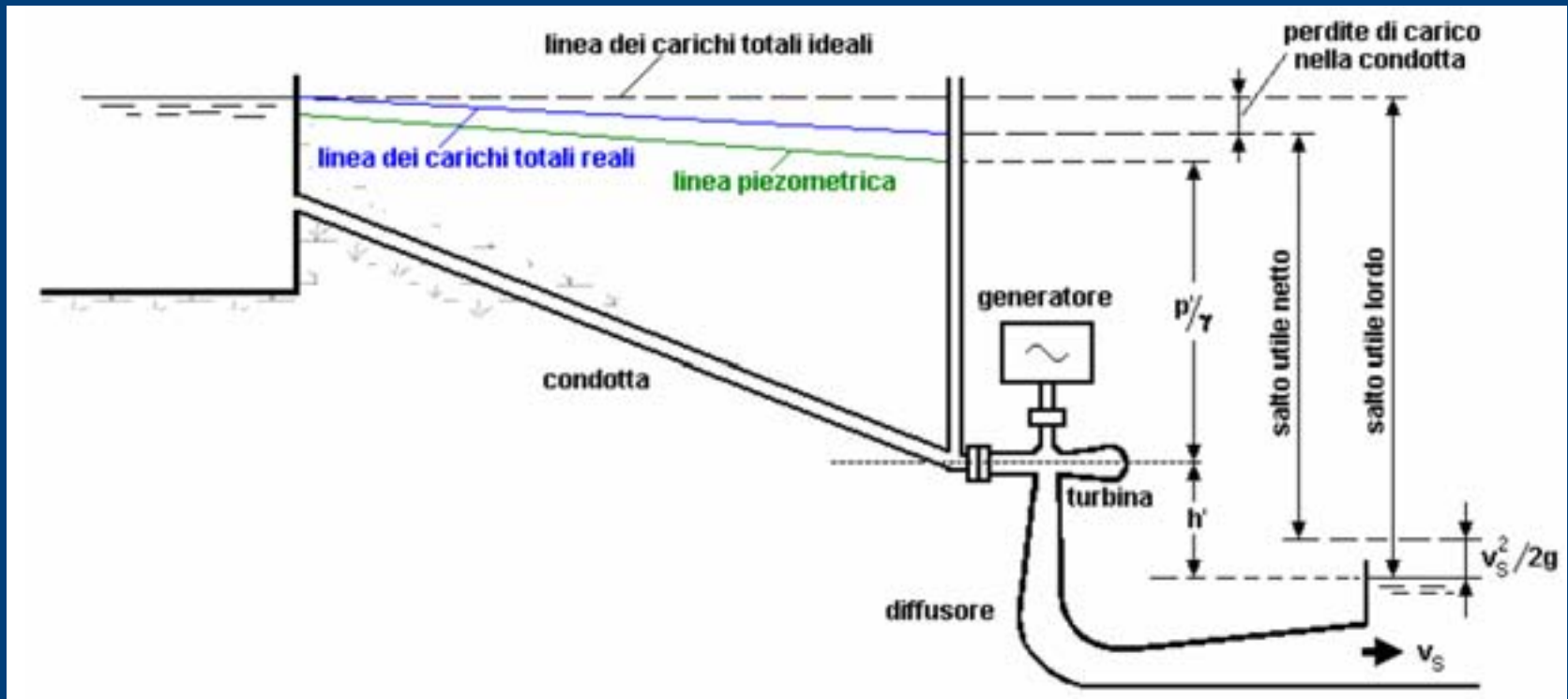
Misurando la portata in  $m^3/s$  e il salto in metri, poiché il peso specifico dell'acqua vale  $1000 \text{ kg}/m^3$ , la potenza in kW sarà data da:

$$P \text{ [kW]} = 9,81 \cdot Q \text{ [m}^3\text{/s]} \cdot H \text{ [m]}$$

# Definizioni

Valgono le seguenti definizioni:

- **salto utile lordo**: è il dislivello fra il pelo d'acqua nella vasca di carico e il pelo d'acqua nel canale di restituzione immediatamente a valle dei motori idraulici.
- **salto utile netto** (o motore): è quella parte del salto utile lordo che viene effettivamente utilizzata dai motori idraulici; è pertanto la differenza fra il carico totale della corrente all'entrata e il carico totale della corrente all'uscita della turbina.



# Definizioni

Il salto utile è generalmente variabile, specialmente negli impianti fluviali e in quelli alimentati da serbatoi soggetti a forti escursioni di livello. Se l'escursione del livello nel serbatoio è inferiore al 10% del valore medio del salto, è lecito introdurre nei calcoli un salto utile medio, assumendo come livello nel serbatoio la quota del baricentro del volume utile di invaso.

- **portata massima derivabile di un impianto idroelettrico (in m<sup>3</sup>/s)**: è quella complessivamente erogabile attraverso l'insieme dei motori idraulici della centrale che possono funzionare contemporaneamente ed alla quale sono commisurate le gallerie in pressione, le condotte forzate e il canale di restituzione. Se il canale derivatore è a pelo libero, esso può essere commisurato a una portata minore, quando esiste una capacità di accumulo al suo termine (bacino di carico).
- **deflusso utilizzabile** (o derivabile) in un dato intervallo di tempo T: è la quantità di acqua, espressa in m<sup>3</sup>, che può essere utilizzata (o derivata) durante l'intervallo di tempo considerato, in relazione con la massima portata derivabile.
- **portata media utilizzabile** (o derivabile) in un dato intervallo di tempo T: è il rapporto fra il deflusso utilizzabile durante quell'intervallo di tempo e il tempo espresso in secondi.

# Definizioni

- **potenza legale** (o di concessione) di una utilizzazione: è la potenza idraulica media, espressa in kW, teoricamente disponibile nell'anno in relazione alla portata e al salto di concessione dell'impianto idroelettrico considerato:

$$P_c = 9,81 \cdot \frac{\sum Q \cdot H}{n}$$

dove Q e H sono rispettivamente le portate e i salti medi utilizzabili nei singoli giorni o mesi dell'anno e n è il numero dei giorni o dei mesi a cui è estesa la sommatoria.

- **potenza effettiva** corrispondente ad una portata Q e a un salto H: è la potenza effettivamente sviluppabile dai generatori per quella portata e quel salto.

Espressa in kW, essa è pari a:  $P_e = 9,81 \cdot \eta_c \eta_t \eta_g \cdot Q \cdot H$

dove  $\eta_c$   $\eta_t$   $\eta_g$  sono i rendimenti delle condotte forzate, dei motori idraulici e dei generatori elettrici in corrispondenza di quella portata.

Assumendo un rendimento medio complessivo dell'impianto dell'ordine dell'80%, si può scrivere, con buona approssimazione per calcoli di massima:

$$P_e [kW] \cong 8 Q H$$

# Definizioni

- *energia teorica* ricavabile in un intervallo di tempo T.

Espressa in kWh, essa è data da:

$$E_t = \frac{\sum D \cdot H}{367,2}$$

dove D e H sono rispettivamente i deflussi derivabili e i salti medi (utili lordi) disponibili nei singoli giorni o mesi dell'intervallo T.

- *producibilità di un impianto* in un intervallo di tempo T: è l'energia effettivamente producibile nell'intervallo di tempo considerato, ottenuta moltiplicando la corrispondente energia teorica per il rendimento dell'impianto.
- *producibilità media annua di un impianto* (o di un gruppo di impianti): è rappresentata dall'energia effettivamente producibile in un anno idrologicamente medio, nel quale cioè si assumono come deflussi effettivi i deflussi medi di un lungo periodo di anni, nei limiti della portata massima derivabile e nelle sue condizioni più favorevoli di esercizio e di funzionamento, per il solo scopo della produzione di energia attiva.

La producibilità media annua è quella che normalmente viene assunta a base dei programmi di costruzione degli impianti.



# Definizioni

- **capacità utile di un serbatoio**: è il volume compreso fra la minima e la massima quota di ritenuta, esclusi i sopraelevamenti eventualmente consentiti per lo scarico superficiale delle piene.
- **energia accumulata in un serbatoio**: espressa in kWh, è data dalla capacità utile moltiplicata per il salto utile lordo medio complessivo e per il rendimento medio dell'impianto.

$$E_a = \eta \frac{C_u \cdot H_u}{367,2}$$

- **grado di regolazione di un impianto idroelettrico**: è dato dal valore percentuale del rapporto fra la massima riserva di energia elettrica del serbatoio di cui è dotato l'impianto e la producibilità media annua dell'impianto stesso.

$$r\% = \frac{\eta \frac{C_u \cdot H_m}{367,2}}{\eta \frac{D_m \cdot H_m}{367,2}} 100 = \frac{C_u}{D_m} 100$$