

## • DIGHE E TRVERSE

Il principale scopo delle dighe e delle traverse è quello di accumulare acqua. In particolare i principali scopi delle dighe sono quelli di accumulare acqua per uso:

- idrico potabile;
- irriguo;
- idroelettrico;
- altico;

e per la protezione del territorio (regolarizzazione delle piene).

L'utilizzo di tale acqua per la produzione di energia idroelettrica non è esclusivo: è possibile turbinare l'acqua e successivamente utilizzarla per altri scopi, ad esempio per uso irriguo. Si parla, infatti, di utilizzo e non di consumo per la produzione di energia.

Gli impianti idroelettrici sono classificabili in base alla durata di invaso dei serbatoi:

- impianti a serbatoio (serbatoio di regolazione stagionale): con durata di invaso maggiore o uguale a 400 ore;
- impianti a bacino (bacino di modulazione settimanale o giornaliera): con durata di invaso minore di 400 ore e maggiore di 2 ore;
- impianti ad acqua fluente: utilizzo della portata fluente senza alcuna regolazione.

In Italia si definiscono:

- grandi dighe le opere che superano i 15 metri di altezza o che determinano un volume di invaso superiore a  $1'000'000 \text{ m}^3$ ;
- piccole-medie dighe tutte le altre opere di ritenuta, ad esclusione dei laghetti totalmente interrati e delle opere che non costituiscano fonte di rischio per la pubblica incolumità.

Secondo il D.M. LL. PP. 24 Marzo 1982 le dighe vengono suddivise nelle seguenti categorie:

- dighe murarie:
  - > a gravità:

- ordinarie;
- a spononi, a vani interni;

→ a volta:

- ad arco;
- ad arco-gravità;
- a cupola;

→ a volte o solette, sostenute da contrafforti;

- dighe di materiali sciolti:

- di terra omogenee;
- di terra e/o pietrame, zonate, con nucleo di terra più tenuta;
- di terra permeabile o pietrame, con manto o diaframma di tenuta di materiali artificiali.

• IMPIANTI IDROELETTRICI: CONCETTI INTRODUTTIVI

Definiamo:

- SALTO NATURALE DISPONIBILE: dislivello fra il pelo d'acqua del corso utilizzato al termine del rigurgito creato dalle opere di sbarramento e il pelo d'acqua nella sezione di restituzione a valle dei manufatti di scarico.
- SALTO UTILE LORDO: 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): parte del salto utile lordo effettivamente utilizzata dai motori idraulici; uguale alla differenza fra il carico totale della corrente all'entrata nei motori idraulici e il carico totale all'uscita dai medesimi nel canale di restituzione.
- PORTATA MEDIA (o DEFLUSSO) DISPONIBILE: portata media (o deflusso) del corso d'acqua nella sezione di derivazione in un lungo intervallo di tempo (possibilmente non meno di un quinquennio).
- PORTATA MASSIMA UTILIZZABILE: massima portata che l'impianto è in grado di utilizzare in relazione alle dimensioni delle sue diverse parti (opere di presa, condotte, macchinari, ecc.).
- DEFLUSSO UTILIZZABILE: deflusso che l'utilizzazione ha assorbito (o potrebbe assorbire) in



un lungo intervallo di tempo, in relazione al valore della portata massima utilizzabile <sup>2</sup> dall'impianto.

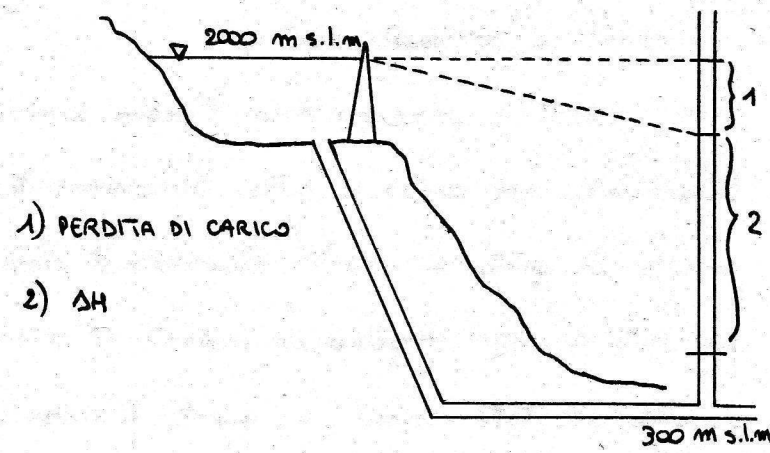
- PORTATA MEDIA UTILIZZABILE: quoziente del deflusso utilizzabile per l'intervallo di tempo al quale il deflusso stesso si riferisce.
- POTENZA TEORICA O NOMINALE DI UNA UTILIZZAZIONE: potenza idraulica teoricamente disponibile nell'anno in relazione alla portata e al salto.
- POTENZA IDRAULICA (O ELETTRICA) INSTALLATA IN UNA CENTRALE: potenza complessiva dei motori idraulici (o dei generatori elettrici) installati, comprese le eventuali riserve.

La potenza teorica di un impianto e' data dalla seguente formula:

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

dove:

- $\gamma$  = PESO SPECIFICO (dell'acqua)
- $Q$  = PORTATA [ $\frac{m^3}{s}$ ]
- $\Delta H$  = SALTO [m]

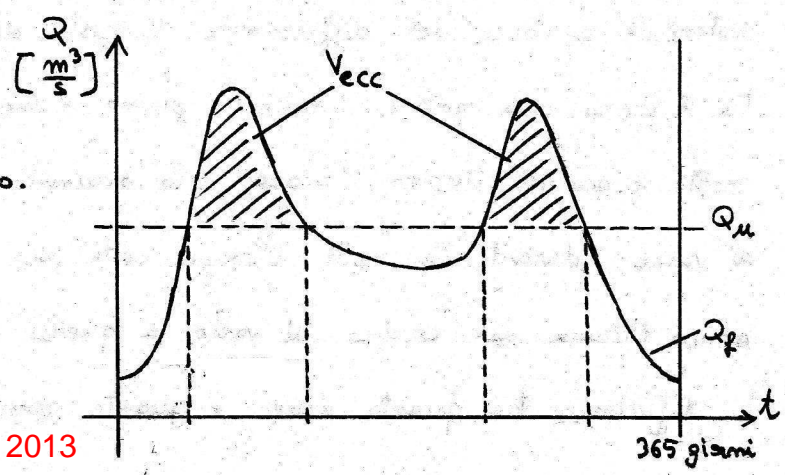
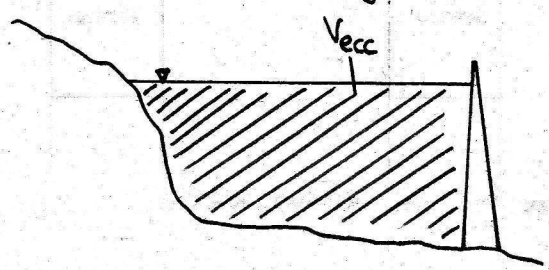


A seconda del tipo di impianto si utilizzano due diversi tipi di turbine:

- turbine Pelton: alti  $\Delta H$  e basse  $Q$ ;
- turbine Kaplan: alte  $Q$  e bassi  $\Delta H$ .

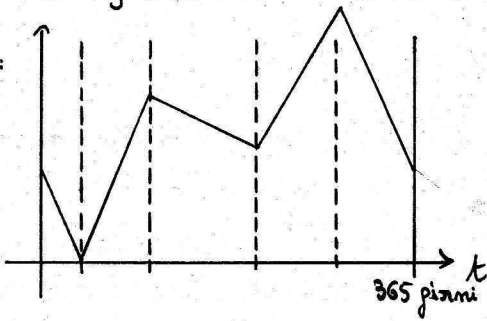
Perche' si costruiscono le dighe?

Supponiamo di osservare un fiume. La sua portata durante l'anno  $Q_f$  ha l'andamento riportato nel grafico. Una diga permette accumulare l'acqua in eccesso, cioè l'acqua che si trova sopra il livello dell'utilizzazione  $Q_u$ , per poterla utilizzare nei periodi in cui  $Q_f < Q_u$ . Il volume tratteggiato viene definito VOLUME IN ECCESSO ed e' quello che deve essere immagazzinato nel serbatoio.



Il fiume viene regolarizzato. Il livello dell'acqua nel serbatoio avrà il seguente andamento

nel tempo:



Questo tipo di regolazione si chiama **REGOLAZIONE COMPLETA**.

Gli impianti appena descritti rilasciano a valle dello sbarramento l'acqua turbinata. Esistono degli impianti che rilasciano tale acqua in un bacino posto a valle della centrale, anch'esso creato per mezzo di una diga. Tali impianti si suddividono in:

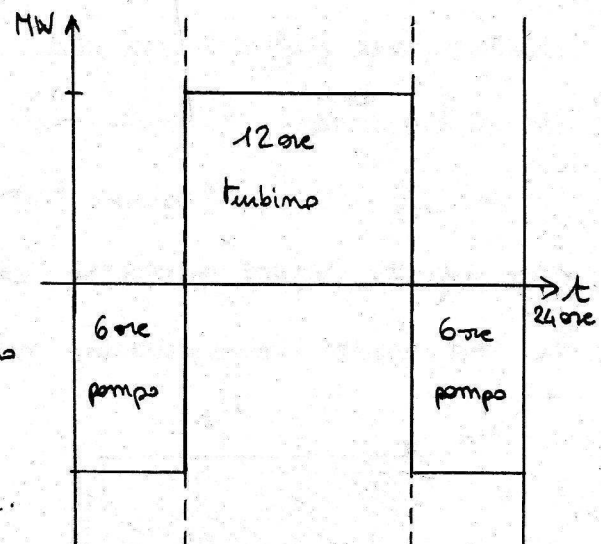
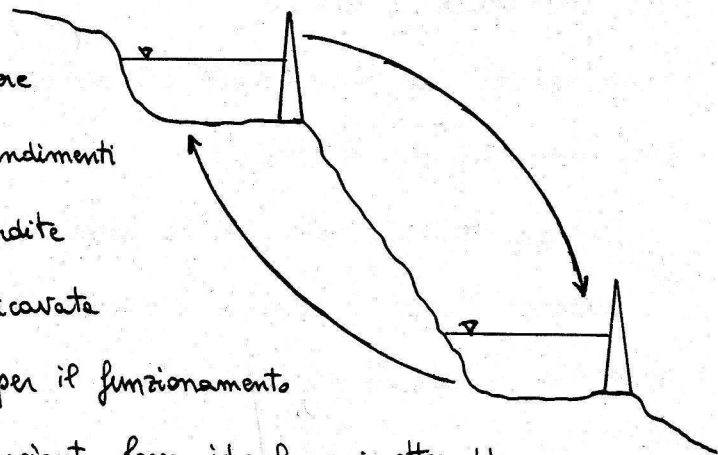
- impianti a pompaggio puro;
- impianti a pompaggio misto.

Negli impianti a pompaggio puro l'acqua accumulata nel bacino a monte viene turbinata ed accumulata nel bacino a valle. Successivamente, la medesima acqua viene pompata dal bacino a valle in quello a monte, chiudendo il ciclo.

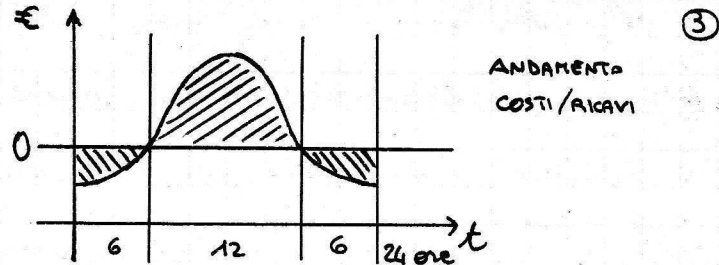
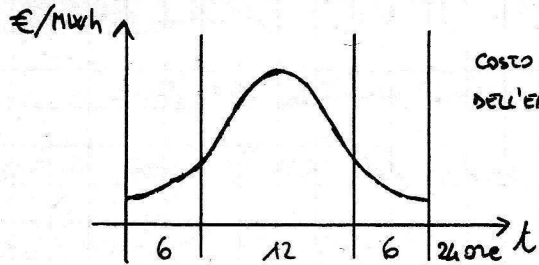
Dal punto di vista energetico un impianto di questo genere risulta del tutto assurdo, in quanto a causa dei rendimenti non unitari delle macchine idrauliche e delle perdite concentrate e distribuite nelle condotte, l'energia ricavata dalle turbine è sempre minore dell'energia spesa per il funzionamento delle pompe. Solamente nel caso in cui l'intero impianto fosse ideale si otterrebbe un bilancio energetico nullo. Quindi l'impianto è sempre in perdita.

Un tale impianto risulta tuttavia economicamente sostenibile a causa del differenziale di costo dell'energia tra il giorno e la notte: durante il giorno l'energia costa molto e quindi turbinata l'acqua e la accumulo nel bacino di valle; durante la notte l'energia costa poco e quindi pompa l'acqua dal bacino di valle a quello di monte.

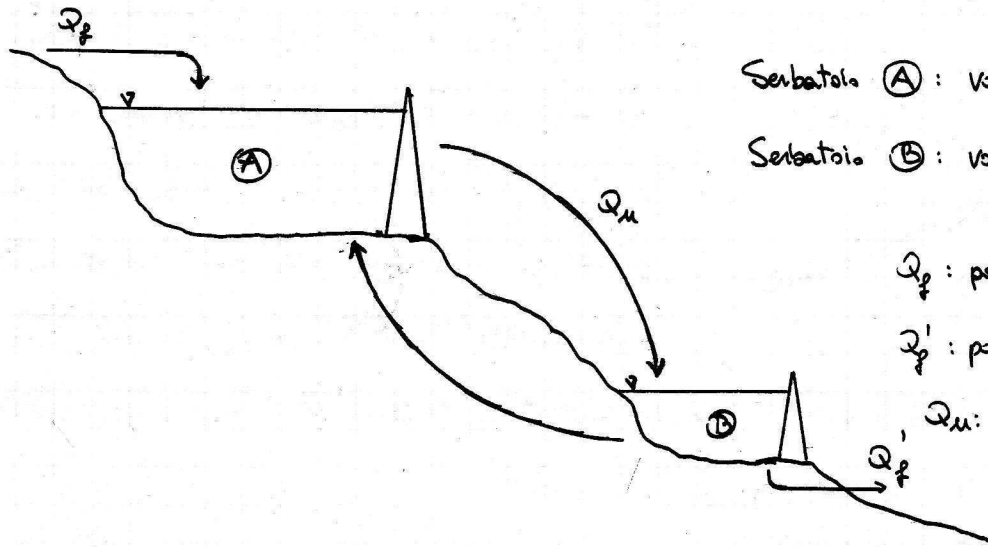
La differenza tra quanto ricavato e quanto speso si traduce in un **RICAVO NETTO**.







Gli impianti a pompaggio misto fondono i due impianti analizzati finora.



Serbatoio (A): volume di  $X \text{ Mm}^3$  (stagionale)

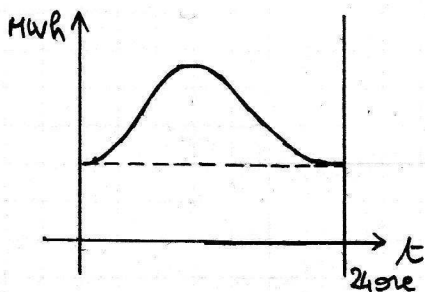
Serbatoio (B): volume di  $\frac{X}{100} \text{ Mm}^3$  (giornaliero)

$Q_f$ : portata affluente nel serbatoio (A)

$Q_f'$ : portata defluente a valle

$Q_u$ : portata turbinata

Consideriamo il seguente andamento dei consumi giornalieri (MWh):



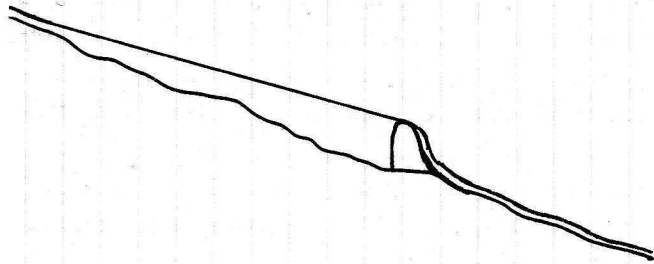
dato che gli impianti termoelettrici e nucleotermoelettrici sono caratterizzati da inerzie piuttosto elevate, non sono in grado di seguire le rapide variazioni di carico del sistema elettrico nazionale. Gli impianti

idroelettrici, al contrario, sono in grado di rispondere alle variazioni di richiesta energetica in tempi molto brevi. Normalmente le centrali termoelettriche e nucleotermoelettriche vengono impiegate per la produzione della base (energia al di sotto della linea tratteggiata), mentre gli impianti idroelettrici sono utilizzati per sopprimere ai picchi di richiesta (energia al di sopra della linea tratteggiata).

Gli ultimi impianti idroelettrici che consideriamo sono quelli ad acqua fluente. Questi impianti non possiedono un bacino od un serbatoio in cui accumulare l'acqua: l'acqua viene captata direttamente dal fiume, turbinata e rilasciata a valle nel medesimo corso d'acqua. In generale, quindi, non sono caratterizzati da alti  $\Delta H$ .

Dato che solitamente i fiumi sono caratterizzati da TRASPORTO SOLITO, che muoverebbe velocemente

le pale della turbina, e buona norma costruire una traversa. Una traversa è un'opera artificiale posta in mezzo ad un corso d'acqua, perpendicolarmente alla direzione principale del flusso, al fine di rigurgitare a monte una parte dell'acqua innalzando il livello del pelo d'acqua. In tale modo si crea un piccolo volume di acqua calma che favorisce il deposito del trasporto solido e la sua sedimentazione al di sotto delle prese di captazione dell'impianto.



Dato che, come è stato detto, manca il bacino di accumulazione dell'acqua, le traversa non sono in grado di regolarizzare il fiume, anzi nei periodi di piena, se non sono correttamente movimentate (aperte), possono favorire l'esondazione

del fiume a monte dello sbarramento. Per questo motivo le traversa sono tipicamente costituite da pilastri fissi in calcestruzzo interposti a paratie apribili.

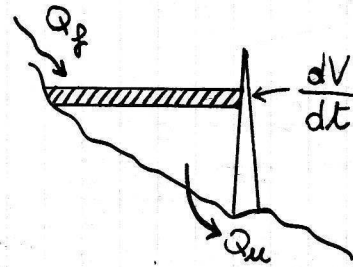
#### • DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO IDROELETTRICO

Il dimensionamento dei serbatoi si basa sull'EQUAZIONE DI CONTINUITÀ:

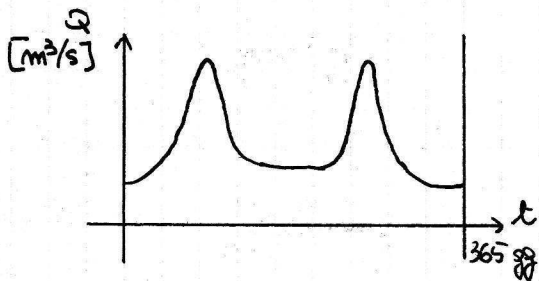
$$\frac{dV}{dt} = Q_p - Q_u$$

dove  $Q_p$  = PORTATA IN INGRESSO (DEL FIUME)

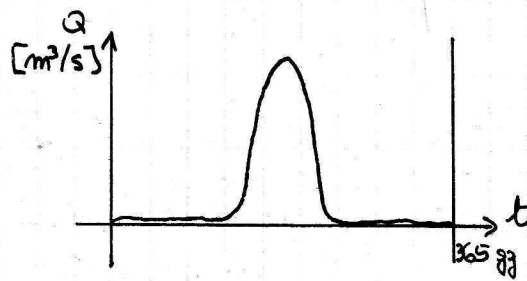
$Q_u$  = PORTATA USCENTE



La portata del fiume  $Q_p$  si conosce dallo studio del CICLO IDROLOGICO del fiume stesso, cioè dal grafico che esprime quanta acqua passa nel fiume in funzione del tempo. Si possono avere diversi regimi fluviali: ad esempio



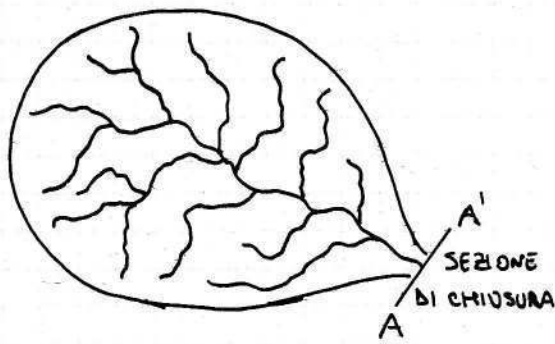
REGIME ALPINO O GIACIALE



REGIME NON ALPINO (MONSONICO)

Per capire e determinare il ciclo idrologico devo studiare il BACINO IDROGRAFICO.



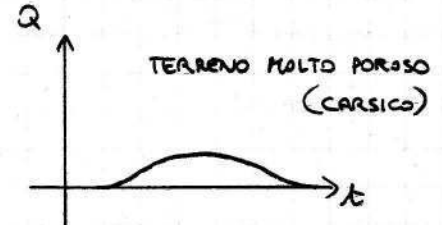
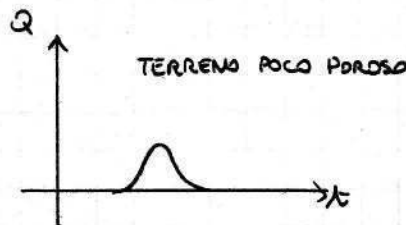
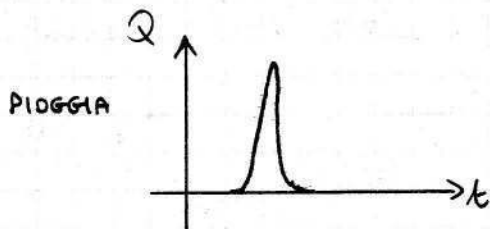


④ L'acqua che interessa la sezione di chiusura è tutta quella compresa nel bacino idrografico sotteso.

Da dove arriva quest'acqua? L'acqua cade dal cielo. Un buon 10 ÷ 30% rimane sulle fronde degli alberi e circa il 20 ÷ 80% va nel sottosuolo. L'acqua che

rimane scorie sul terreno e alimenta i fiumi. I fiumi sono quelli che "alimentano" la sezione di chiusura.

La pioggia che cade si misura in  $\frac{\text{mm}}{\text{h}}$ . Il tempo impiegato dall'acqua piovuta ad arrivare presso la sezione di chiusura (diga o traversa) si definisce TEMPO DI CORRIVAZIONE. A seconda del tipo di terreno il tempo di corruzione può cambiare notevolmente:



Per quanto riguarda la produzione di energia il terreno impermeabile è il caso peggiore, è molto più favorevole il caso di terreno poroso.

Una parte dell'acqua piovuta, inoltre, non arriva mai alla sezione di chiusura, in quanto ritorna in atmosfera: è la quota di EVAPOTRASPIRAZIONE.

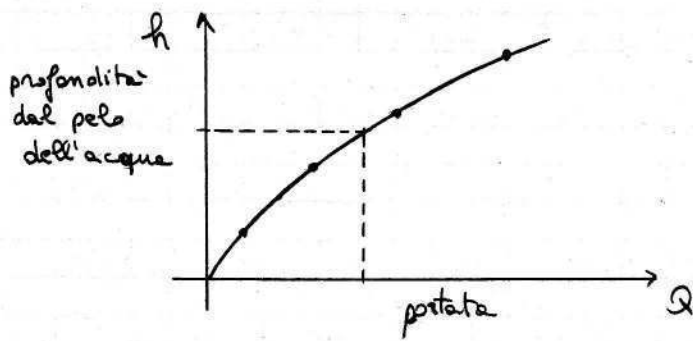
Come si quantifica l'acqua che passa presso la sezione di chiusura? Esistono due metodi:

- metodo diretto:

consiste nella misura della portata. La portata  $Q$  è calcolata a partire dalla conoscenza dell'area della sezione di chiusura  $A$  e dalla misura della velocità media  $v_m$  con cui l'acqua transita attraverso  $A$ :

$$Q = v_m \cdot A.$$

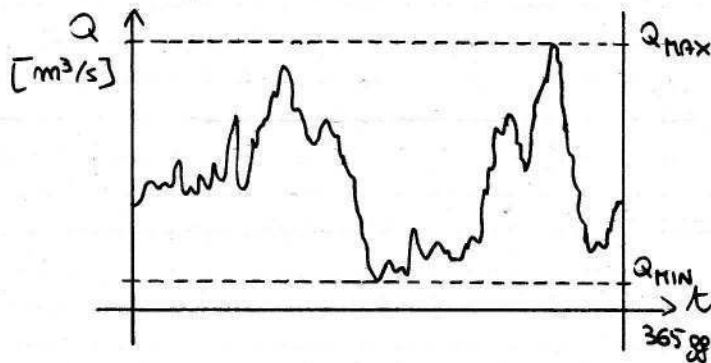
L'inconveniente di questo metodo è il costo elevato (grande numero di sensori di velocità per avere una stima sufficientemente esatta della velocità). Infatti si tende a ricavare numericamente la CURVA DELLE PORTATE con cui si stima la portata:



- metodo inclinetto:

consiste nell'applicazione del modello afflussi - deflussi. In sostanza, si utilizzano dei modelli numerici che ricevono in input i dati ricavati dai PLUVIOMETRI (misuratori di pioggia) e che danno come output una previsione di come l'acqua si propagerà a valle, tra cui la portata alla sezione di chiusura.

Si ricavano dei grafici che esprimono l'andamento della portata in funzione del tempo:

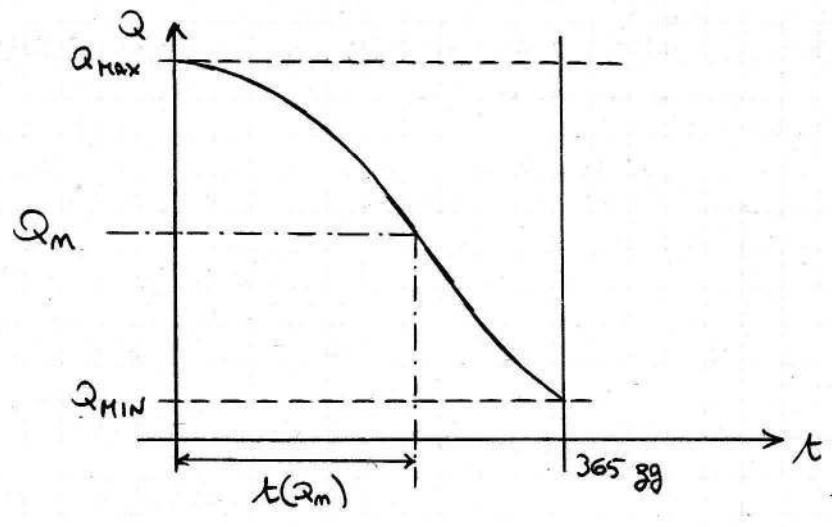


Dopo aver calcolato o ricavato la portata presso la sezione di chiusura ci si deve domandare se sia necessaria la costruzione di una diga o di una traversa.

Per rispondere alla domanda è necessario tracciare la CURVA DELLE DURATE che indica il numero di giorni in un anno per i quali si ha una determinata portata. La curva delle durate si traccia partendo dal grafico della portata in funzione del tempo. Se ne calcola la funzione distribuzione di probabilità (pdf) e la si normalizza su 365 gg. In questo modo si ottiene il grafico seguente che è caratterizzato dal fatto di veder realizzata la  $Q_{max}$  per un solo giorno e la  $Q_{min}$  per tutto l'anno (365 giorni).

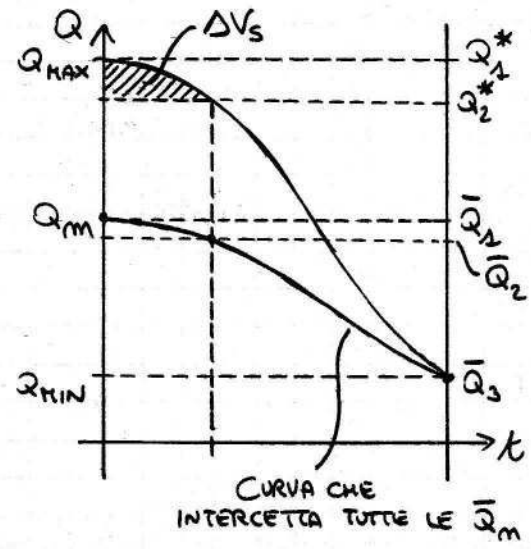
Fissando un valore  $Q_m$  di portata e tracciando l'orizzontale fino alla curva si intercetta un intervallo di tempo che esprime il numero di giorni in cui  $Q_m$  viene realizzata.





È necessario ora chiedersi su quale valore di portata bisogna dimensionare la turbina. La potenza installata  $P = \gamma Q \Delta H$  dipende dalla scelta di  $Q$ . Certamente non si sceglie  $Q = Q_{MAX}$  perché vorrebbe dire poter utilizzare l'impianto al meglio soltanto per 1 giorno all'anno. Analogamente dimensionare la turbina per  $Q = Q_{MIN}$  significa "buttare via" molta acqua ogni giorno in cui  $Q_p > Q_{MIN}$ . Utilizzare la portata media, cioè porre  $Q = Q_m$  non è conveniente perché significa utilizzare l'impianto "bene" soltanto per una parte del tempo, tipicamente non la metà di un anno. Quindi la scelta della portata di dimensionamento non è banale.

Analizziamo vari casi:



Indichiamo con  $Q_i^*$  la portata di progetto

a)  $Q_1^* = Q_{MAX}$

In media passa  $Q_m$ , cioè  $Q_m = \bar{Q}_1$   
 ho piena portata solo per 1 giorno

b)  $Q_2^* < Q_{MAX}$

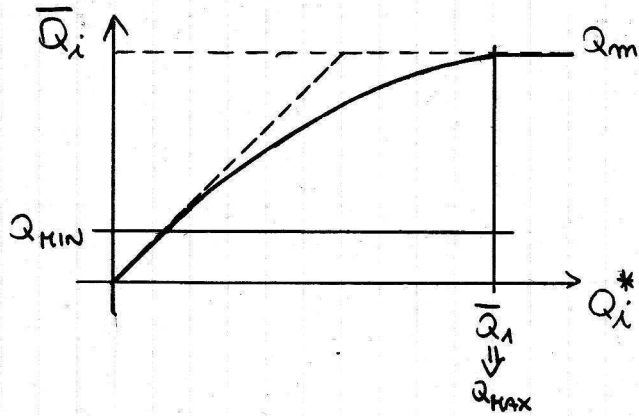
$\Delta V_s$  è un volume di acqua che non viene turbina-  
 to, ma lasciato passare

ho piena portata per più giorni, ma  $\bar{Q}_2 < Q_m$

c)  $Q_3^* = Q_{MIN}$

ho sempre piena portata,  $\bar{Q}_3 = Q_{MIN}$

Ripetiamo su di un grafico la portata media turbinata  $\bar{Q}_i$  in funzione della portata di progetto della macchina (portata di picco)  $Q_i^*$ :



- se la curva tracciata tende ad avvicinarsi alla spezzata 45° - orizzontale tratteggiata, allora è sufficiente una TRAVERSA;
- se la curva tracciata tende ad allontanarsi dalla spezzata 45° - orizzontale tratteggiata, allora è necessaria una DIGA.

Cenni sui costi e ricavi.

La  $Q_i^*$  è legata alla potenza della macchina (taglio):

$$P_i = \gamma \cdot Q_i^* \cdot H_{\text{cost}} \quad \uparrow \text{salto}$$

quindi è legata alle dimensioni della macchina, ossia al COSTO DELLA MACCHINA.

La  $\bar{Q}_i$  è legata alla produzione, ossia al RICAVO:

$$R = \int_0^{365} P(t) dt = \int_0^{365} \gamma \cdot Q_i \cdot H \cdot dt$$

↑  
potenza  
realmente utilizzata

Il RICAVO ANNUALE è quindi dato da:

$$R = \gamma H \int Q_i dt = \gamma H \cdot 365 \cdot \bar{Q}_i$$

Risumando:

$$C = a \cdot Q_i^* \quad \text{COSTO}$$

$$R = b \cdot \bar{Q}_i \quad \text{RICAVO}$$

Quando vale la pena di costruire un'impianto? Facciamo un'analisi dei costi/ricavi marginali.

Se  $\Delta C \leq \Delta R$  cioè se l'aumento dei costi è minore dell'aumento dei ricavi, allora è conveniente. Sostituendo: