



# Ciclo delle acque e bacini idrografici: dinamiche idrologiche e tecnologie di misura

**Gabriele Nardone**

ISPRA

Dipartimento per la tutela delle acque interne a marine

*gabriele.nardone@isprambiente.it*



## Indice

- 1. Il ciclo idrologico ed il bilancio idrologico**
- 2. Il bacino imbrifero**
- 3. Pluviometria e reti pluviometriche**
- 4. Misura dei livelli idrometrici e delle portate liquide**

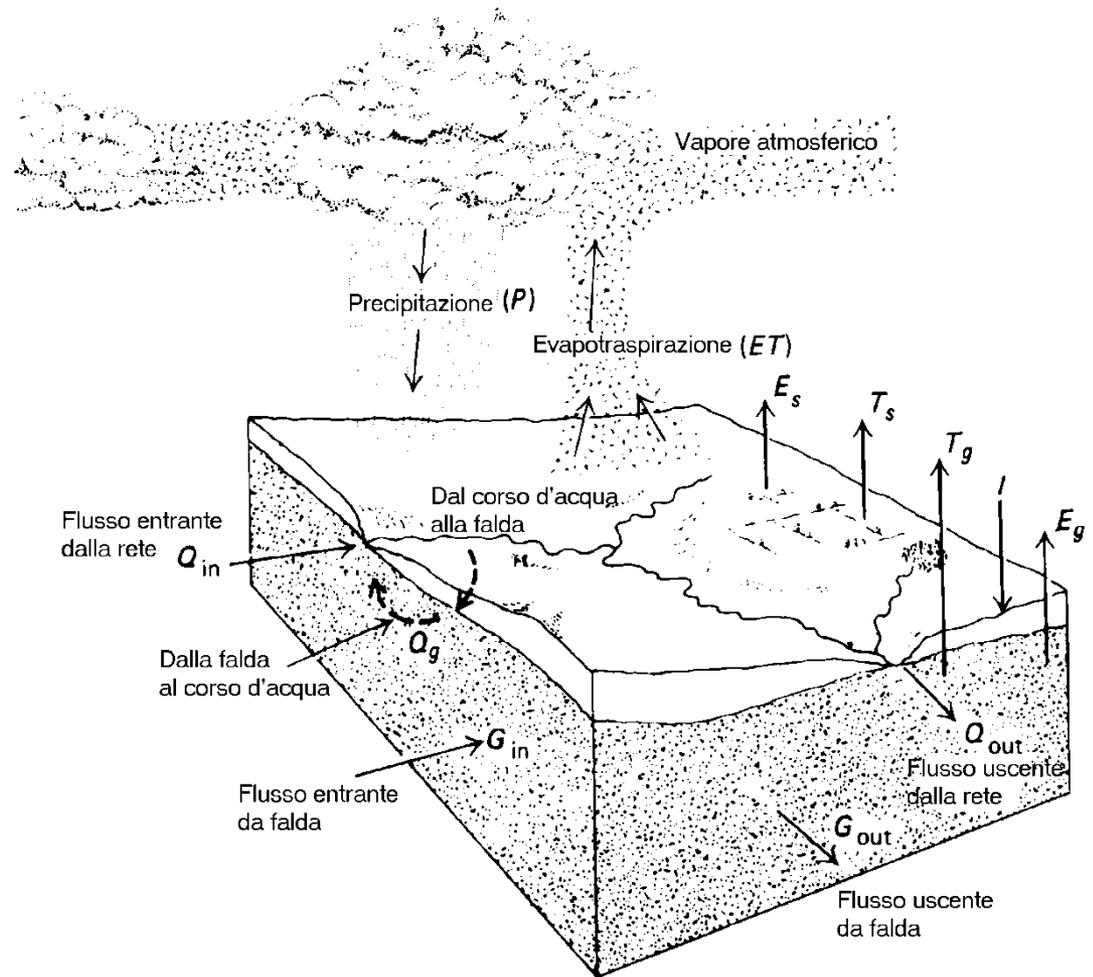
## 1. Il ciclo idrologico ed il bilancio idrologico



$$dS/dt = INP - OUT$$

# Componenti del ciclo idrologico in un sistema aperto

- P = precipitazione
- $Q_{in}$  = portata entrante
- $Q_{out}$  = portata uscente
- $Q_g$  = trasporto dal corso d'acqua alla falda (segno positivo: da falda a fiume)
- $G_{in}$  = deflusso sottosuperficiale in entrata
- $G_{out}$  = deflusso sottosuperficiale in uscita
- $E_s$  = evaporazione dal suolo
- $T_s$  = traspirazione
- $E_g$  = evaporazione da falda
- $T_g$  = traspirazione da falda
- $I$  = infiltrazione
- $\Delta S$  = variazione di invaso relativo al volume di controllo di interesse





## Il bilancio idrologico

Il bilancio di massa può essere applicato a due diversi volumi di controllo:

1) Volume di controllo relativo alle acque superficiali

$$P + Q_{in} - Q_{out} + Q_g - E_s - T_s - I = \Delta S_s$$

2) Volume di controllo relativo alle acque sotterranee

$$I + G_{in} - G_{out} - Q_g - E_g - T_g = \Delta S_g$$

Utilizzando scambi di massa netti si ottiene:

$$P - Q - G - E - T = \Delta S$$

## Il bilancio idrologico di bacino

Nel caso di un bacino idrografico, per definizione i termini  $Q_{in}$  e  $G_{in}$  (afflusso superficiale e sotterraneo) sono nulli.

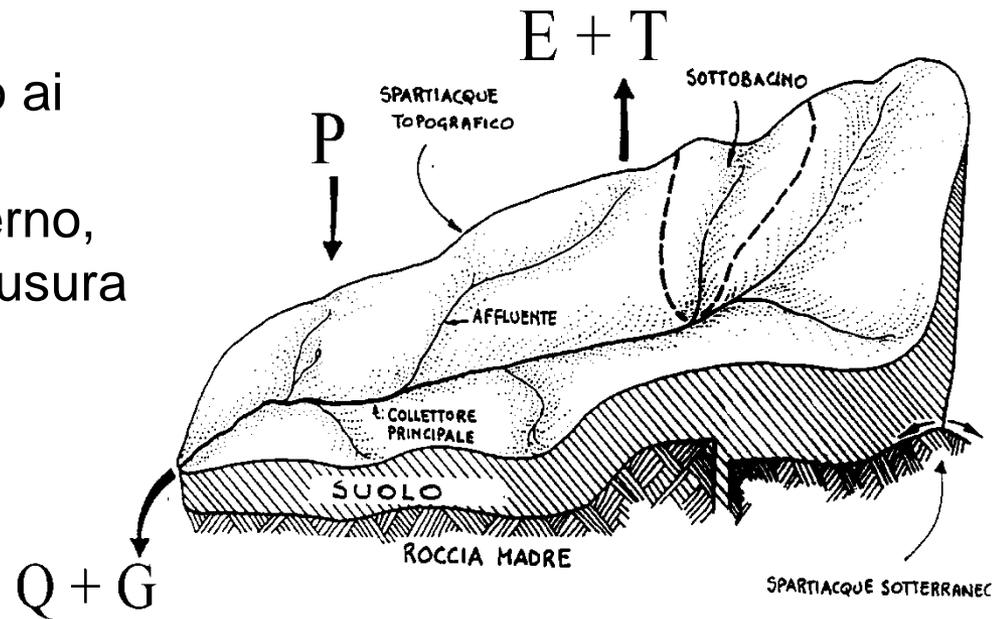
Pertanto, l'applicazione del bilancio di massa ad un bacino idrografico si presenta semplificata. L'equazione utilizzata risulta sempre essere:

$$P - Q - G - E - T = \Delta S$$

ma i termini  $Q$  e  $G$  si riferiscono solo ai trasporti (rispettivamente superficiali e sotterranei) dal bacino verso l'esterno, e localizzati presso la sezione di chiusura del bacino.

$$\text{Coeff. Deflusso} = Q/P$$

Rappresentazione dei  
flussi al e dal bacino  
idrografico →

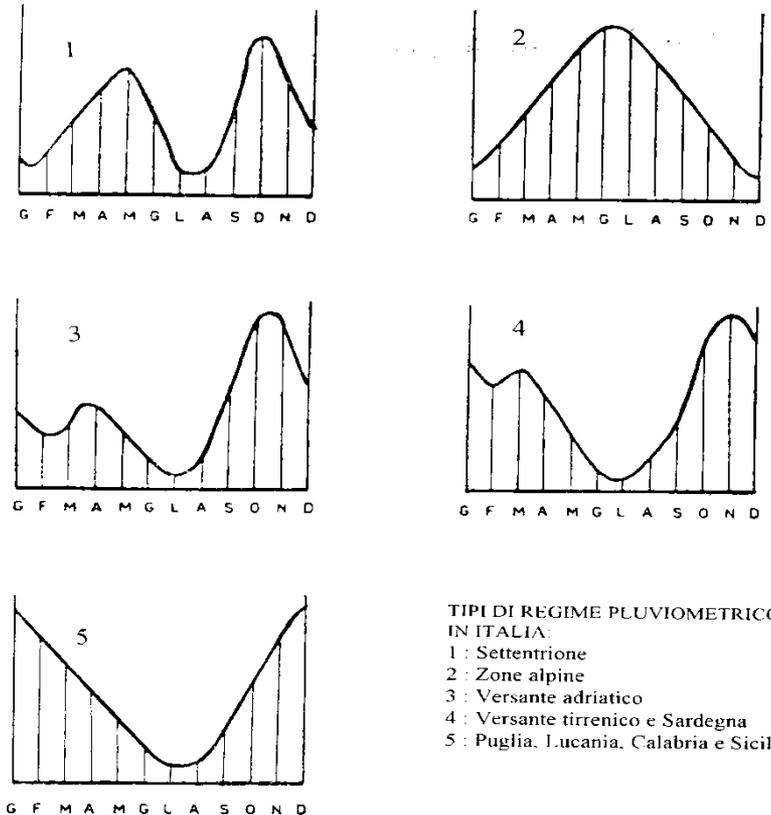


## Il regime pluviometrico

Il regime pluviometrico della penisola italiana presenta (con esclusione dell'arco alpino) un netto minimo estivo.

Di contro, il massimo delle precipitazioni è presente con una unica punta massima durante l'inverno nelle regioni più meridionali della penisola, mentre nelle regioni centrali mostra un massimo principale in autunno ed uno secondario in primavera.

Il valore di quest'ultimo aumenta e si sposta verso l'estate salendo alle regioni settentrionali fino a divenire un unico massimo estivo nelle zone alpine.



TIPI DI REGIME PLUVIOMETRICO IN ITALIA:  
1 : Settentrione  
2 : Zone alpine  
3 : Versante adriatico  
4 : Versante tirrenico e Sardegna  
5 : Puglia, Lucania, Calabria e Sicilia

Fig. 6 - Tipo di regime pluviometrico in Italia (Eredia, 1908).

Rappresentazione della distribuzione della precipitazione media annua

(il valore medio della precipitazione è pari a 990 mm/anno)

Caratteri distintivi:

- diminuzione della precipitazione al diminuire della latitudine;
- coerenza della sua distribuzione con le linee fondamentali dell'orografia;
- influenza sulla sua distribuzione dell'orientamento dei versanti rispetto alla direzione dei venti prevalenti.

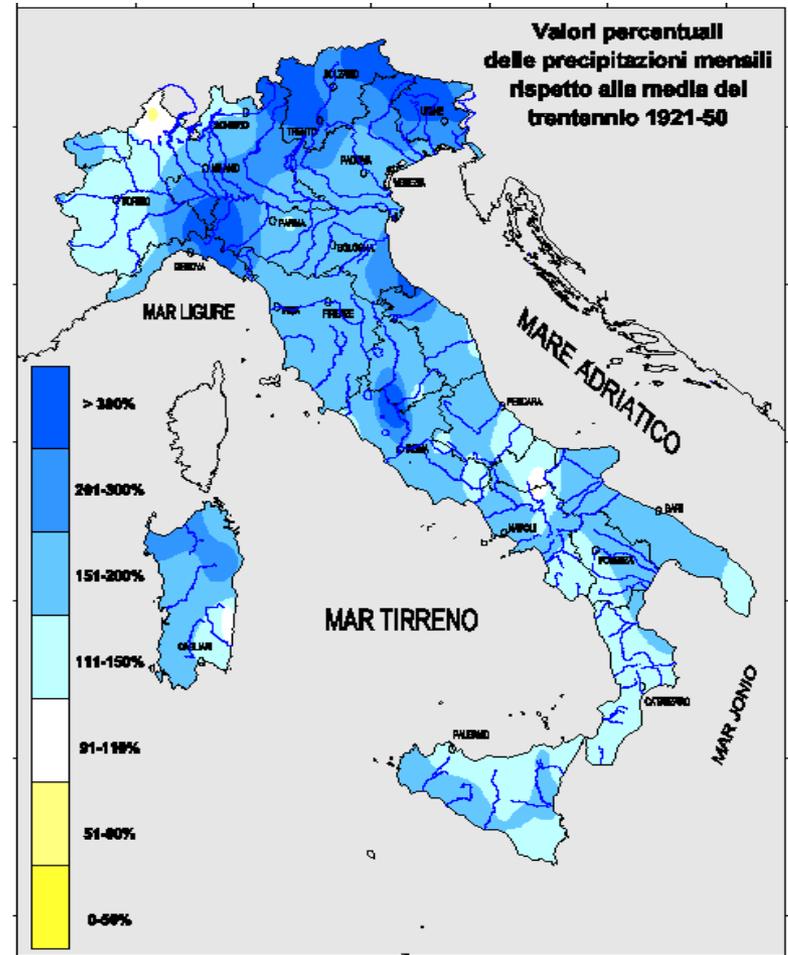


Figura III

## Mesi estivi

Nei mesi estivi (giugno-agosto) si nota una netta diminuzione della piovosità con il diminuire della latitudine.

La precipitazione si concentra sulle regioni alpine.

Valori di precipitazione di poco superiori a 100 mm predominano su vaste aree dell'Italia centrale e lungo la dorsale dell'Appennino. Le precipitazioni si mantengono su valori generalmente inferiori a i 100 mm sul resto del territorio peninsulare ed ai 50 mm in Sicilia e Sardegna.

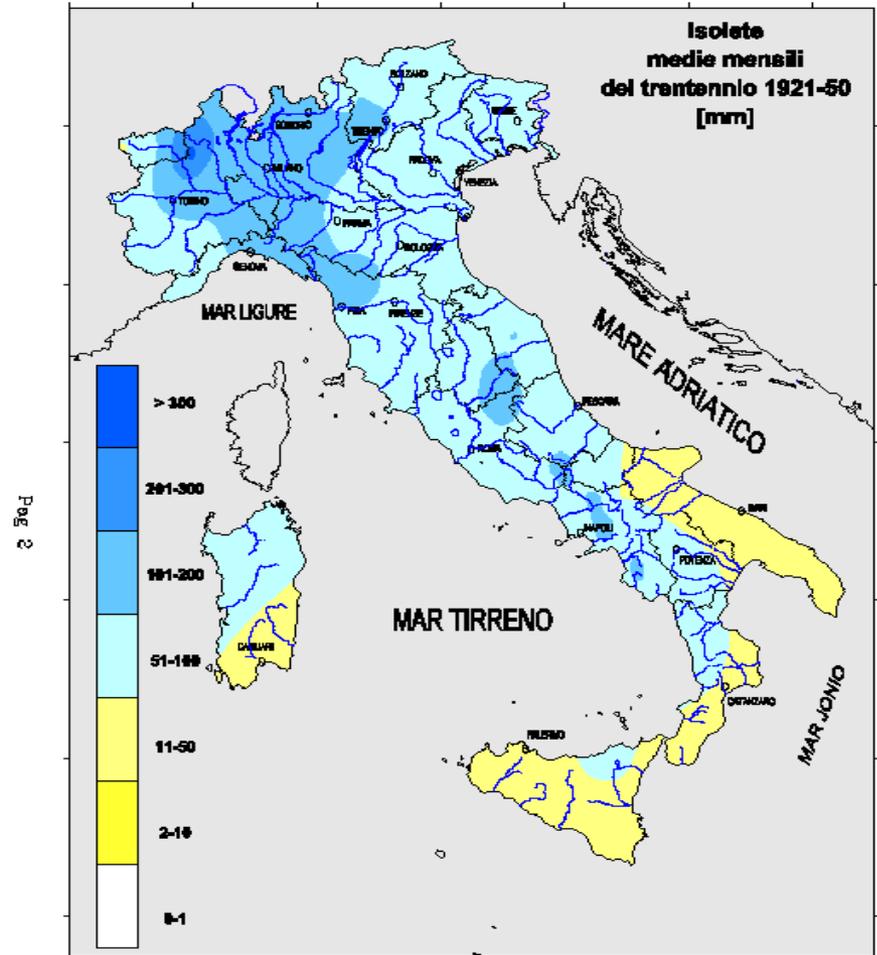


Figura II

## Mesi invernali

Nei mesi invernali (dicembre-febbraio) quando le formazioni cicloniche investono tutta l'Italia, le piogge risultano piuttosto uniformi sull'intera penisola, fatta eccezione per limitate aree dell'Appennino Centrale, in Calabria (superiori a 500 mm) e sulla pianura pugliese (inferiori a 200 mm).

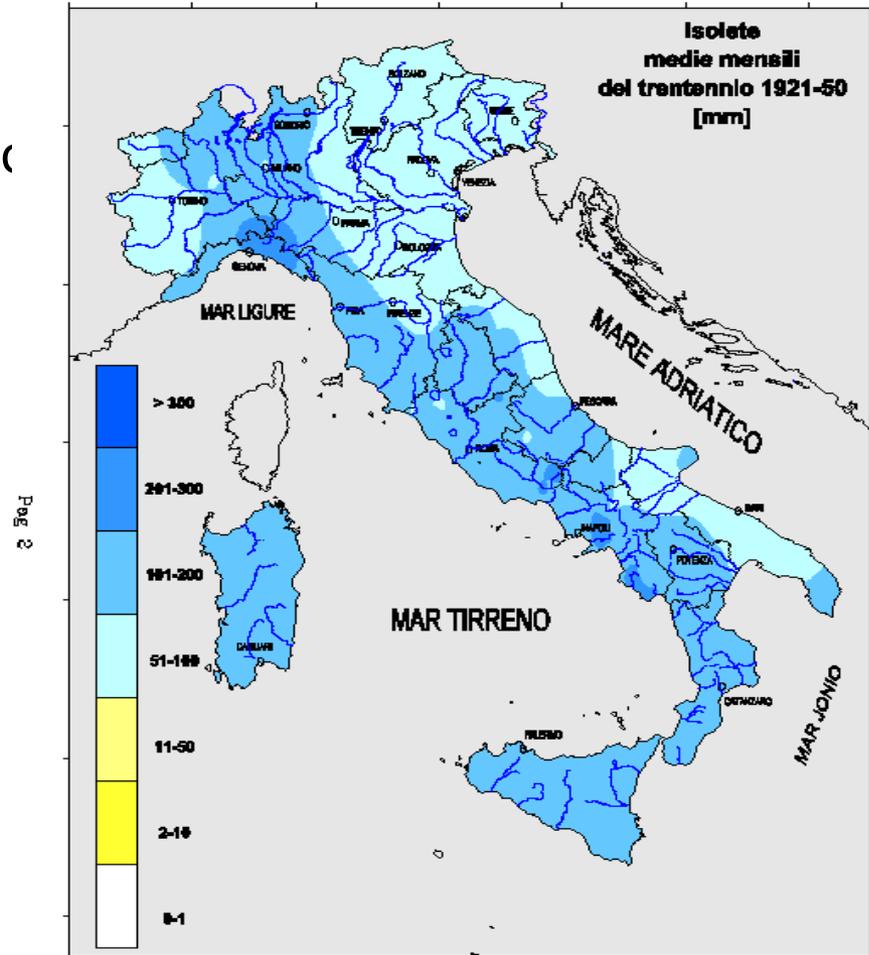


Figura II



## I regimi fluviali

Il regime dei deflussi è dominato da:

- precipitazioni (liquide e solide) (regime pluviometrico);
- temperatura (flussi evapotraspirativi);
- caratteristiche geomorfologiche;
- permeabilità.

Il regime dei deflussi rispecchia quello delle precipitazioni. Questo è tanto più vero quanto più impermeabile è il bacino, e quindi quanto più debole è l'effetto di immagazzinamento d'acqua nel suolo. Quindi, tanto più un bacino è permeabile tanto più regolare è la portata del corso d'acqua, venendosi a ridurre lo scarto fra la portate massime e quelle minime.

La variabilità stagionale dei deflussi costituisce una caratteristica molto importante ai fini dell'utilizzazione delle risorse idriche.

Per es., la carenza di deflussi disponibili durante la stagione estiva condiziona fortemente l'utilizzo delle risorse idriche, soprattutto quelle per fini irrigui. La conseguenza è spesso un eccessivo ricorso alla risorsa idrica sotterranea, determinando l'insorgere di fenomeni quali-quantitativi (intrusione salina, subsidenza..) con modificazioni a volte irreversibili.

Distinguiamo alcuni regimi fluviali, o dei deflussi, in base alla seguente classificazione dei bacini:

Bacini glaciali

Bacini alpini (regime pluviometrico continentale o alpino)

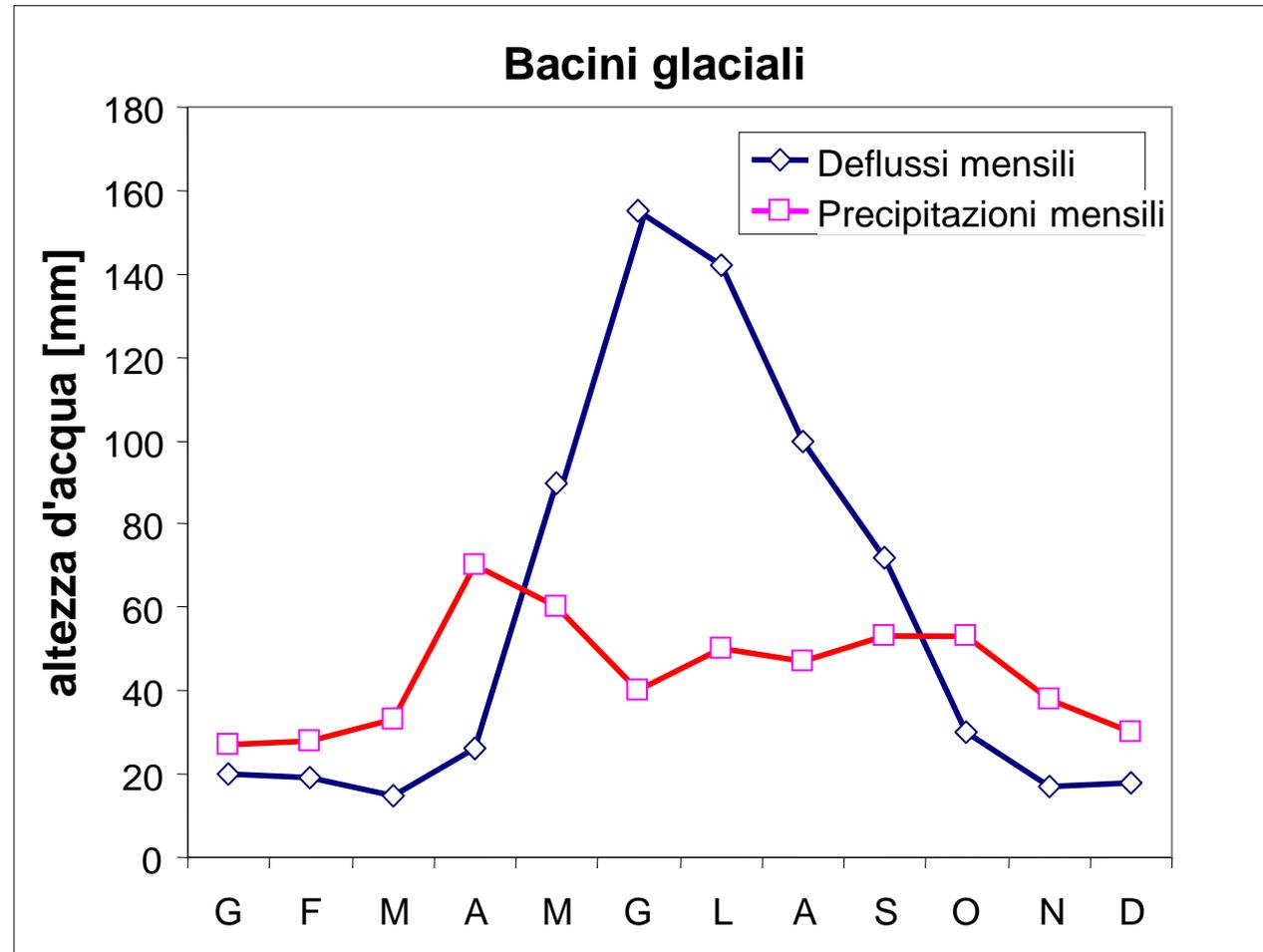
Bacini appenninici, distinti a loro volta in  $\left\{ \begin{array}{l} \text{parzialmente permeabili} \\ \text{impermeabili} \end{array} \right.$

Bacini insulari

## Regimi fluviali: bacini glaciali

I bacini glaciali sono ricoperti in buona parte da ghiacciai

Scarsa è la correlazione fra la curva dei deflussi e quella degli afflussi (perché sono importanti gli effetti di immagazzinamento dell'acqua nella coltre nivale)



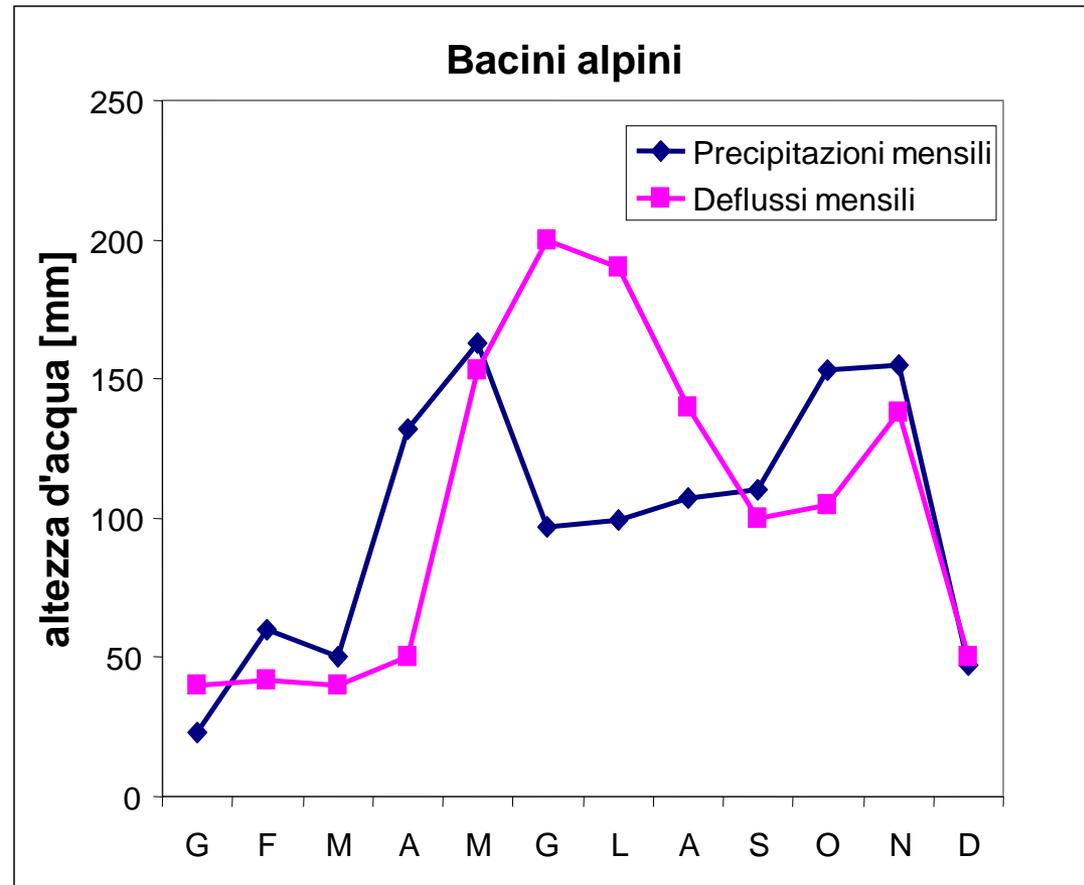
Il diagramma riporta il caso del bacino del Lys a Gressoney St Jean (90.6 km<sup>2</sup>)

## Regimi fluviali: bacini alpini

Nel caso dei bacini alpini, i deflussi presentano due massimi (principale in estate e secondario in autunno)

Il minimo fra estate ed autunno è molto meno marcato di quello invernale.

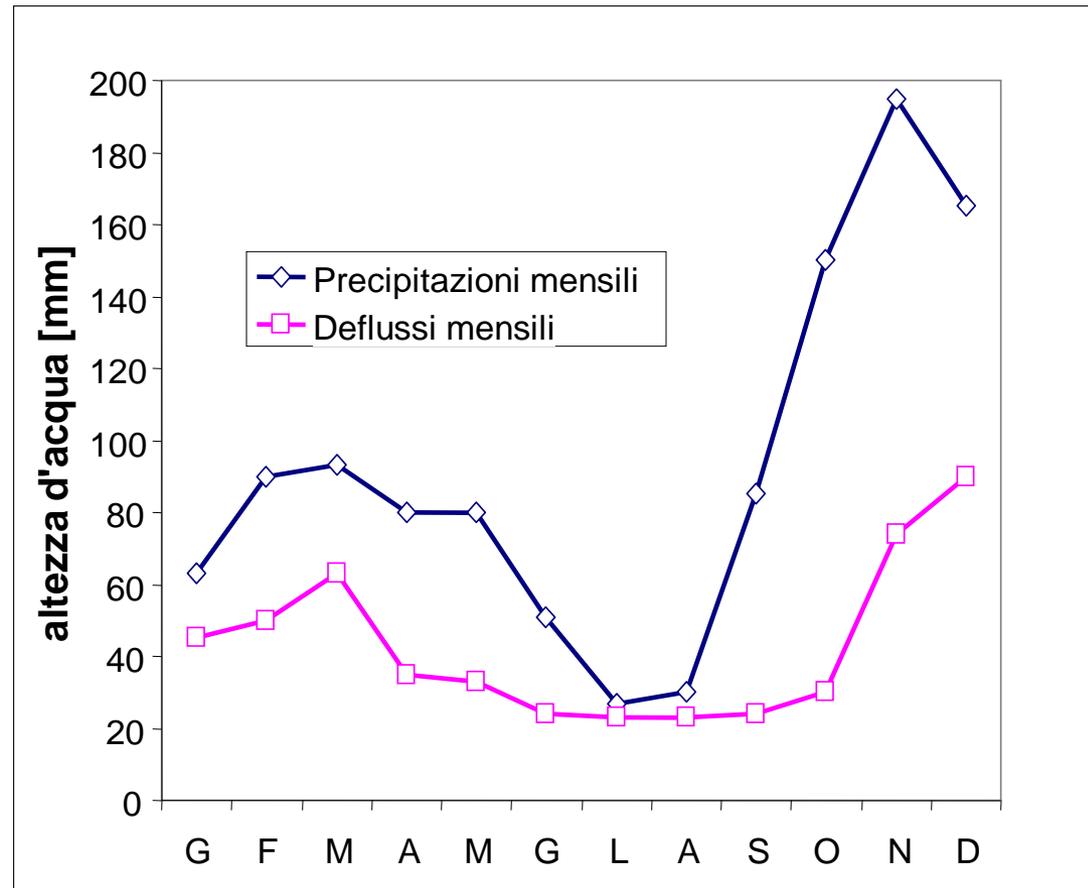
Fra la curva dei deflussi e quella degli afflussi si nota uno sfasamento: le precipitazioni nevose autunno- invernali si trasformano in deflussi durante la primavera-inizio estate.



## Regimi fluviali: bacini appenninici semipermeabili

Il regime dei deflussi dipende in buona parte dal regime pluviometrico determinando un massimo dei deflussi in autunno o inverno.

La curva dei deflussi è notevolmente più regolare di quella degli afflussi. Tale regolarità è tanto più pronunciata quanto maggiore è l'area di bacino interessata da formazioni permeabili.



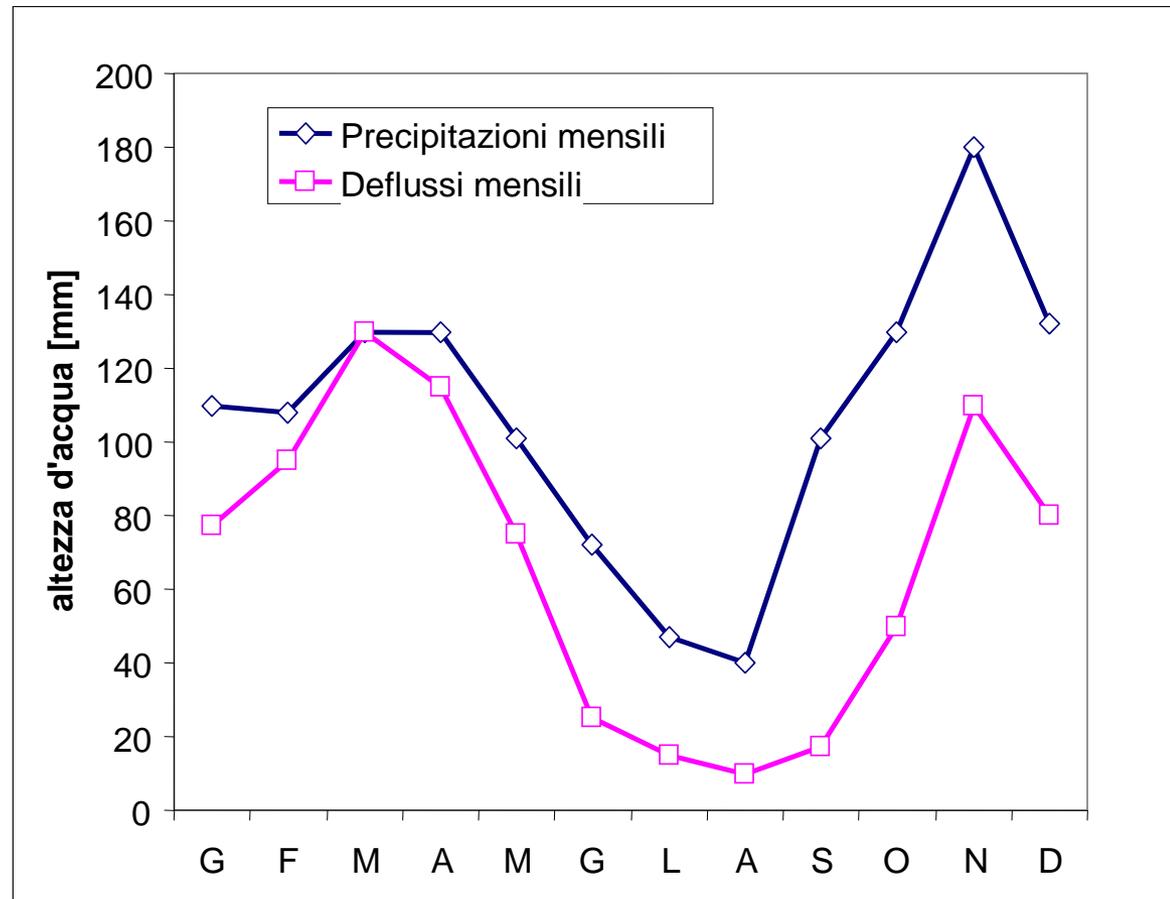
L'esempio di riferisce al Tevere a Ripetta.

## Regimi fluviali: bacini appenninici impermeabili

La curva dei deflussi è simile a quella degli afflussi.

Il minimo estivo è molto pronunciato.

In taluni bacini appenninici alle piogge primaverili si sommano i contributi di fusione nivale.

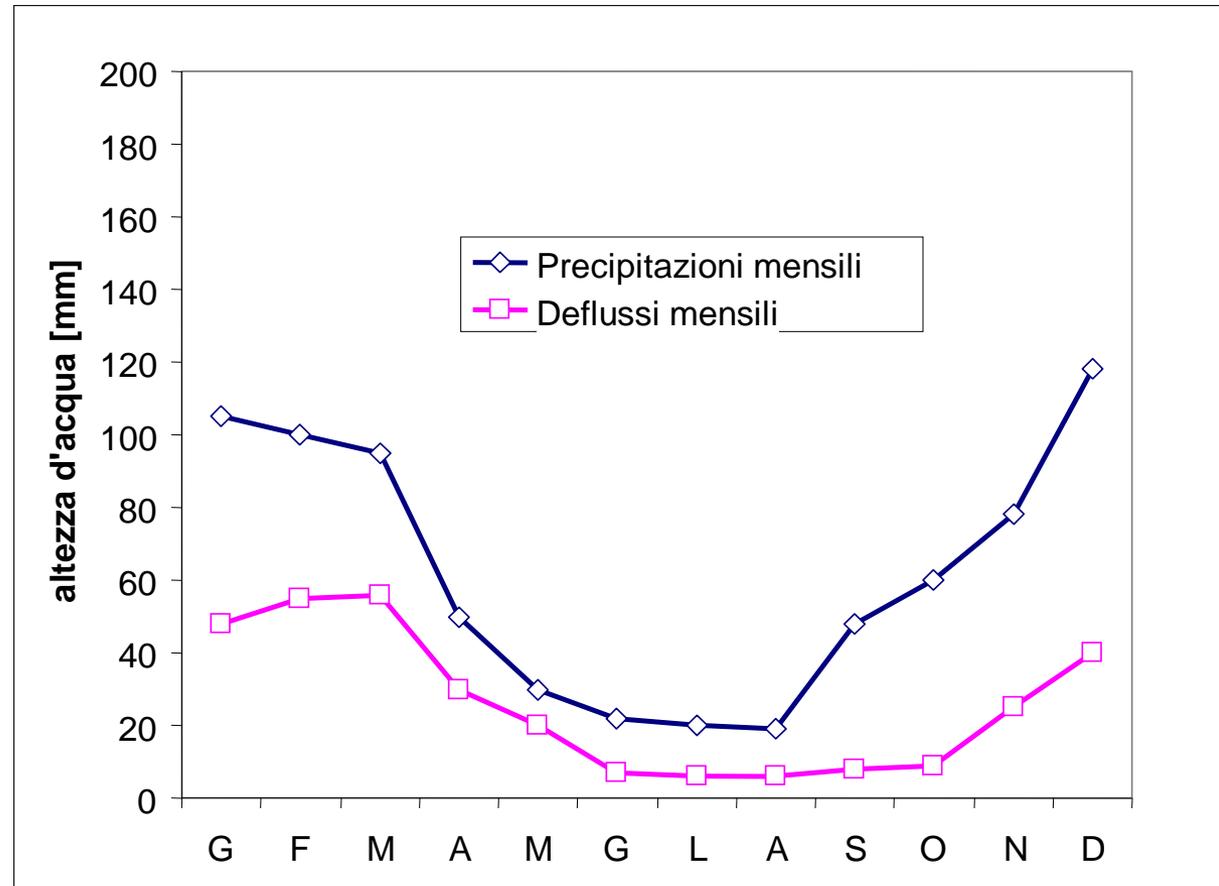


L'esempio di riferisce al Reno a Casalecchio (Bologna)

## Regimi fluviali: bacini insulari

Il regime pluviale è mediterraneo. I deflussi registrano quindi magre estive e piene invernali-primaverili.

La curva dei deflussi è simile a quella degli afflussi.

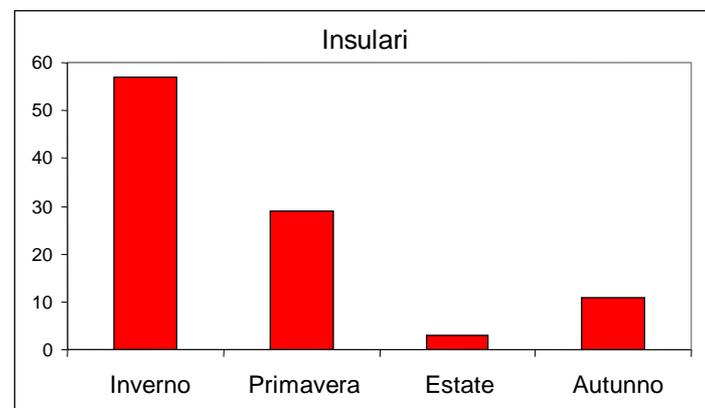
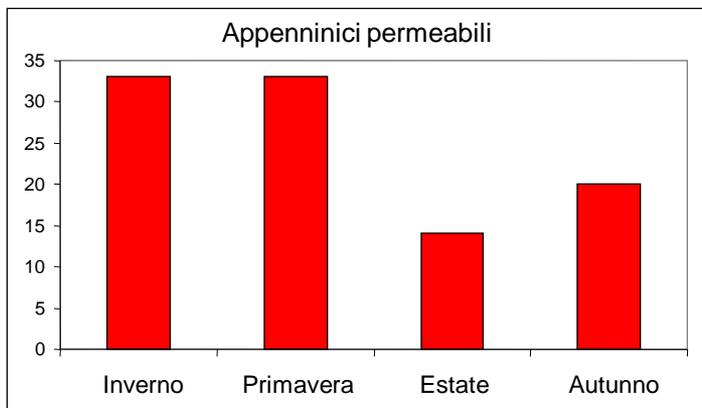
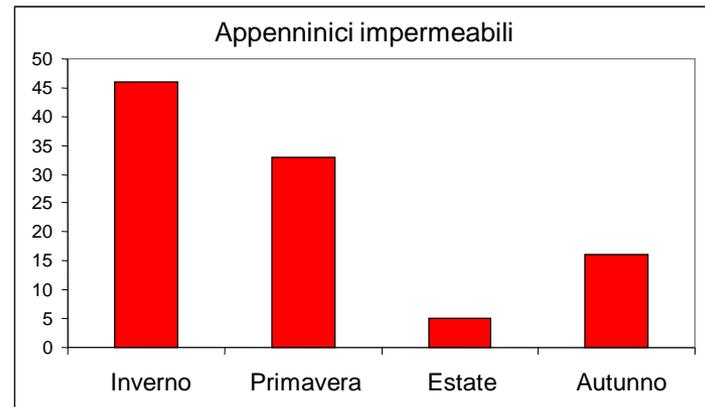
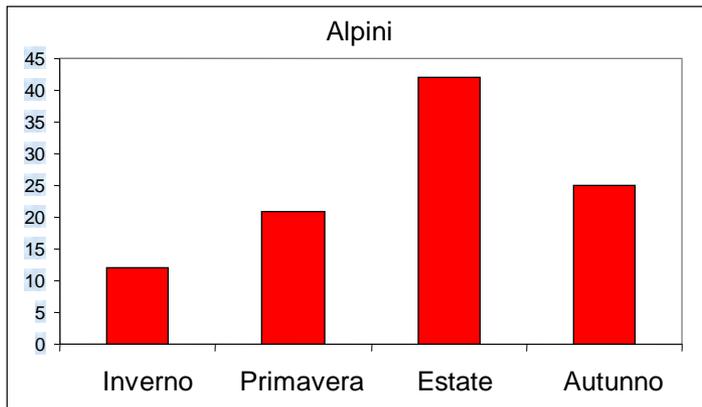


L'esempio di riferisce al Simeto a Giarretta (Sicilia)

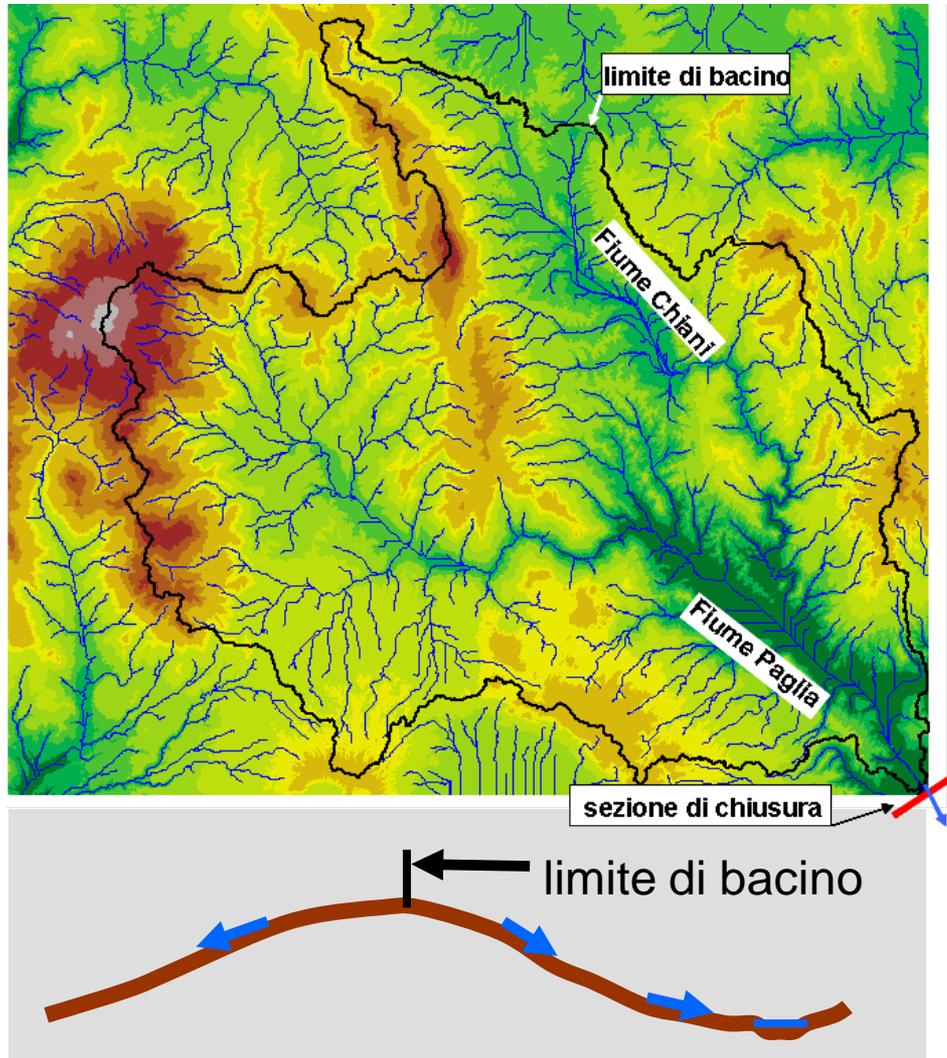


### Regime dei deflussi Deflusso stagionale (% del totale annuo)

	inverno	primavera	estate	autunno
Alpini	12	21	42	25
App. Imp.	46	33	5	16
App. Perm	33	33	14	20
Insulari	57	29	3	11



## 2. Il bacino imbrifero



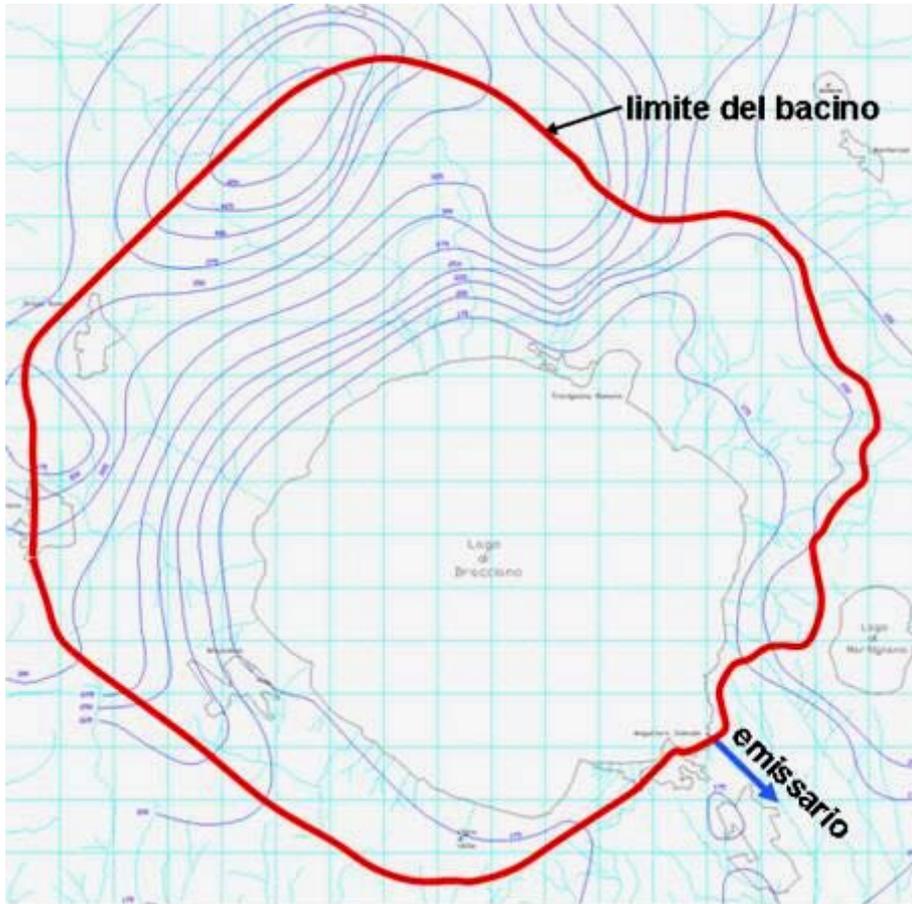
L'insieme dei punti della superficie terrestre da cui le acque pluviali che scorrono in superficie passano per la sezione di chiusura

Ogni sezione di un corso d'acqua ha un bacino imbrifero

Ogni bacino imbrifero ha una sezione di chiusura

Il bacino imbrifero è fisso, dipende dalla topografia

## Il bacino idrogeologico

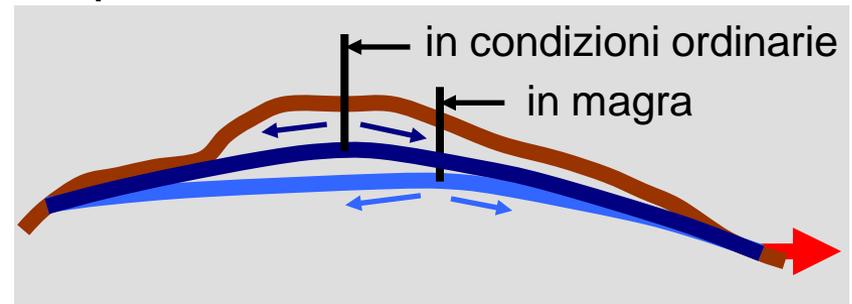


Bacino idrogeologico del Lago di Bracciano

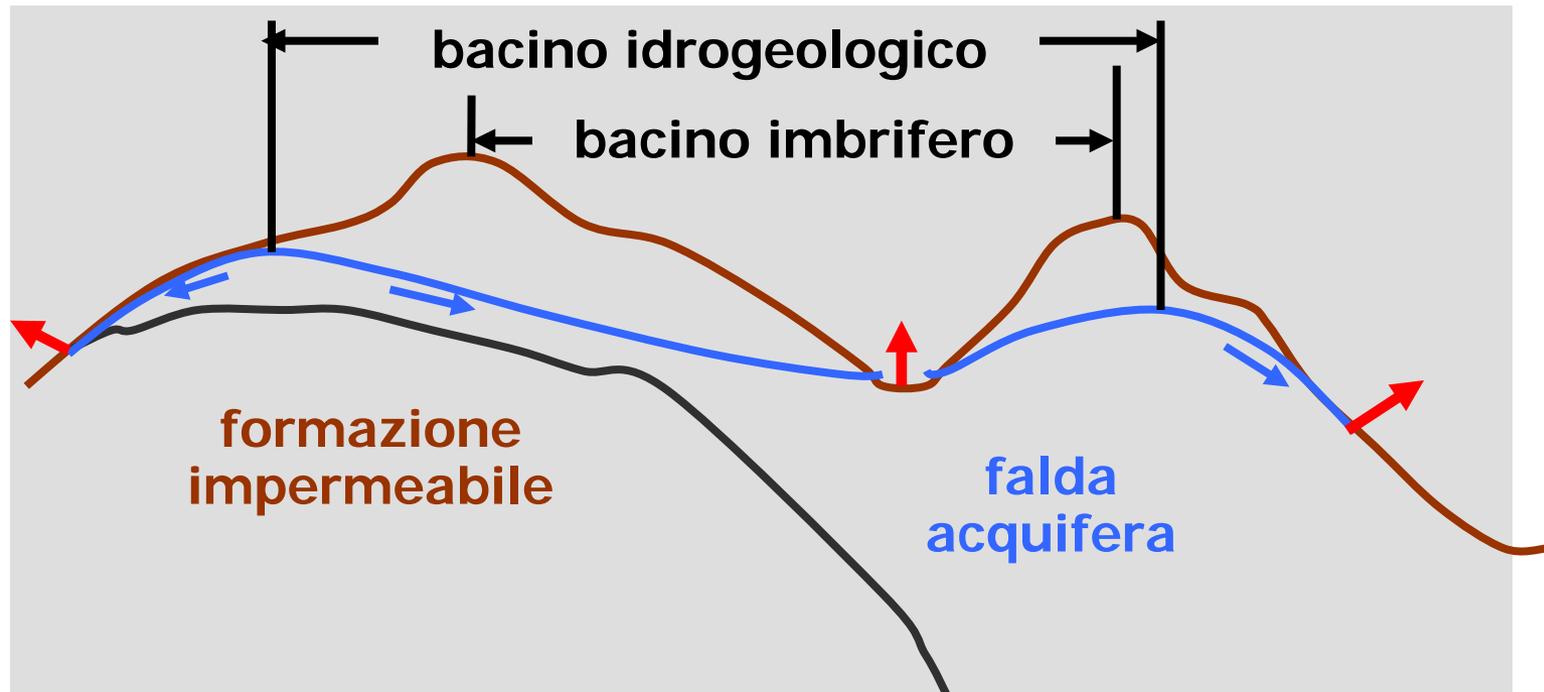
L'insieme di tutti i punti della superficie terrestre le cui acque sotterranee alimentano il corpo idrico

Ogni corpo idrico ha un bacino idrogeologico

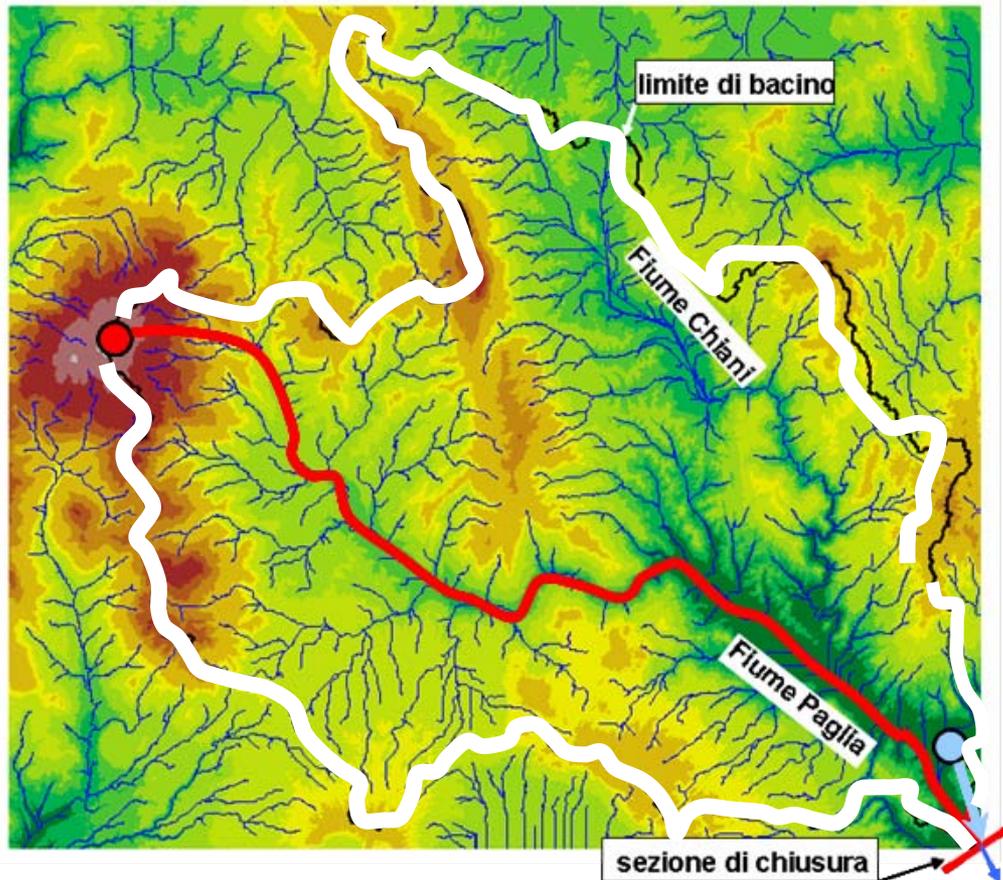
Il bacino idrogeologico **non è fisso**, perché dipende dall'andamento della superficie piezometrica delle falde



## Relazione tra bacino imbrifero e bacino idrogeologico



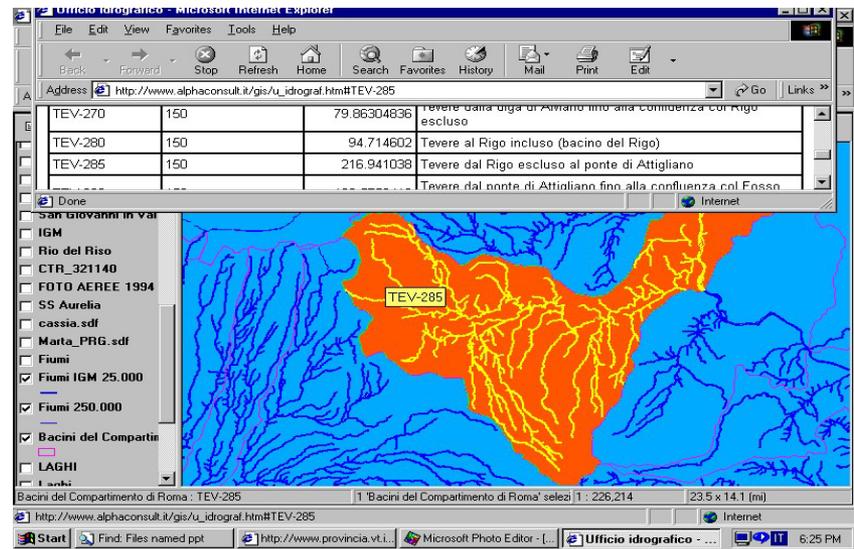
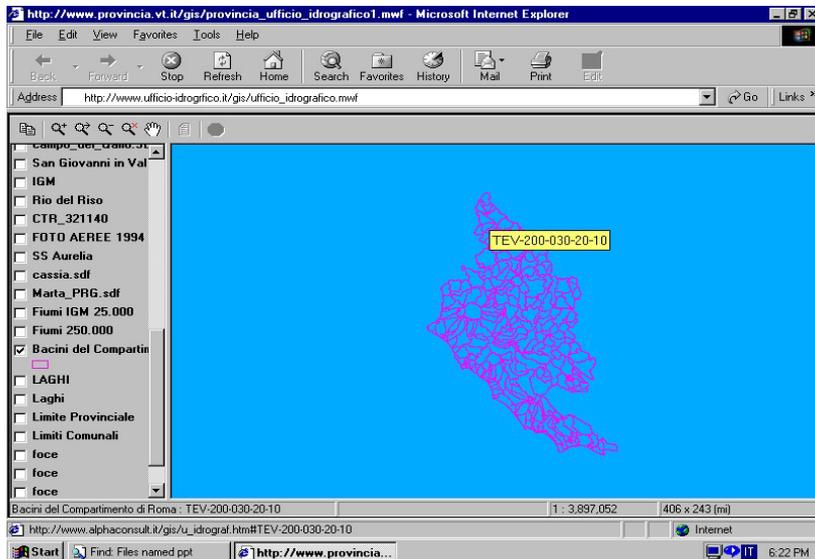
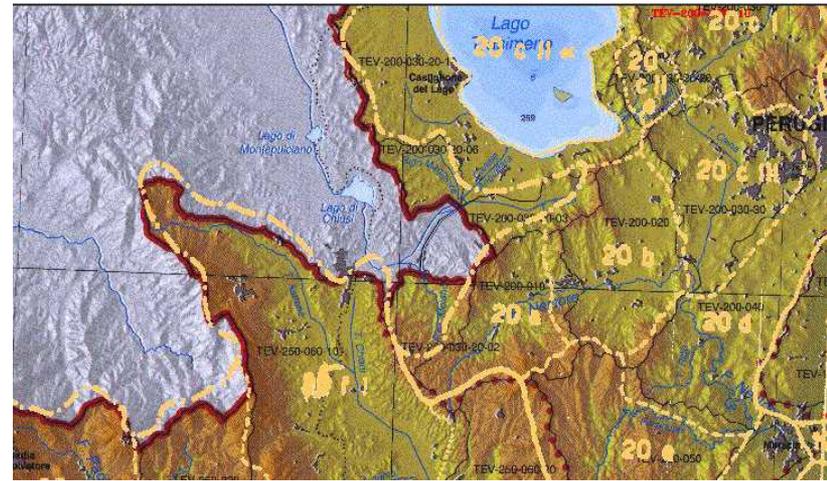
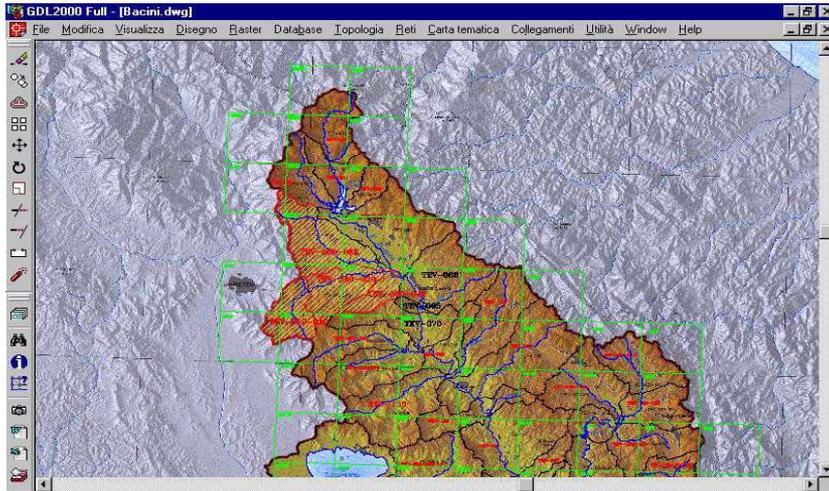
## Tempo di corrivazione



$\tau_b$  tempo critico (o di concentrazione) inteso anche come il tempo che la particella idraulicamente più lontana impiega per arrivare alla sezione di chiusura.

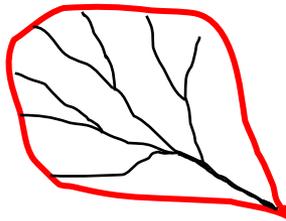
Kirpich:

Giandotti:



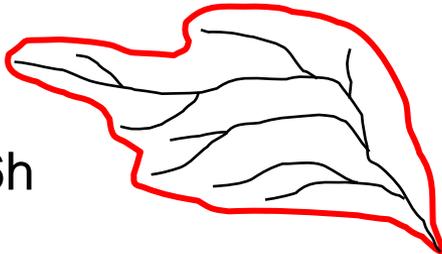


$tc < 3h$



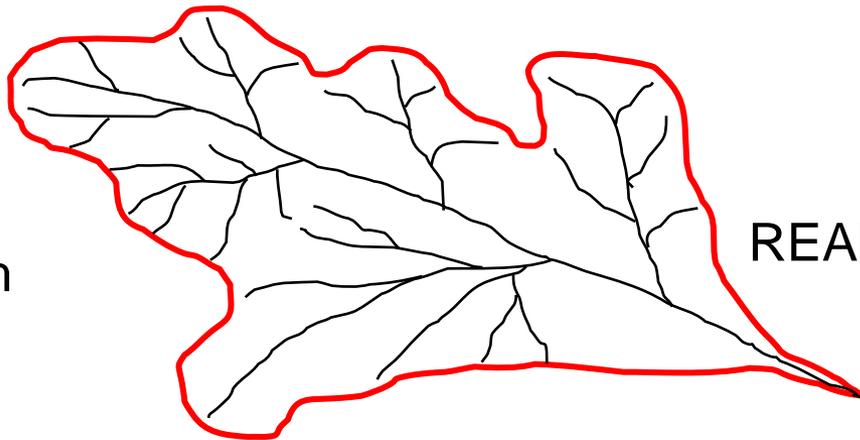
FORECAST

$3h < tc < 6h$

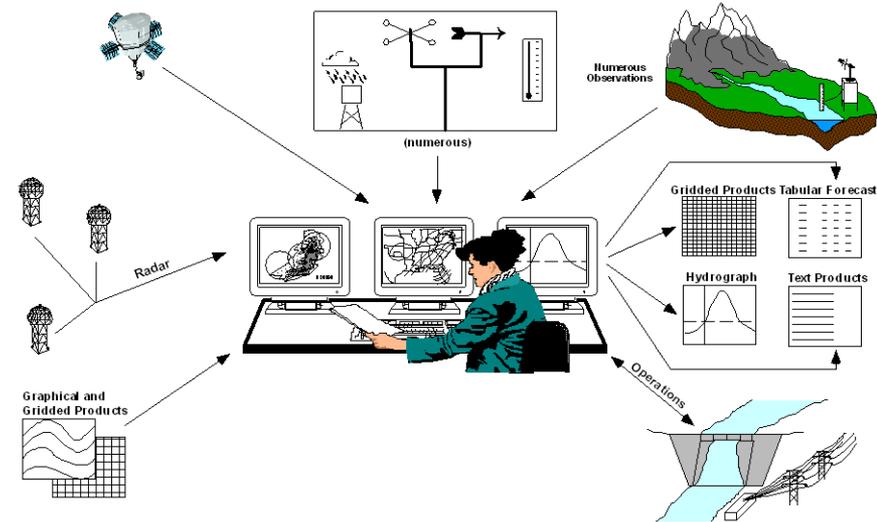


FORECAST/  
REAL TIME

$tc > 6h$



REAL TIME





### 3. Pluviometria e reti pluviometriche

**L'altezza di precipitazione** ( o di pioggia, dato che normalmente il tipo di precipitazione di interesse è quello liquido - pioggia)<sup>1</sup> si definisce come **l'altezza della lama d'acqua** che coprirebbe una superficie orizzontale, qualora tutta l'acqua raccolta dalla superficie fosse trattenuta, così da formare uno strato di spessore uniforme. Quando si parla di altezza di precipitazione è dunque necessario specificare sempre **l'intervallo di tempo** in cui la precipitazione è caduta.

Gli **strumenti** utilizzati per la misura delle precipitazioni raccolgono ovviamente soltanto l'acqua caduta su una **superficie molto ridotta**. La principale caratteristica delle misure di precipitazione tradizionali è quindi di essere **misure puntuali**.

**Nota: 1 mm di lama d'acqua su 1 m<sup>2</sup> equivale ad 1 litro (1000 cm<sup>3</sup>).**

<sup>1</sup> con **precipitazione** si indicano gli afflussi meteorici sia **liquidi** (pioggia) che **solidi** (neve, nevischio, grandine). In genere le **precipitazioni solide** si misurano attraverso il loro **equivalente in acqua**.

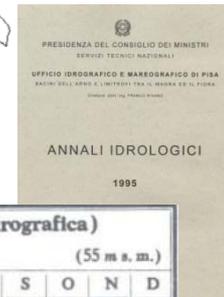
### Il Servizio Idrografico Italiano

Il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale ha adottato pluviometri con bocca di diametro pari a 0.357 m (corrispondente ad una superficie di un decimo di metro quadrato). Ad ogni litro di acqua raccolta corrispondono così 10 mm di altezza di precipitazione.

Il pluviometro viene installato ad un'altezza dal suolo di 1.5 m circa in luogo aperto, lontano da alberi e da fabbricati, in modo che la pioggia sia in ogni parte libera di cadere sul ricevitore del pluviometro.

Nelle pubblicazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale le altezze di precipitazione ai pluviometri sono misurate con la precisione di 0.2 mm.

Le altezze di precipitazione misurate dai pluviometri vengono lette normalmente una volta al giorno. Per misure relative ad intervalli di tempo minori si utilizzano strumenti detti pluviografi.



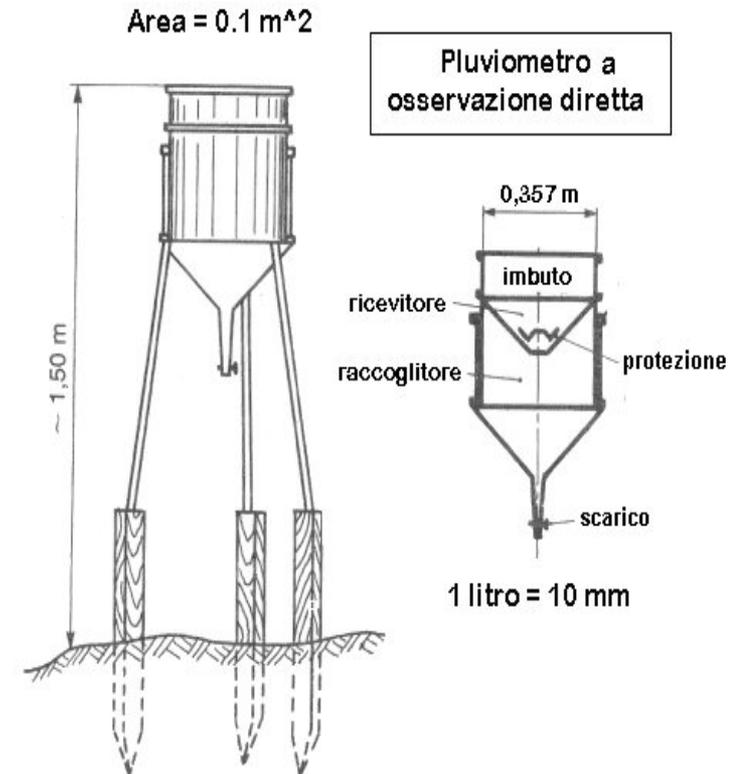
Giorno	ROMA MACAO (Sezione Idrografica)											
	(Pr) Bacino: TEVERE (55 m s. m.)											
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	—	9.6	17.2	0.6	2.4	—	—	1.6	—	—	—	—
2	—	6.2	16.2	—	—	8.4	—	—	—	3.2	—	6.0
3	—	0.4	0.2	8.0	—	2.2	0.4	—	—	—	—	0.2
4	—	7.3	1.8	—	—	—	4.2	1.6	—	—	—	—
5	—	8.4	7.4	2.4	—	1.6	—	—	—	—	—	6.6
6	—	0.2	24.4	11.4	9.4	5.0	0.2	—	10.0	—	4.6	1.8
7	—	—	—	—	—	8.8	3.4	—	—	—	—	0.2
8	0.4	—	—	5.6	11.7	0.2	0.2	—	—	—	16.4	—
9	5.4	—	1.5	0.2	—	—	—	—	2.0	—	12.0	0.2
10	—	—	—	0.4	0.6	—	1.0	—	—	—	7.8	—
11	—	—	—	0.4	—	—	0.6	—	0.8	—	0.8	—
12	—	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—
13	1.8	18.1*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	1.4	19.0	8.8	20.0	—	—	—	—	17.5	—	—	5.2
15	27.7	10.0	17.4	—	—	—	—	—	47.6	—	12.1	4.6
16	—	11.9	1.6	—	—	—	—	—	1.0	0.2	—	4.4
17	19.0	1.2	0.2	—	—	—	—	—	7.6	—	—	—
18	—	—	1.2	—	—	—	—	0.6	0.2	—	11.4	2.2
19	1.4	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0
20	—	—	0.7	0.3	—	—	—	—	17.1	—	—	1.0
21	—	—	—	—	0.6	—	—	—	—	—	29.2	—
22	—	—	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—	—
23	—	1.0	2.6	0.2	—	—	—	—	—	—	—	—
24	—	1.6	21.8	2.4	—	—	—	—	—	—	16.0	3.2
25	—	—	1.0	—	—	—	—	6.7	—	—	1.5	—
26	—	2.0	1.0	—	—	—	—	5.6	—	—	5.0	—
27	—	—	1.2	—	—	0.4	—	0.2	—	—	0.8	4.4
28	—	0.4	3.6	—	—	—	11.0	—	—	—	—	3.0
29	1.3	—	4.7	—	—	2.4	—	—	—	—	0.2	4.0
30	0.1	—	—	—	—	2.2	—	—	—	—	2.8	16.4
31	—	—	—	—	—	—	3.0	0.5	—	—	—	10.0
Tot. mm. N. giorni piovosi	58.5 7	98.3 13	135.9 18	51.5 6	34.5 5	25.8 7	23.6 4	16.6 4	103.8 7	3.4 1	120.6 11	75.4 15
Totale annuo: 747.9 mm									Giorni piovosi: 98			

## Struttura del pluviometro

Un pluviometro è un recipiente cilindrico, nella cui bocca, disposta orizzontalmente<sup>1</sup>, è sistemato un imbuto raccoglitore. L'acqua si raccoglie sul fondo del pluviometro, quando questo è di dimensioni tali da poter essere agevolmente maneggiato, oppure in un secondo recipiente, più piccolo disposto al suo interno.

Lo scopo dell'imbuto è quello di ridurre il più possibile le perdite per evaporazione. A questo scopo il foro, che è coperto da una sottile rete metallica, deve essere il più piccolo possibile.

<sup>1</sup>gli strumenti devono essere dotati di bolla di livello per una facile e precisa messa in opera. Per studi idrologici particolari, tuttavia, si utilizza, a volte, un'apertura parallela alla pendenza del terreno.





## Pluviografi

Per numerosi scopi pratici è necessario conoscere l'intensità di precipitazione o intensità di pioggia. L'intensità di pioggia può essere istantanea o media.

L'intensità di pioggia media è il rapporto (espresso in millimetri all'ora) tra l'altezza di precipitazione e la durata corrispondente.

L'intensità di pioggia istantanea è il limite a cui tende l'intensità media quando la durata tende a zero.

Il grafico che rappresenta l'andamento nel tempo dell'intensità di precipitazione (che in pratica è sempre un'intensità media, calcolata su intervalli di tempo di una certa durata) prende il nome di **ietogramma**.

La registrazione dell'altezza di pioggia era effettuata in passato (e talvolta ancora oggi in molti casi) in forma di grafico su un diagramma.

Da qui il nome di pluviografi con cui questi strumenti sono conosciuti.

Il pluviografo è quindi costituito da:

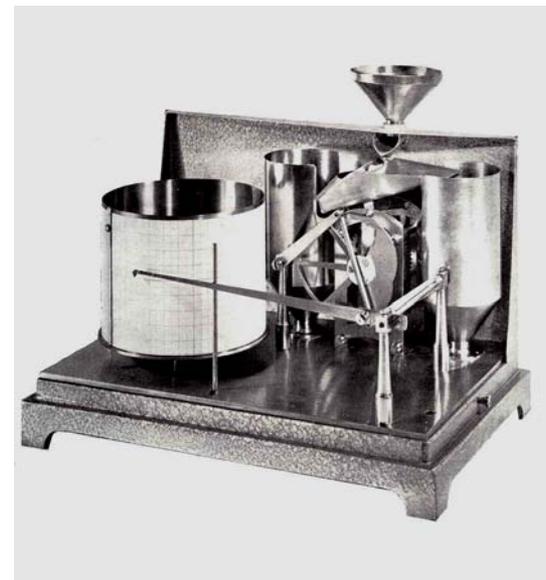
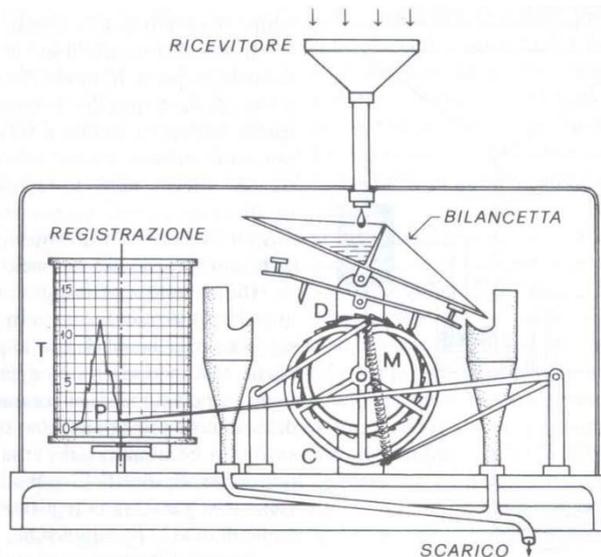
- sensore (che rileva istante per istante il valore dell'altezza di pioggia caduta)
- apparato di registrazione (foglio di carta, nastro magnetico, memoria solida).

## Pluviografo a bascula (tipping bucket)

Nel pluviografo a bascula l'acqua proveniente dall'imbuto finisce ora nell'uno ora nell'altro di una coppia di piccoli recipienti, solidali ad una base basculante attorno ad un perno.

Man mano che il recipiente si riempie il baricentro del sistema basculante si sposta. Una volta raggiunto un certo grado di riempimento il sistema si ribalta: sotto il tubo collegato all'imbuto si presenta il recipiente vuoto, mentre quello pieno si svuota rapidamente.

Durante il moto del sistema si ha una perdita d'acqua, che in occasione di precipitazioni intense può raggiungere il 5%.

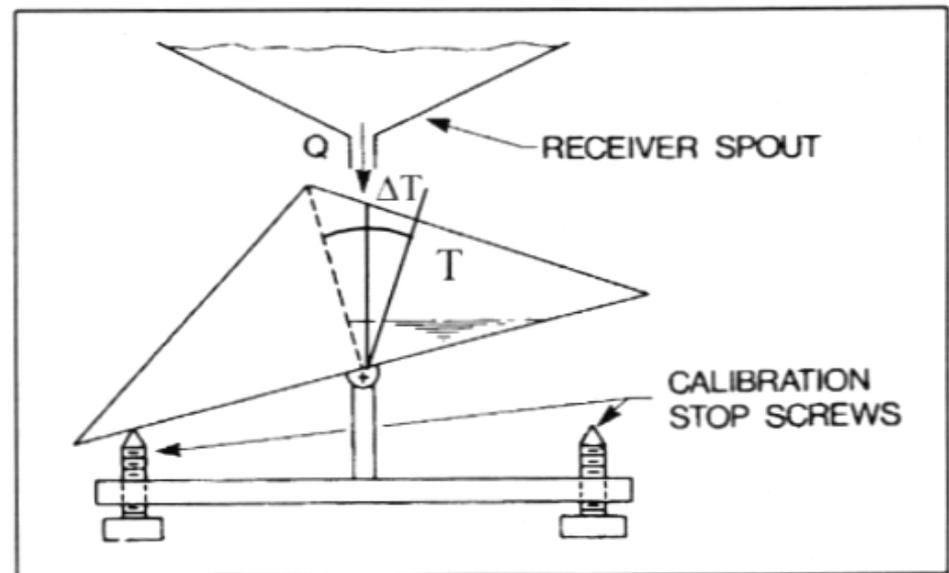


## Pluviografi: taratura e manutenzione

Un pluviografo a bascula può consentire misure affidabili di intensità di precipitazione solo se è mantenuto e calibrato nella maniera appropriata. La calibrazione si rende necessaria in quanto nel pluviografo viene perso parte del volume di acqua di pioggia in arrivo dall'imbuto durante il movimento di ribaltamento della bascula. Questo induce delle sottostime dell'intensità di pioggia, crescenti al crescere del numero di ribaltamenti della bascula nell'unità di tempo, ovvero crescenti con l'intensità di precipitazione.

Normalmente una prima calibrazione viene effettuata dalla ditta di fabbricazione.

Lo strumento deve poi essere assoggettato a periodiche ricalibrizioni. La figura descrive un pluviografo a bascula, indicando le viti che vengono utilizzate durante le manovre di ricalibrazione.





## Errori nella misura di precipitazione

Le misure di precipitazione sono soggette, frequentemente, ad errori sia casuali che sistematici. L'errore sistematico può essere determinato da diverse cause.

La più rilevante deriva dall'accelerazione, verticale ed orizzontale, del vento in corrispondenza del pluviometro, che devia la traiettoria delle più piccole gocce d'acqua (**effetto splash**). Ne deriva che la quantità d'acqua raccolta è minore della quantità d'acqua che effettivamente cade al suolo. Ulteriori cause di errore sistematico sono:

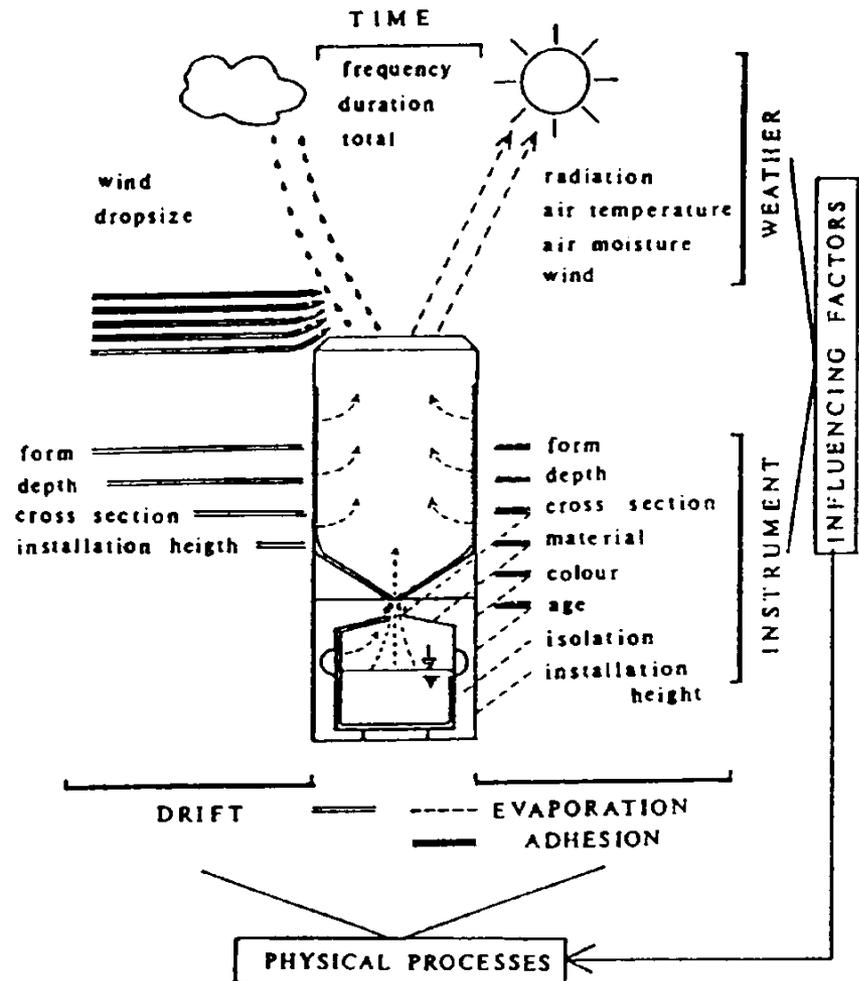
1. acqua trattenuta dalle pareti interne del pluviometro, dell'imbuto raccoglitore o del serbatoio di raccolta;
2. evaporazione di una parte dell'acqua raccolta nel serbatoio;
3. gocce che entrano, o escono, dal pluviometro, sotto forma di schizzi;
4. neve accumulata dal vento sopra o dentro il pluviometro.

# Errori nella misura di precipitazione

Processi fisici che determinano gli errori sistemati di misura tramite pluviometro.

Nella parte superiore della figura sono riportate le variabili climatiche più importanti, al centro le variabili strumentali, in basso i processi fisici, come la deformazione del campo di vento (a sinistra), l'evaporazione e l'adesione (a destra).

Ciascun processo è rappresentato tramite una legenda: la doppia linea continua vuota indica la deformazione del campo di vento, la linea tratteggiata l'evaporazione, la doppia linea continua piena indica l'adesione.





## Precauzioni per limitare l'effetto di alcuni errori sistematici

Le perdite per acqua aderente alle pareti del pluviometro possono essere ridotte utilizzando pluviometri con pareti interne le più lisce possibile, che offrano scarsa possibilità di aderenza all'acqua. Le perdite per bagnatura delle pareti ed evaporazione possono anche essere ridotte utilizzando pluviometri nei quali il raccordo tra la parte cilindrica e quella, sottostante, conica, sia il più possibile graduale.

Le pareti interne del pluviometro non dovranno essere tinteggiate poiché le screpolature che, col tempo, inevitabilmente si produrrebbero nella vernice, aumenterebbero le perdite per aderenza di acqua sulle pareti. Possono, tuttavia, utilizzarsi pluviometri di acciaio smaltati a caldo. Le pareti esterne dovranno essere bianche per diminuire il riscaldamento, e, quindi, le perdite per evaporazione.

Il rimbalzo di gocce verso l'interno, o l'esterno, del pluviometro potrà essere ridotto conformando opportunamente l'imbuto ricevitore e il bordo cilindrico superiore. L'angolo di apertura del cono costituente l'imbuto e l'altezza del bordo cilindrico devono essere di entità tale che la perpendicolare alla generatrice del cono dell'imbuto, condotta a partire dalla base superiore del cono, sia contenuta entro il bordo superiore del cilindro verticale

## Le reti di rilevamento pluviometriche

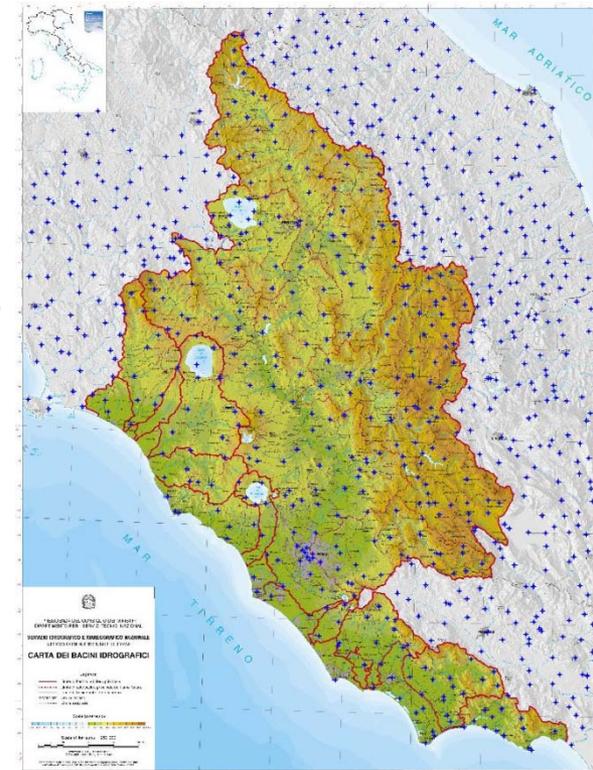
Le osservazioni effettuate da un singolo pluviometro sono rappresentative di un'area più o meno ristretta all'intorno dello strumento. **Per conoscere la distribuzione delle piogge in una regione di qualche estensione è necessario installare più strumenti - una rete.**

Il numero dei pluviometri di cui è necessaria l'installazione dipende da:

- **uso delle osservazioni;**
- **distribuzione spaziale delle precipitazioni.**

Per quanto riguarda il primo punto: quanto minore è l'intervallo di aggregazione temporale delle piogge areali che si intendono stimare, tanto maggiore deve essere la densità di stazioni nella rete che si sta considerando (a parità di accuratezza della stima). *Questo vuole dire che se per effettuare una stima di precipitazione media areale **giornaliera** può essere sufficiente un pluviometro ogni 100 km<sup>2</sup>, per ottenere la stessa accuratezza di stima per le piogge medie areali **orarie** va installata una rete di densità maggiore (p. es.: uno strumento ogni 10 km<sup>2</sup>).*

La densità della rete pluviometrica italiana (tra le più fitte) è di circa uno strumento ogni 80 km<sup>2</sup>, quella francese pari a 1 su 150 km<sup>2</sup>, negli Stati Uniti pari a 1 su 700 km<sup>2</sup>.



## La rilevazione elettronica dei dati

*L'avvento dell'elettronica, ed in particolare dei sistemi a microprocessore, ha consentito una fondamentale svolta nelle metodologie di acquisizione ed elaborazione dei dati.*

Vantaggi:

Possibilità di effettuare un trattamento completo dei dati stessi, dal sistema di rilevamento alle elaborazioni più complesse, in maniera completamente automatica, eliminando così gran parte degli errori e delle imprecisioni dovute all'intervento degli operatori.

Un sistema elettronico di misura ed acquisizione di dati è costituito essenzialmente da tre parti:

- 1) sensore, che provvede a trasformare le variazioni della grandezza misurata in variazioni di una grandezza di tipo elettrico;
- 2) sistema di controllo, basato su microprocessore, che provvede alle seguenti funzioni: acquisizione, conversione (analogico/digitale), memorizzazione dei dati ed eventuale trasmissione;
- 3) sistema di alimentazione, che fornisce l'energia necessaria al funzionamento dell'intero apparato.

## La rilevazione elettronica dei dati: sensore

Il sistema di acquisizione dati, si trova ad operare, nella maggior parte dei casi, in condizioni ambientali assai severe (con elevati sbalzi di temperatura tra il giorno e la notte) e in presenza di fattori aggressivi di varia natura. E' essenziale, quindi, la completa adattabilità a tali condizioni dei sensori prescelti, la cui importante funzione, di acquisire e di convertire, deve essere al meglio salvaguardata.





## La rilevazione elettronica dei dati: sistema di controllo

Il **sistema di controllo** provvede ad effettuare tutte le operazioni di acquisizione, registrazione e trasmissione dei dati rilevati. Poiché il sistema è di tipo digitale, è necessario provvedere a misurare ad intervalli temporali definiti la grandezza sotto osservazione per convertirla quindi in segnali numerici. Tale operazione, definita campionamento, consente di avere comunque tutta l'informazione necessaria per ricostruire il grafico dell'andamento reale del fenomeno, purché come è noto la frequenza di campionamento sia almeno doppia rispetto alla massima frequenza spettrale del segnale che si vuole campionare.

Fissato quindi in base alle considerazioni di cui sopra il periodo di campionamento, il sistema provvederà ad effettuare ad intervalli prefissati la misura del segnale analogico proveniente dal sensore. Utilizzando un convertitore analogico-digitale (ADC), il segnale viene quindi trasformato in valore digitale, e trattato per via numerica dal microprocessore.

A seconda delle varie metodologie di raccolta dati previste dall'utilizzatore dell'apparato, i dati possono essere visualizzati localmente su richiesta dell'operatore, registrati su moduli di memoria asportabili a stato solido, ovvero teletrasmessi via telefono, ponte radio terrestre o satellitare, trasferiti come SMS (Short Message Service) su reti telefoniche digitali tipo GSM (modalità molto utile nel caso di allarme idrometeo).



## La rilevazione elettronica dei dati: sistema di controllo

La visualizzazione locale dei dati consente all'operatore di verificare sia la taratura dello strumento, da effettuarsi tramite confronto con strumento campione, sia il corretto funzionamento di tutto il sistema di acquisizione.

E' inoltre possibile rileggere rapidamente i dati acquisiti e registrati sui moduli di memoria. La registrazione locale dei dati viene attualmente realizzata utilizzando quasi esclusivamente moduli di memoria allo stato solido, che possono essere di vario tipo:

- EPROM, in cui i dati vengono scritti utilizzando impulsi elettrici, ma che per essere cancellati richiedono l'utilizzo di un apposito cancellatore a raggi ultravioletti. Hanno una elevatissima affidabilità, ed è praticamente impossibile perdere accidentalmente i dati registrati;
- EEPROM (definito anche E2 PROM), in cui i dati vengono scritti utilizzando impulsi elettrici. A fronte di una maggiore flessibilità rispetto al sistema EPROM (i dati possono essere sovrascritti intenzionalmente) presentano una maggiore vulnerabilità dovuta al rischio di una accidentale cancellazione, con conseguente perdita dei dati. Attualmente vengono prodotte schede di alta capacità (Flash Cards) in grado di memorizzare una notevolissima mole di dati.

## La rilevazione elettronica dei dati: sistema di controllo



## La rilevazione elettronica dei dati: alimentazione

**Il Sistema di alimentazione** deve provvedere a fornire l'energia elettrica per l'intera strumentazione. Sono possibili due diverse soluzioni fondamentali:

- a) alimentazione con pile a secco non ricaricabili.
- b) alimentazione con accumulatori ricaricabili.

La prima soluzione viene adottata in caso di strumenti destinati a funzionare, per limitati periodi di tempo, in siti ove non sia comunque disponibile una sorgente di energia per la ricarica degli accumulatori. Il costo d'impianto del sistema è limitato, ma sono necessarie più visite di controllo per la verifica e la sostituzione delle pile.

Gli accumulatori ricaricabili vengono, di solito, impiegati quando sia disponibile una sorgente di energia elettrica, sia essa una linea di rete, sia un sistema di pannelli fotovoltaici.

Nel caso di alimentazione da rete, gli accumulatori hanno lo scopo di consentire il funzionamento della strumentazione in caso di mancanza di energia per guasto alla linea di alimentazione od alla rete locale; tale eventualità non è infrequente in siti disagiati e lontani dalle principali direttrici delle reti di alimentazione.

Ove la sorgente di energia sia costituita da un pannello fotovoltaico, gli accumulatori hanno lo scopo di fungere da volano, sopperendo alla alimentazione in caso di insufficienza di energia fotovoltaica.



## Le reti di rilevamento: trasmissione dati

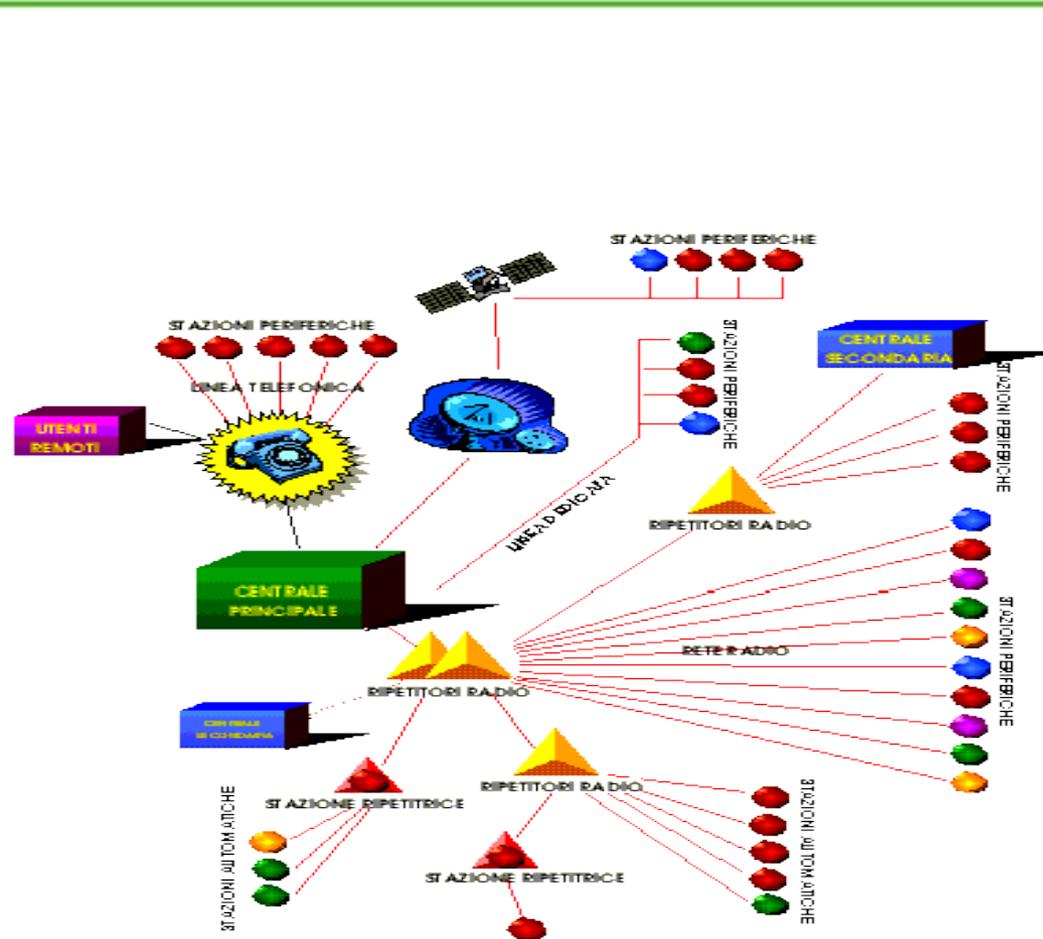
*Per trasmissione dei dati si intende qui l'invio di informazioni alfanumeriche da una stazione remota (appartenente alla rete considerata) ad un stazione centrale di archiviazione ed elaborazione.*

*Tecnologie disponibili:*

- linee telefoniche;
- frequenze radio VHF/UHF e microonde;
- satelliti geostazionari e polari;
- telemetria meteor-burst.

*La scelta fra queste tecnologie dipende da molti fattori, compresi:*

- tempo minimo ammissibile fra acquisizione del dato presso la stazione remota e suo invio alla stazione centrale;
- scala spaziale dell'applicazione;
- costi.





## La trasmissione dati: reti telefoniche

I sistemi maggiormente utilizzati per la trasmissione automatica dei dati in Italia sono:

- trasmissione tramite linee telefoniche commerciali;
- trasmissione tramite frequenze radio VHF/UHF e microonde

### *Trasmissione tramite linee telefoniche*

*Le linee telefoniche commerciali rappresentano un mezzo di trasmissione flessibile con un raggio d'azione praticamente illimitato. L'uso delle linee telefoniche terrestri è ovviamente limitato a punti raggiungibili con la tecnologia via cavo.*

*L'uso di servizi di telefonia cellulare ha avuto recentemente una notevole espansione in questo campo. Anche in questo caso, tuttavia, non tutti i siti possono essere raggiunti.*

*L'impiego di linee telefoniche richiede l'utilizzazione di un modem (che modula e demodula il segnale numerico per la trasmissione remota), sia presso il sito monitorato che presso il centro di acquisizione.*

*Il centro di acquisizione può essere programmato per iniziare la comunicazione a tempi prefissati. Inoltre, stazioni remote attrezzate con data loggers e microprocessori possono inviare i dati una volta che l'evento è iniziato (per esempio, un evento di precipitazione) oppure quando il segnale supera una soglia prefissata (è il caso del livello idrometrico di un corso d'acqua).*

*Queste procedure sono molto utilizzate nei casi di implementazione di sistemi di monitoraggio in tempo reale.*

*Data logger: strumento elettronico in grado di registrare ad un intervallo temporale prefissato il segnale in uscita da un sensore .*



## La trasmissione dati: frequenze radio

Le bande VHF/UHF (da 30 a 3000 MHz) e le microonde (da 3000 a 300.000 MHz) sono le frequenze utilizzate per la trasmissione radio dei dati.

In questo caso, la distanza di trasmissione decresce con il diminuire della potenza disponibile e con l'aumentare della frequenze radio.

Quando si usano le frequenze più elevate, il percorso fra il trasmettitore ed il ricevitore deve essere a vista.

Quando si devono superare i limiti imposti dalla topografia e dalla potenza disponibile, si possono utilizzare i ripetitori, i quali ricevono e trasmettono i segnali radio e quindi possono essere utilizzati per estendere le distanze di trasmissione. La presenza di ripetitori, tuttavia, aumenta la vulnerabilità (p.es. a causa di scariche atmosferiche) ed i costi del sistema.

Come per i sistemi telefonici, il centro di acquisizione può essere programmato per iniziare la comunicazione a tempi prefissati, o per ricevere i dati in caso di emergenza.



## La trasmissione dati: sistemi satellitari

I satelliti possono essere utilizzati come ripetitori nella trasmissione di dati.

Dati acquisiti da stazioni remote vengono trasmessi ad un satellite di telecomunicazioni, il quale ritrasmette successivamente i dati ad un sito centrale di elaborazione ed archiviazione.

*L'uso dei satelliti espande la scala della trasmissione dati da regionale a globale.*

*Ai fini della trasmissione dati via satellite si possono utilizzare:*

- **satelliti polari** (orbitano ad un'altezza nominale di 870 km dalla terra e impiegano 101 min per completare un'orbita)

*Esempio: sistema ARGOS (Francia - Stati Uniti)*

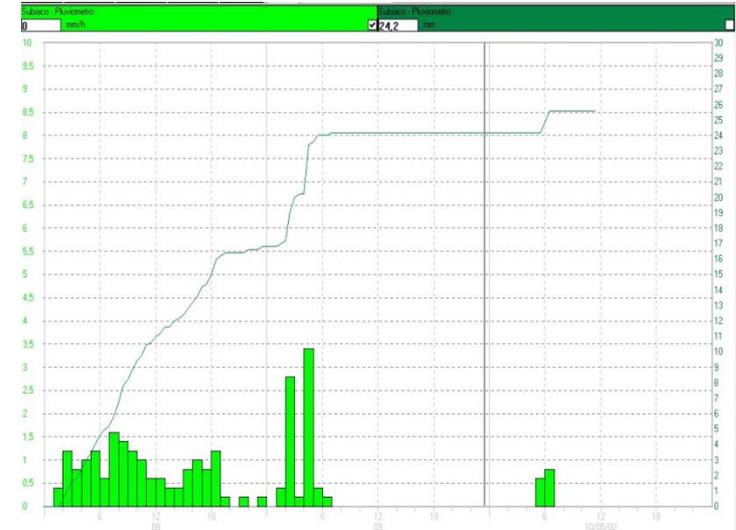
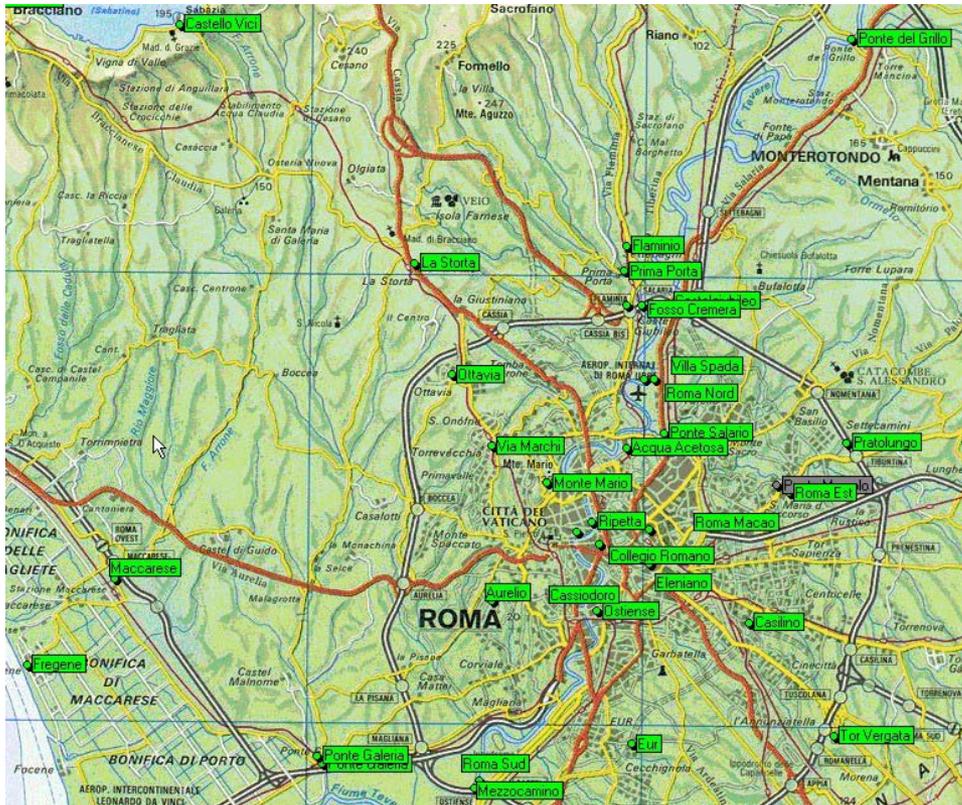
*Il ritardo medio dall'acquisizione dati alla disponibilità del dato presso il centro di archiviazione ed elaborazione è di 3-4 ore.*

- **satelliti geostazionari** (altitudine di circa 35.000 km, sincroni con la rotazione terrestre - quindi il satellite appare stazionario sopra un fissato punto della superficie terrestre)

*Esempio: l'Agenzia Spaziale Europea gestisce un satellite Meteosat per la trasmissione di dati idrometrici in Europa ed in Africa.*

*Il ritardo dall'acquisizione alla ritrasmissione è variabile (in media 3-4 ore)*

# Il software di visualizzazione ed analisi dei dati



Nome stazione	Sensore, descr. lunga	Valore	Trend%	Incr. h	um.	Ora valore	Ente proprietario
Porte Baschi	Idrometro	1.35	▲	0.10	m	18.00	IRORM
Porte Baschi	Batteria	15.5	=	0.0	Volt	18.00	IRORM
Orte Scalo	Idrometro	2.07	▲	0.08	m	18.00	IRORM
Orte Scalo	Pluviometro	85.4	=	0.0	mm	18.00	IRORM
Stimigliano	Idrometro	1.85	▲	0.10	m	18.00	IRORM
Stimigliano	Batteria	12.8	▼	-0.2	Volt	18.00	IRORM
Mezzocamino	Idrometro	1.46	▲	-0.08	m	18.00	IRORM
Mezzocamino	Batteria	12.4	▼	0.0	Volt	18.00	IRORM
Porte Manolo	Idrometro				m	18.00	IRORM
Porte Manolo	Batteria				Volt	18.00	IRORM
S. Gemini	Pluviometro	99.0	=	0.0	mm	18.00	IRORM
S. Gemini	Termometro aria	15.7	▼	-1.3	Gradi C	18.00	IRORM
S. Gemini	Batteria	12.7	▼	-0.2	Volt	18.00	IRORM
Castel Celvsi	Pluviometro	189.4	=	0.0	mm	18.00	IRORM
Castel Celvsi	Batteria	1.0	▼	0.0	Volt	18.00	IRORM
Terril	Pluviometro	71.6	=	0.0	mm	18.00	IRORM
Terril	Termometro aria	16.7	▼	-2.8	Gradi C	18.00	IRORM
Terril	Batteria	12.9	▼	-0.2	Volt	18.00	IRORM
Tivoli	Pluviometro	911.9	=	0.0	mm	18.00	IRORM
Tivoli	Batteria	12.9	▼	-0.2	Volt	18.00	IRORM
Frascati	Pluviometro	88.6	=	0.0	mm	18.00	IRORM
Frascati	Termometro aria	16.0	▼	-2.0	Gradi C	18.00	IRORM
Frascati	Batteria	12.4	=	0.0	Volt	18.00	IRORM
Collejo Romano	Termometro aria	16.6	▼	-1.2	Gradi C	18.00	IRORM
Collejo Romano	Batteria	12.4	▼	-0.2	Volt	18.00	IRORM
Collejo Romano	Pluviometro	55.2	=	0.0	mm	18.00	IRORM



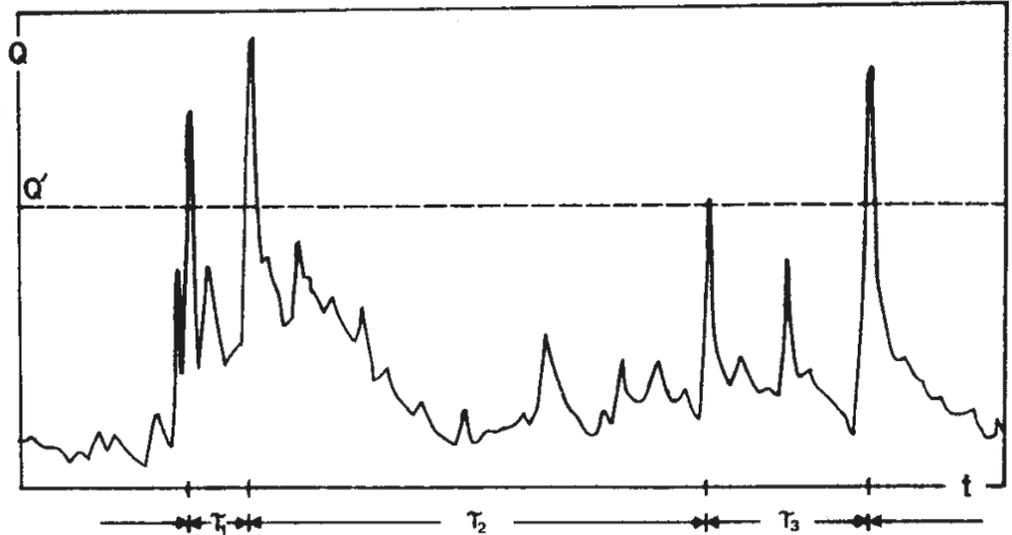
## La statistica nell'ambito dell'analisi idrologica

- I sistemi idrologici sono talvolta investiti da eventi estremi (precipitazioni, piene, siccità). *La magnitudo di un evento estremo è inversamente proporzionale alla sua frequenza di accadimento*: eventi molto severi accadono meno frequentemente di eventi di moderata intensità.
- Obiettivo dell'analisi statistica dei dati idrologici: *collegare la magnitudo degli eventi estremi alla loro frequenza di accadimento tramite l'impiego di distribuzioni di probabilità*.
- *I dati idrologici utilizzati a tale scopo sono assunti essere indipendenti e identicamente distribuiti*.  
In pratica, questo si consegue utilizzando per le analisi statistiche i valori massimi annuali della variabile di interesse.  
Si consideri una serie di valori di portata massima annuale: ogni valore è considerato indipendente rispetto agli altri, e ciascun valore può essere considerato come la realizzazione di un processo stocastico identico per tutti gli anni considerati (questo implica che il sistema idrologico che produce tali valori estremi - il bacino idrografico a monte della sezione dove sono stati osservati i valori massimi annuali - non subisca variazioni nel periodo considerato. Variazioni tipiche sono quelle collegate all'uso del suolo, o alla costruzione di uno sbarramento).

## Tempo di ritorno ( o periodo di ritorno)

Il concetto di probabilità di non superamento (associato ad un certo evento idrologico) è spesso sostituito (per ragioni di comodità di rappresentazione) da quello di tempo di ritorno  $T$ .

In realtà, il concetto di tempo di ritorno può essere introdotto senza far ricorso alla probabilità.



Si consideri l'idrogramma in figura, dove sono indicati gli intervalli  $\tau$  compresi fra successivi istanti associati a valori di portata maggiori di  $Q'$ . Se si considera un periodo di tempo molto esteso, per ogni valore arbitrario di portata  $Q'$  il tempo di ritorno corrispondente è definito come la media degli intervalli  $\tau$

$$T(Q') = \text{media}(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n)$$

Facendo ricorso agli assiomi del calcolo della probabilità, e supponendo che la portata  $Q'$  sia caratterizzata da una probabilità di superamento pari a  $p$ , ovvero  $p = P(Q \geq Q')$

$$T = \frac{1}{P(X \geq x_T)}$$

Il tempo di ritorno di un evento di assegnata intensità è quindi:

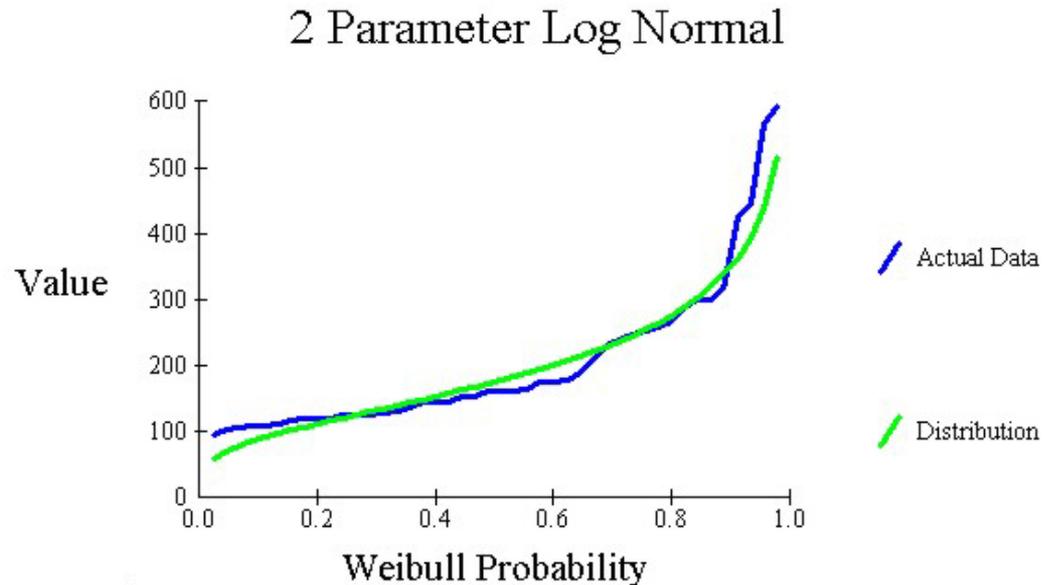
- Numero di anni che in media separa il verificarsi di due eventi di intensità eguale o superiore a quella assegnata.
- Numero di anni in cui l'evento di intensità assegnata viene eguagliato o superato in media 1 volta.

## Funzione lognormale a due parametri

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right]^2\right\}$$

$$\mu = \ln \bar{x} - \frac{1}{2} \ln\left(1 + \frac{s^2}{\bar{x}^2}\right)$$

$$\sigma = \left[\ln\left(1 + \frac{s^2}{\bar{x}^2}\right)\right]^{0.5}$$





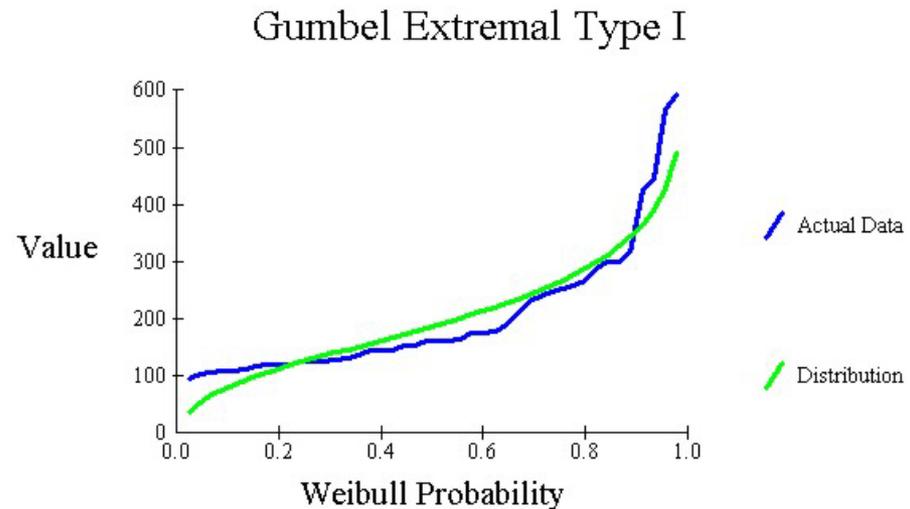
## Funzione di Gumbel

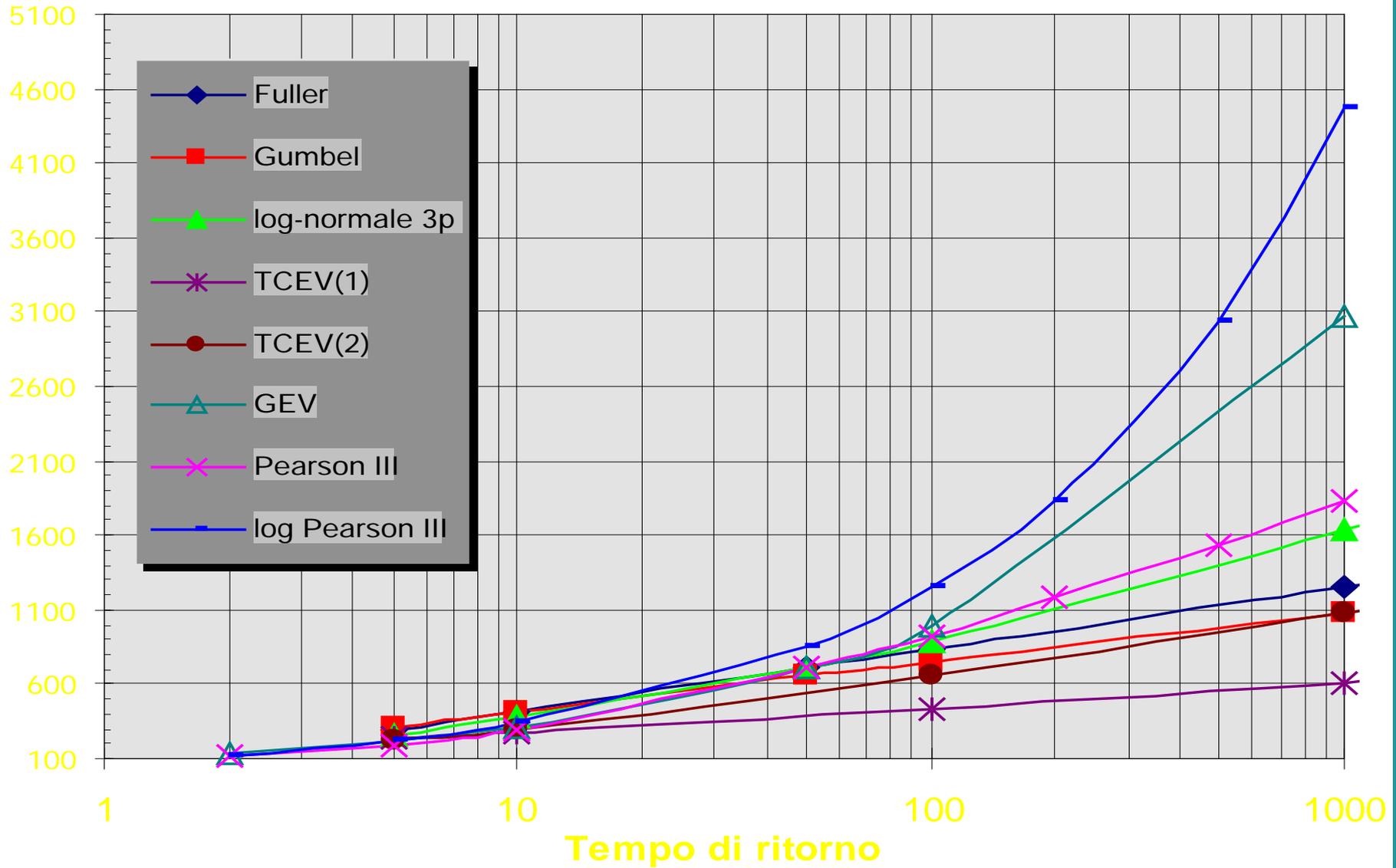
$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$$

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi}$$

$$u = \bar{x} - 0.5772\alpha$$





## Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica

La linea segnalatrice di probabilità pluviometrica fornisce una relazione fra

- altezze di pioggia

e

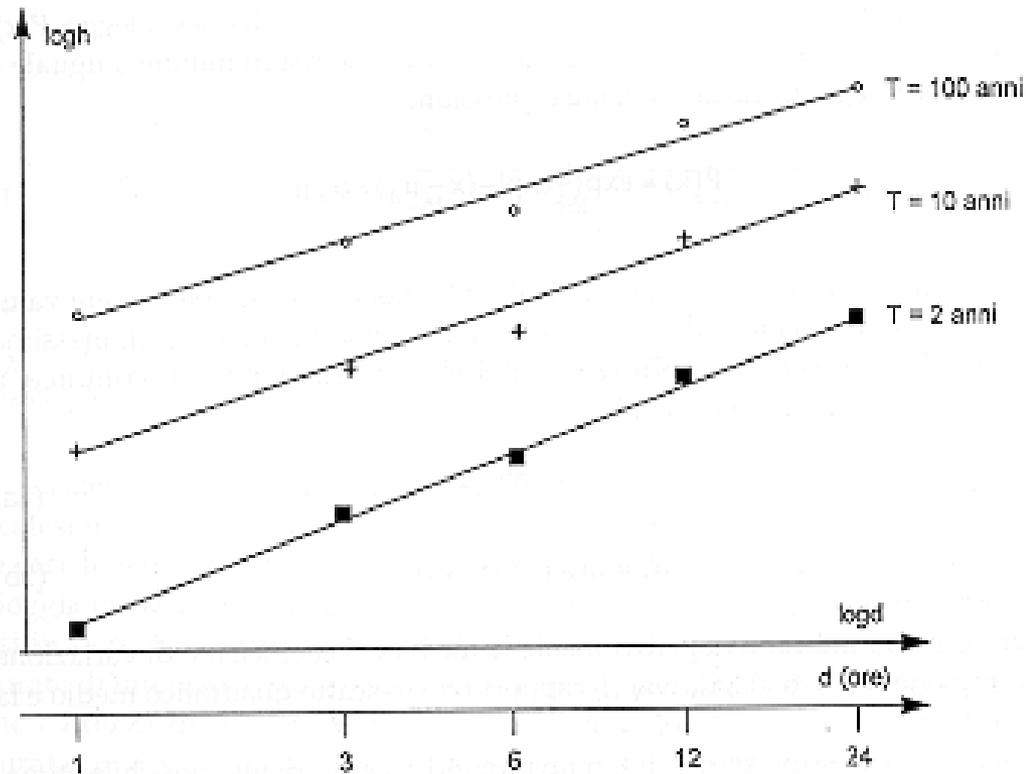
- durata di pioggia

per un assegnato tempo di ritorno

La forma normalmente accettata in Italia è:

$$h = at^n$$

dove **a** ed **n** variano con il tempo di ritorno



## Regionalizzazione delle precipitazioni





**REGIONALIZZAZIONE DELL'ITALIA CENTRALE**  
**DISTRIBUZIONE DEI VALORI ESTREMI TIPO I A DUE COMPONENTI (TCEVI)**  
**PROCEDURA MODIFICATA CON RELAZIONI IDF A TRE PARAMETRI**

$$P(i_t) = e^{-\Lambda_1 e^{-\left[\frac{i_t}{\mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+t}{b}\right)^m\right]}} - \Lambda_1^* \Lambda_1^{1/\Theta^*} e^{-\left[\frac{i_t}{\Theta^* \mu_{i0}(z)} \beta \left(\frac{b+t}{b}\right)^m\right]}$$

con:

$$\mu_{i0}(z) = \frac{\bar{\mu}_{i0}}{\bar{\mu}_{i24}} \delta \frac{(cz+d)}{24}$$

### RELAZIONE IDF A TRE PARAMETRI

$$i_t(T_r) = \frac{a_i(T_r)}{(b+t)^m}$$

**TEMPO  
CONCENTR.  
BACINO**  
 **$\tau_b$  (ore)**  
**0.50**

REGIONE	A	COINCIDENTE CON	LA ZONA	A	SOTTOZONA						A4
$\Lambda^*$	0.174	$\Lambda_1$	29.314	$\delta = \mu_{i5} / \mu_{i24} =$	1.150	c =	0.03390	b =	0.17049	$\mu_{i0}(z) =$	161.638
$\Theta^*$	3.490	$\beta$	4.480	$r = i_5 / i_{60} =$	3.336	d =	67.67126	m =	0.78811	$\bar{\mu}_{i0} / \bar{\mu}_{i24} =$	49.625
STAZIONE	Acilia	$a_i(T_r)$	P(i)	$T_r(i)$	$i_5$	$i_1$	$i_3$	$i_6$	$i_{12}$	$i_{24}$	$i_{\tau_b}$
quota z (m s. m.) =	9.0	35.637	0.500	2	143.686	31.479	14.353	8.493	4.972	2.895	48.834
<b>RISOLVI</b>		41.498	0.667	3	167.317	36.656	16.714	9.889	5.790	3.372	56.866
		48.721	0.800	5	196.438	43.036	19.623	11.610	6.798	3.958	66.763
		59.648	0.900	10	240.498	52.689	24.024	14.215	8.322	4.846	81.737
		73.632	0.950	20	296.878	65.040	29.656	17.547	10.273	5.982	100.899
		83.798	0.967	30	337.868	74.021	33.751	19.970	11.692	6.808	114.831
		98.334	0.980	50	396.475	86.860	39.606	23.434	13.720	7.989	134.749
		119.508	0.990	100	481.847	105.564	48.134	28.480	16.674	9.710	163.764
		141.113	0.995	200	568.960	124.649	56.836	33.628	19.689	11.465	193.371
		153.785	0.997	300	620.052	135.842	61.940	36.648	21.457	12.495	210.736
		169.751	0.998	500	684.428	149.945	68.371	40.453	23.685	13.792	232.615
		191.411	0.999	1000	771.757	169.078	77.094	45.615	26.707	15.552	262.295

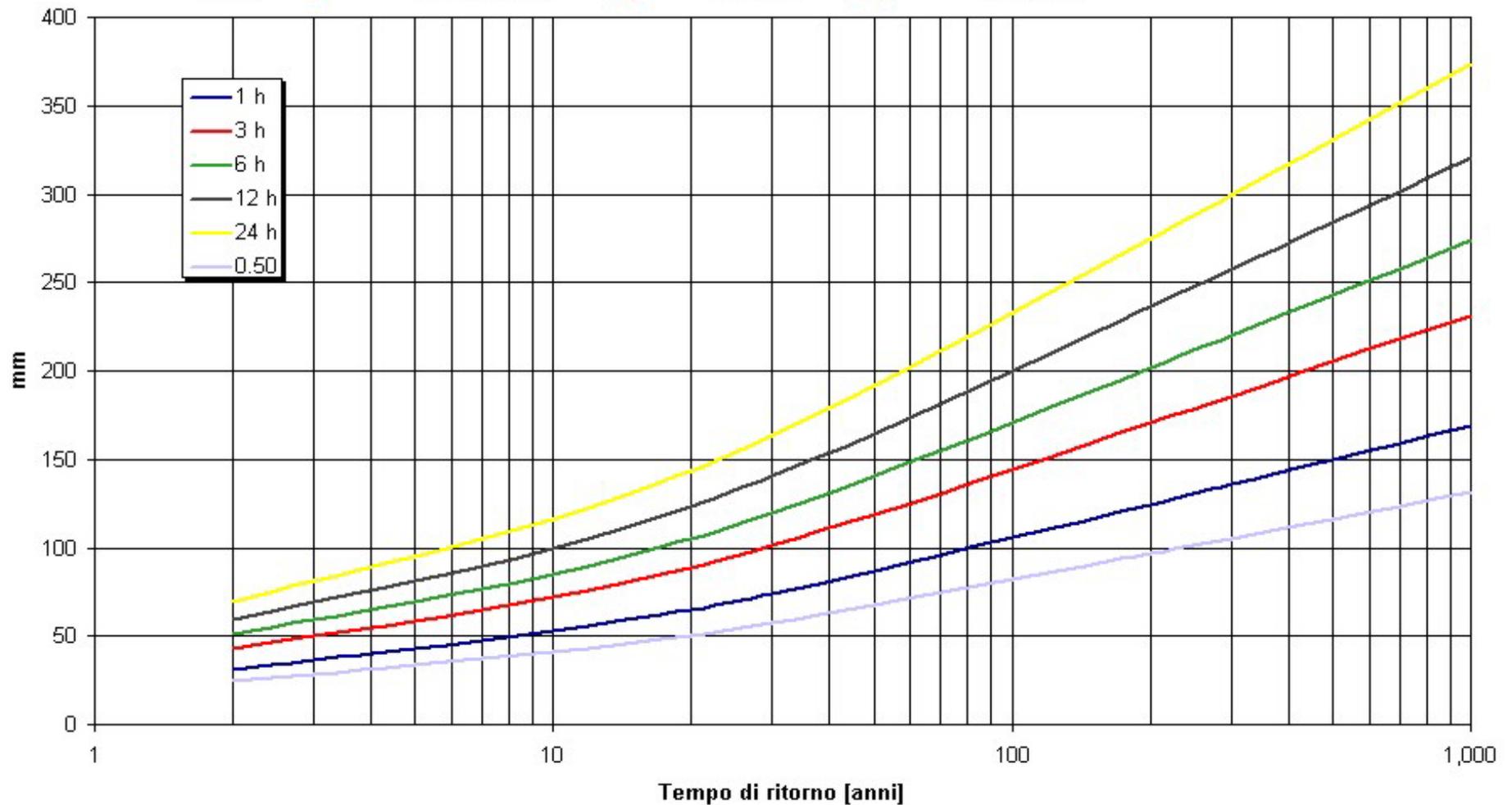




### Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica della stazione di

Acilia

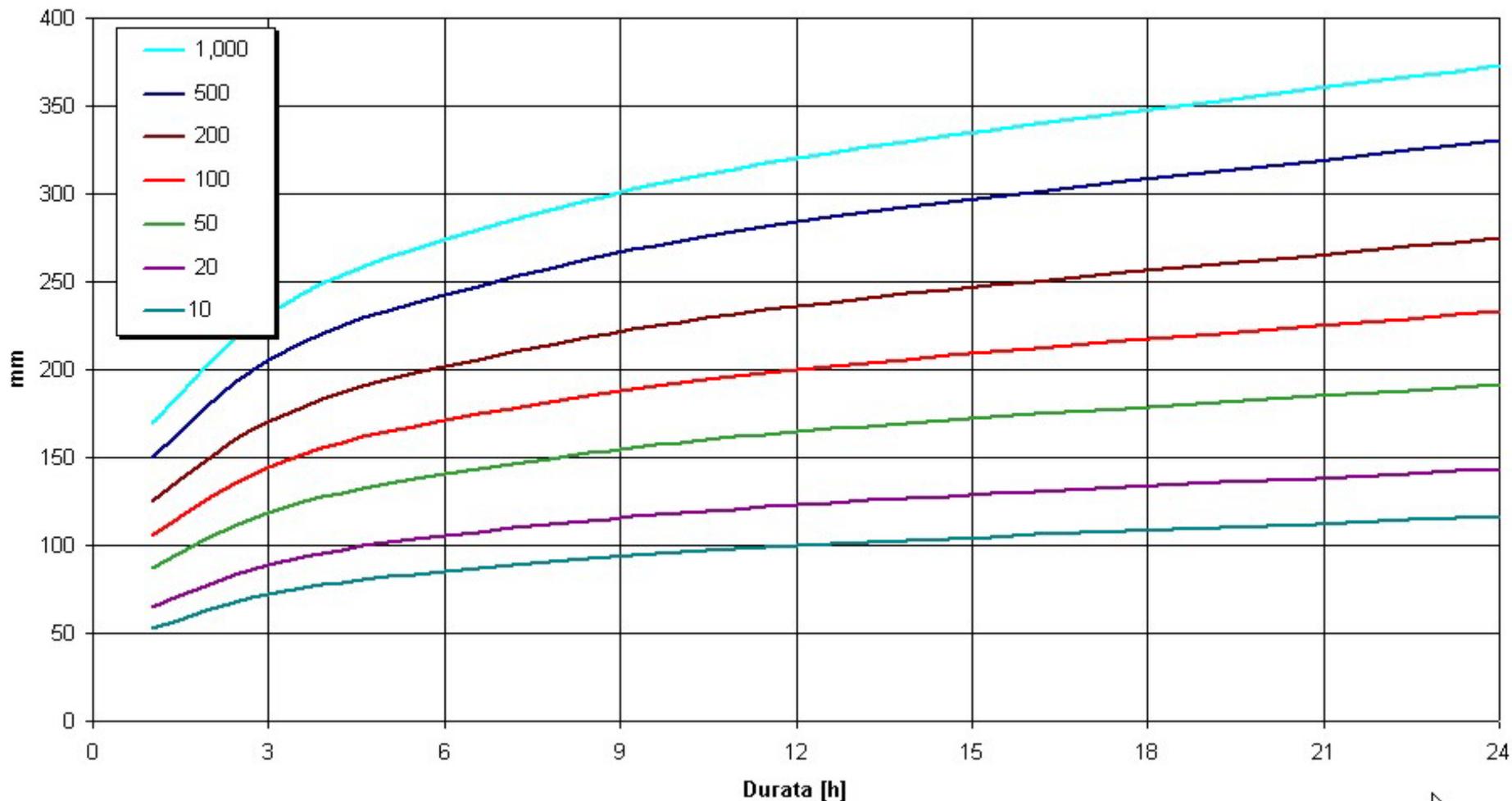
zona **A** sottozona **A4** quota **9.0** m s.l.m.





Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica della stazione di  
zona **A** sottozona **A4** quota **9.0** ms.l.m

**Acilia**



## 4. Misura dei livelli idrometrici e delle portate liquide

Le portate, i deflussi ed i livelli idrometrici

I deflussi dei corsi d'acqua non si possono misurare direttamente, raccogliendo l'acqua che attraversa la sezione in un dato intervallo di tempo, per motivi ben evidenti. Solo nel caso di corsi d'acqua piccolissimi o di sorgenti si possono eseguire misure di questo tipo, che rappresentano l'esatto corrispondente delle misure di pioggia.

La **portata** corrisponde alla quantità di acqua che in un certo **istante** attraversa una data sezione.

Il **deflusso superficiale** corrisponde alla quantità d'acqua che attraversa una certa sezione in un **intervallo generico di tempo**.

Il **livello idrometrico** rappresenta il livello del pelo libero, misurato rispetto ad un determinato riferimento, corrispondente ad una certa portata.

## La relazione tra portate e livelli

Le misure dirette di portata sono decisamente onerose, con notevole impiego di attrezzatura e di personale.

Il problema dell'osservazione delle portate dei corsi d'acqua si risolve quindi facendo ricorso a **misure indirette**: si misura il livello idrometrico, e da questo si stima, sulla base di una relazione fra livelli e portate, il valore di portata.

In realtà, la portata che attraversa una data sezione di un corso d'acqua in un certo istante è funzione di:

- area della sezione bagnata;
- velocità media sulla sezione (funzione della perdita specifica di energia).

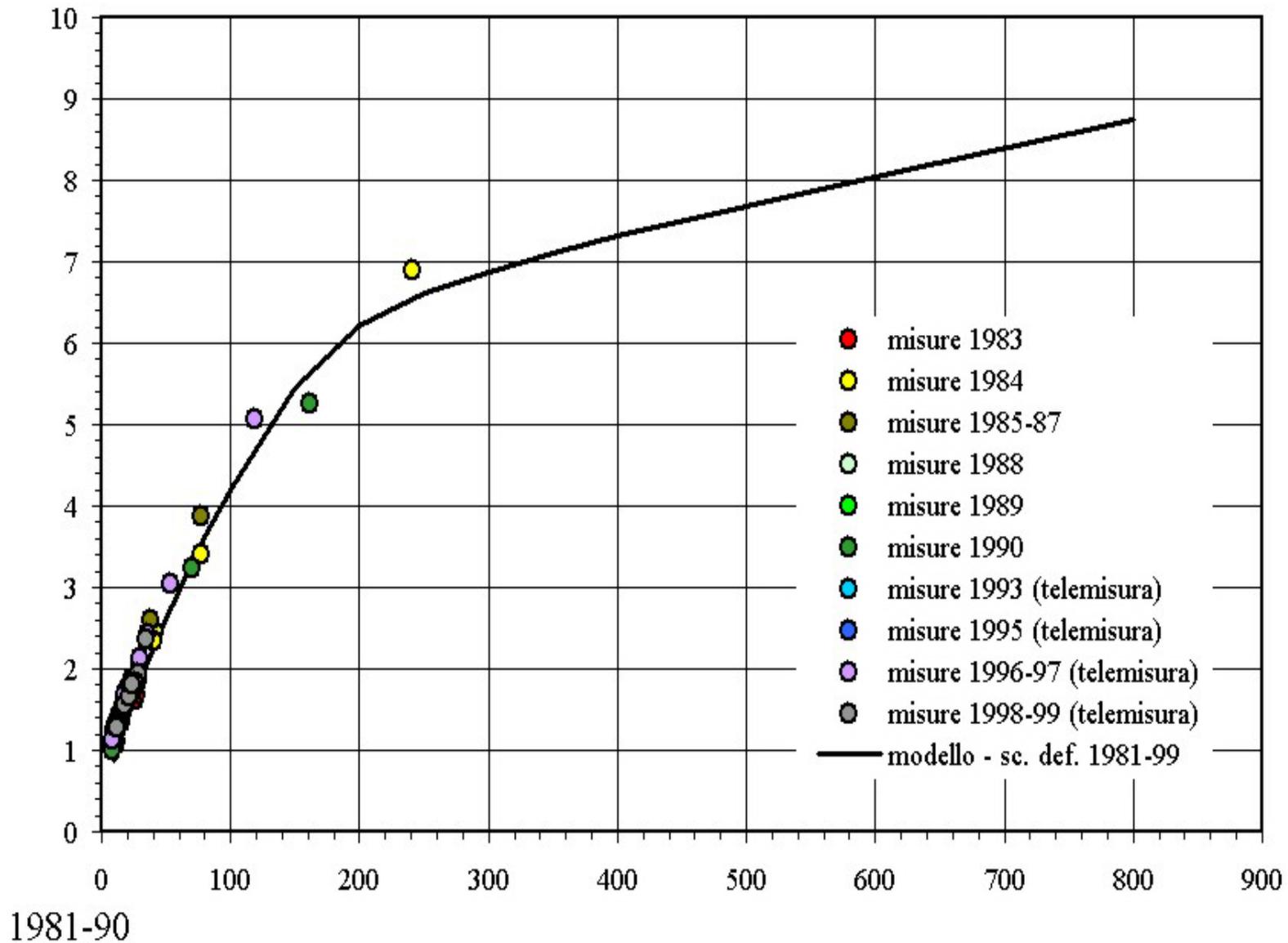
Per i corsi d'acqua naturali, risulta del tutto lecito approssimare la pendenza della linea dei carichi totali con quella del pelo libero.

Allora, la portata di un corso d'acqua è funzione di:

- livello idrometrico
- pendenza del pelo libero nella sezione (questo vale a condizione che l'alveo non subisca nel tempo modifiche di alcun genere, né di alveo né di scabrezza).



### Scala delle portate



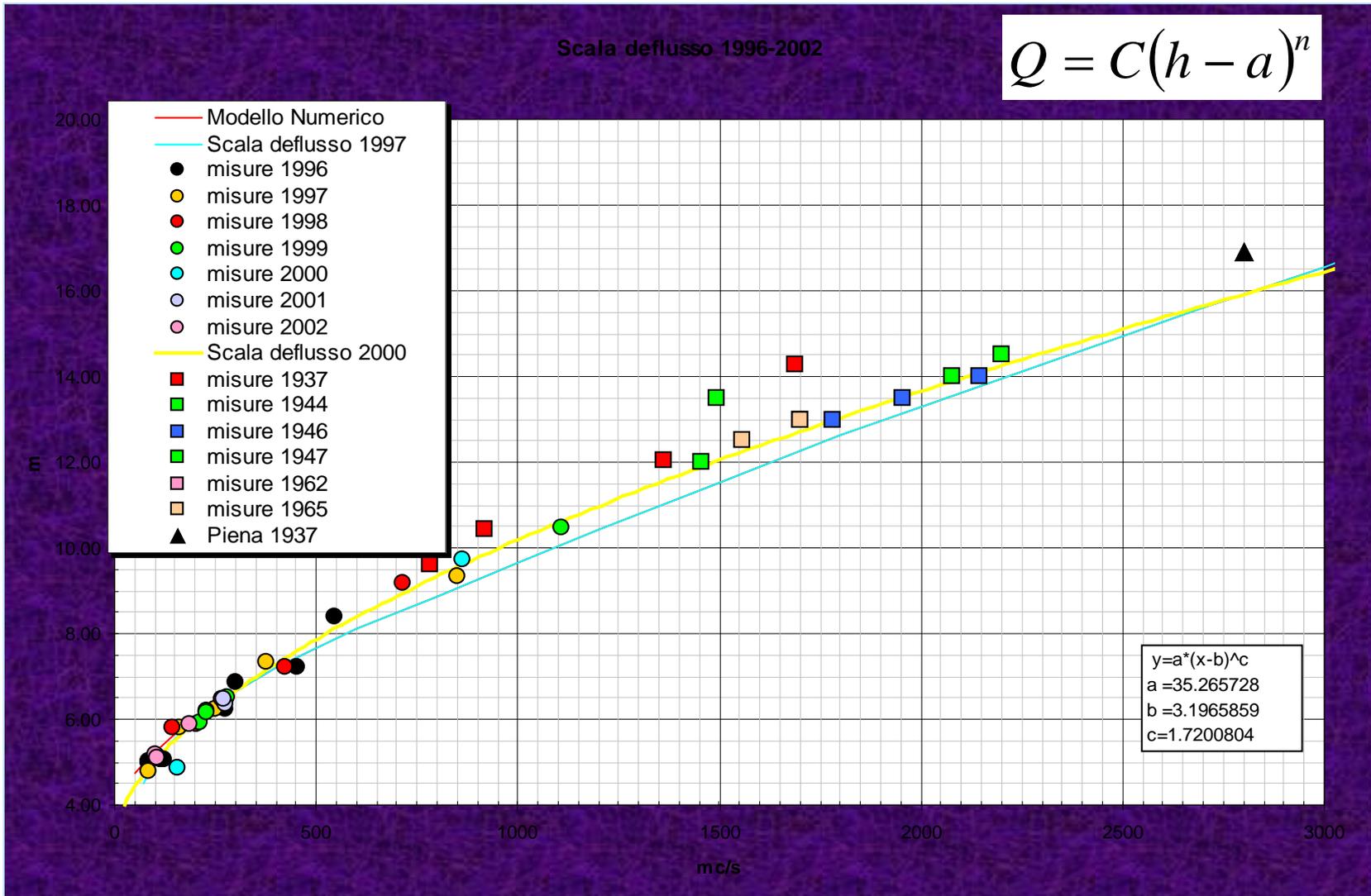


Si assume quindi che per una data sezione di un corso d'acqua esista una relazione biunivoca tra portate e livelli (scala delle portate), che permette di trasformare le osservazioni di altezza d'acqua in osservazioni di portata. Su queste assunzioni si basa il rilevamento sistematico delle portate dei corsi d'acqua naturali.

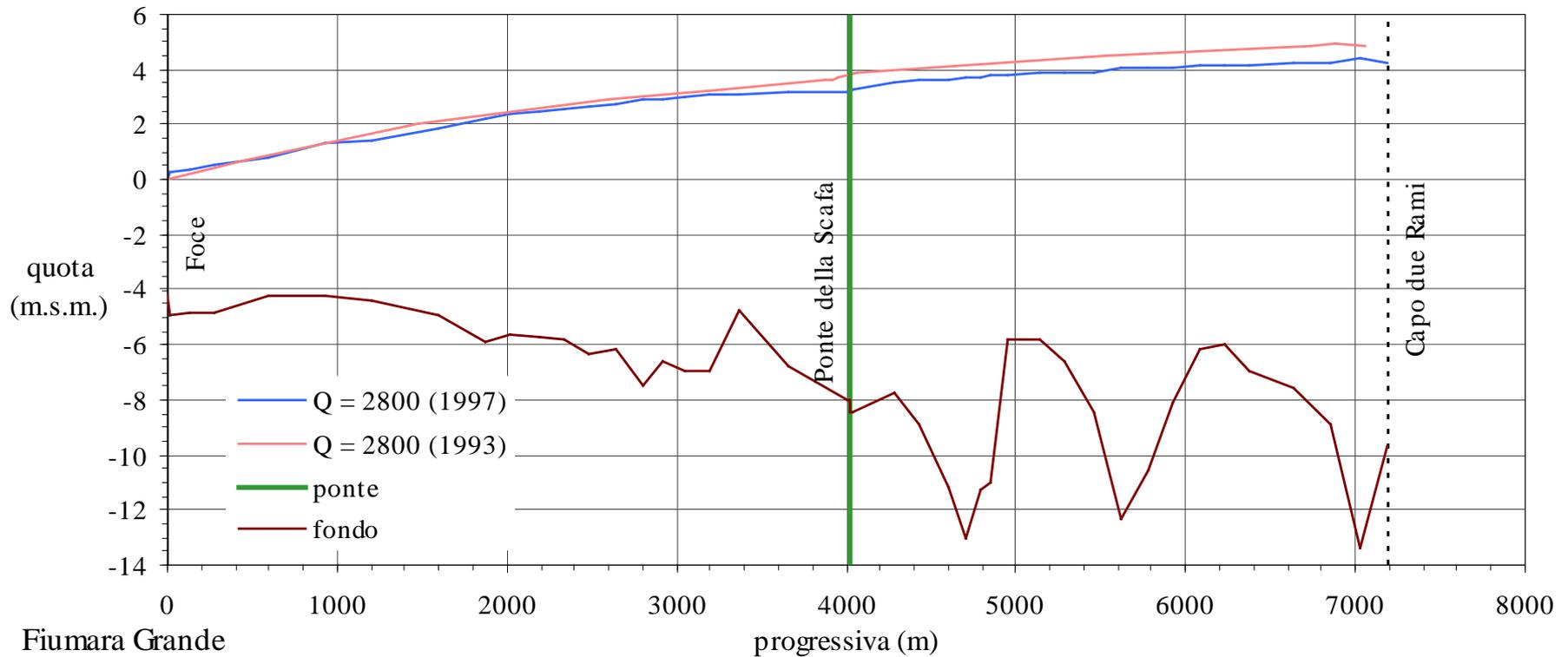
Naturalmente la determinazione della scala delle portate richiede l'esecuzione di un certo numero di misure contemporanee di livello e di portata. Queste misure però si limitano al numero indispensabile per una corretta definizione della scala delle portate, mentre la gran massa delle misure di portata si ottiene dall'elaborazione di semplici misure di altezza d'acqua.

*Non è poi necessario che le misure di portata destinate all'individuazione della scala delle portate siano eseguite esattamente nella stessa sezione in cui si misurano i livelli. E' infatti del tutto sufficiente che le portate nella sezione di misura si possano ritenere uguali a quelle della sezione in cui si osservano i livelli. Per questo, basta che non ci siano immissioni o perdite di portata e che la distanza fra le due sezioni sia abbastanza piccola da poter considerare uguali le portate anche in condizione di moto vario.*

### Scala di deflusso del Tevere a Roma (Ripetta/Porta Portese)



# Taratura della scala di deflusso



Modello numerico in moto permanente

## Misura della velocità della corrente idrica

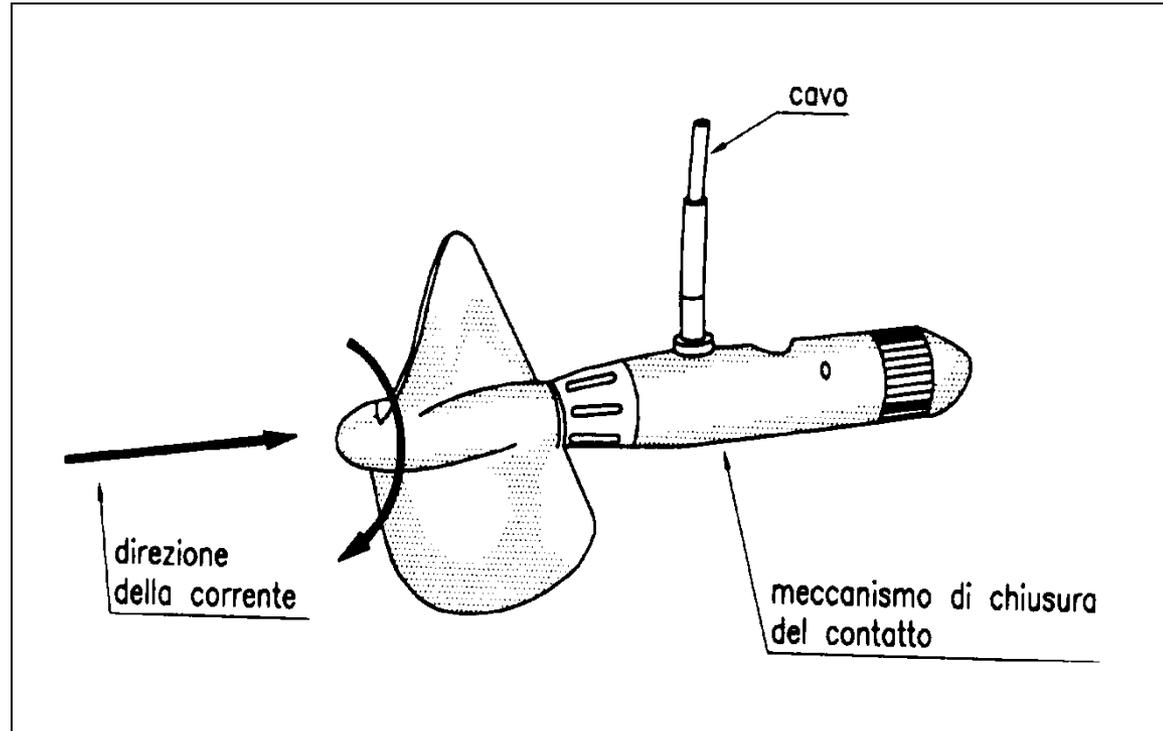
Il metodo di misura delle portate di gran lunga più diffuso (ma non l'unico: vedi misure di portata tramite metodi chimici) consiste nell'eseguire un certo numero di misure di velocità in diversi punti, opportunamente distribuiti, della sezione liquida (piana, verticale e disposta ortogonalmente alla direzione generale della corrente), e nell'approssimare l'integrale di flusso con una sommatoria.

Lo strumento per misurare la velocità dell'acqua in un punto si chiama **mulinello**, costituito di due parti:

- un **equipaggio mobile** che, investito dalla corrente, ruota ad una velocità che è funzione della velocità della corrente;

- **dispositivo utilizzato per contare il numero di giri**, che provoca la chiusura di un contatto elettrico (p. es. ogni 10 giri dell'equipaggio).

Mulinello: in inglese "current meter"



## Misure da teleferica





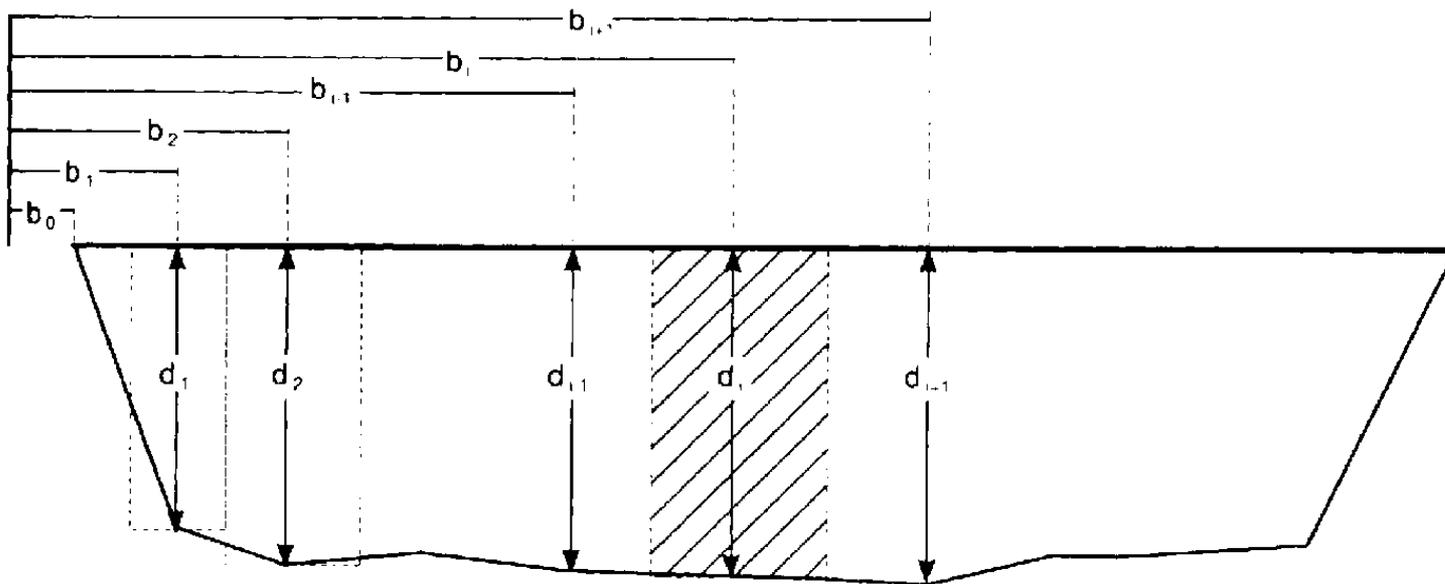
## Misure da teleferica



## Determinazione della scala delle portate

La **scala delle portate** viene determinata adattando una funzione ai dati di portata e livello idrometrico ottenuti durante le campagne di misura.

I valori di portata si determinano sulla base della geometria della sezione liquida (che viene discretizzata) e dei valori di velocità misurati in corrispondenza delle linee centrali dei segmenti verticali a quote particolari (se il tirante  $d_i$  è minore di 0.8 m, si misura la velocità ad un'altezza di  $0.6 d_i$ ; se il tirante è maggiore di 0.8 m, si misura la velocità ad almeno due altezze:  $0.2d_i$  e  $0.8d_i$ ).



## Determinazione della scala delle portate

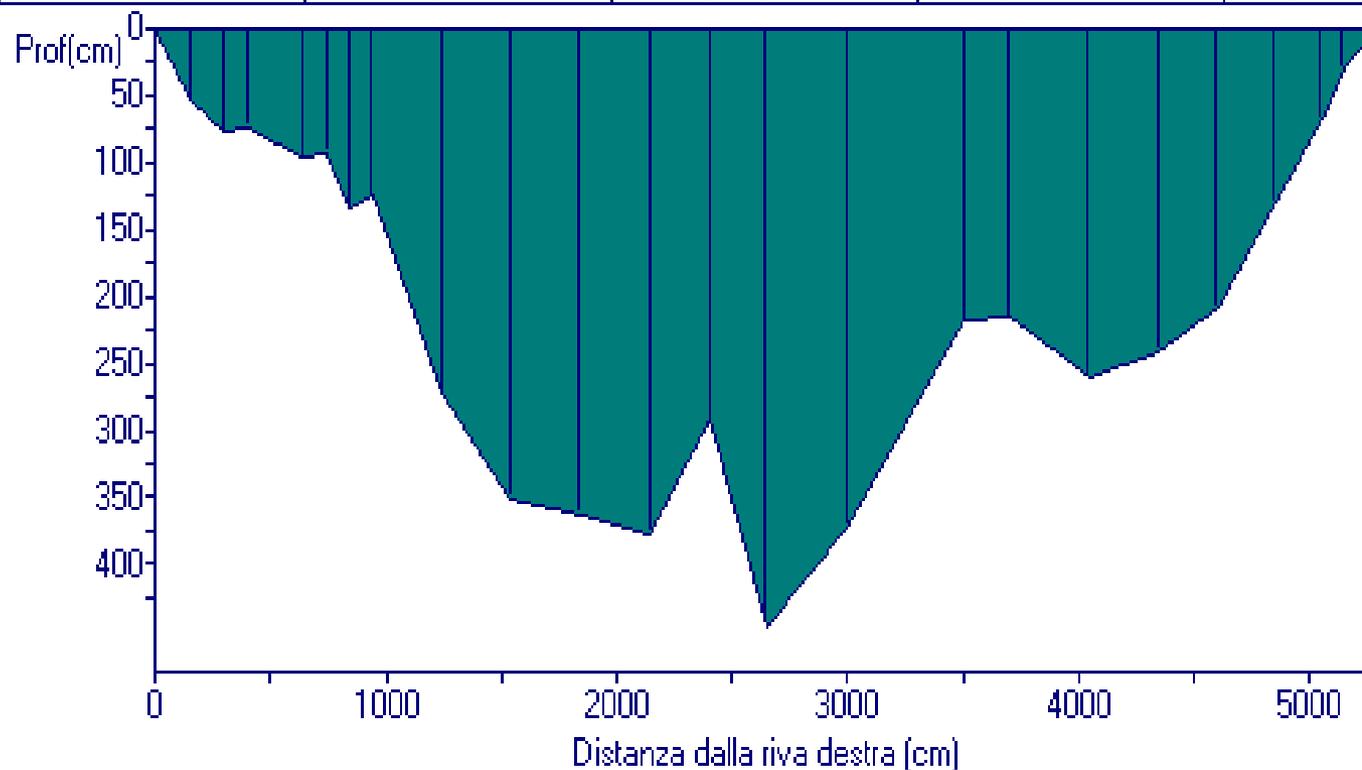
Il numero minimo di segmenti da utilizzarsi è pari a 20  
(Sezione 8.1.2. norme ISO 748-1979)

La portata  $q_i$  in corrispondenza di ogni segmento di area si determina come:

$$q_i = v_i \left( \frac{b_{i+1} - b_{i-1}}{2} \right) d_i$$

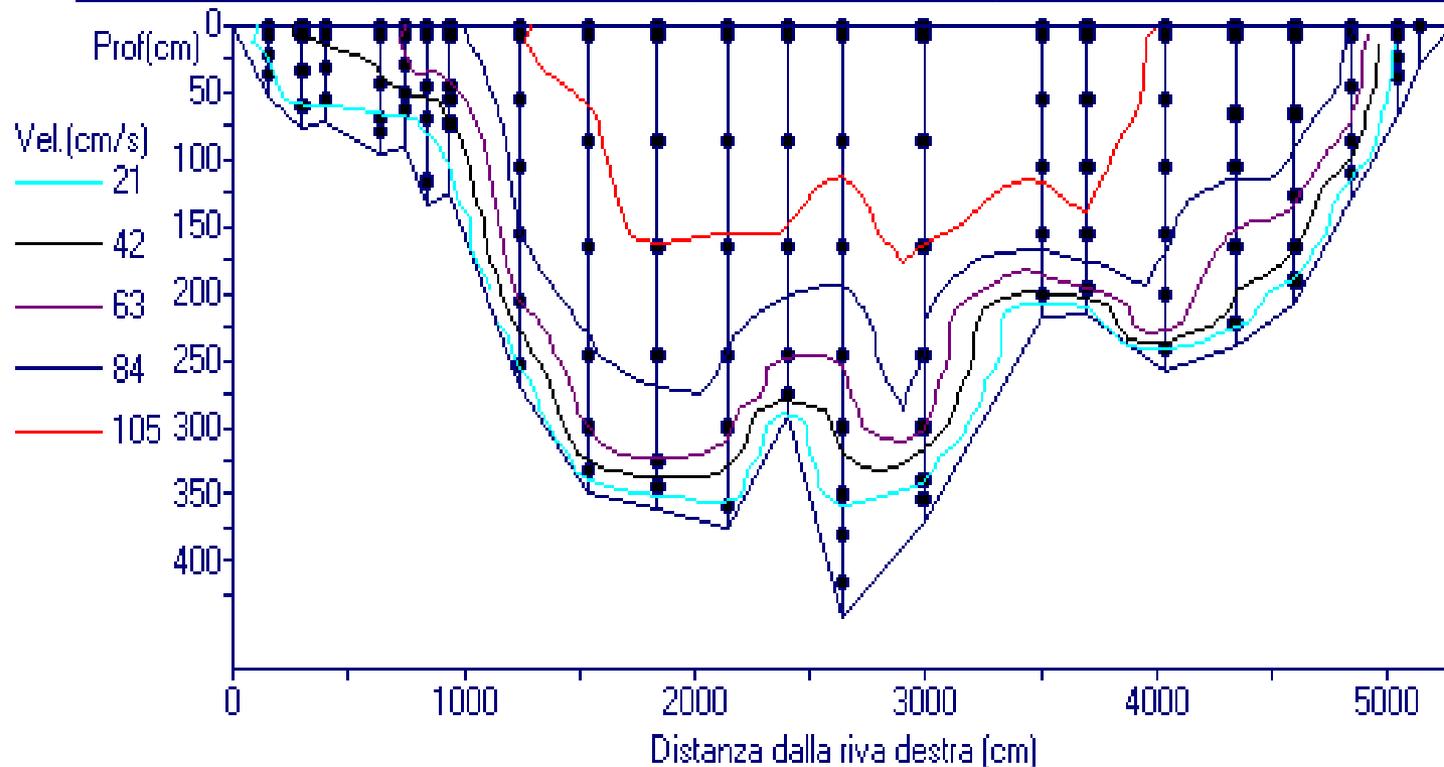


Fiume: TEVERE	Misura N: 1	Sezione: PORTA PORTESE-Teleferica	DATA: 13/02/2002	
H Sc. Idrom(m): 5.170	Prof media(m): 2.338	Prof max(m): 4.43	Larghezza(m): 52.80	Area(mq): 123.457
Portata(mc/s): 102.229	V Media (m/s): 0.828	V Max(m/s): 1.239	V Min(m/s): 0.074	V sup.(m/s): 0.839



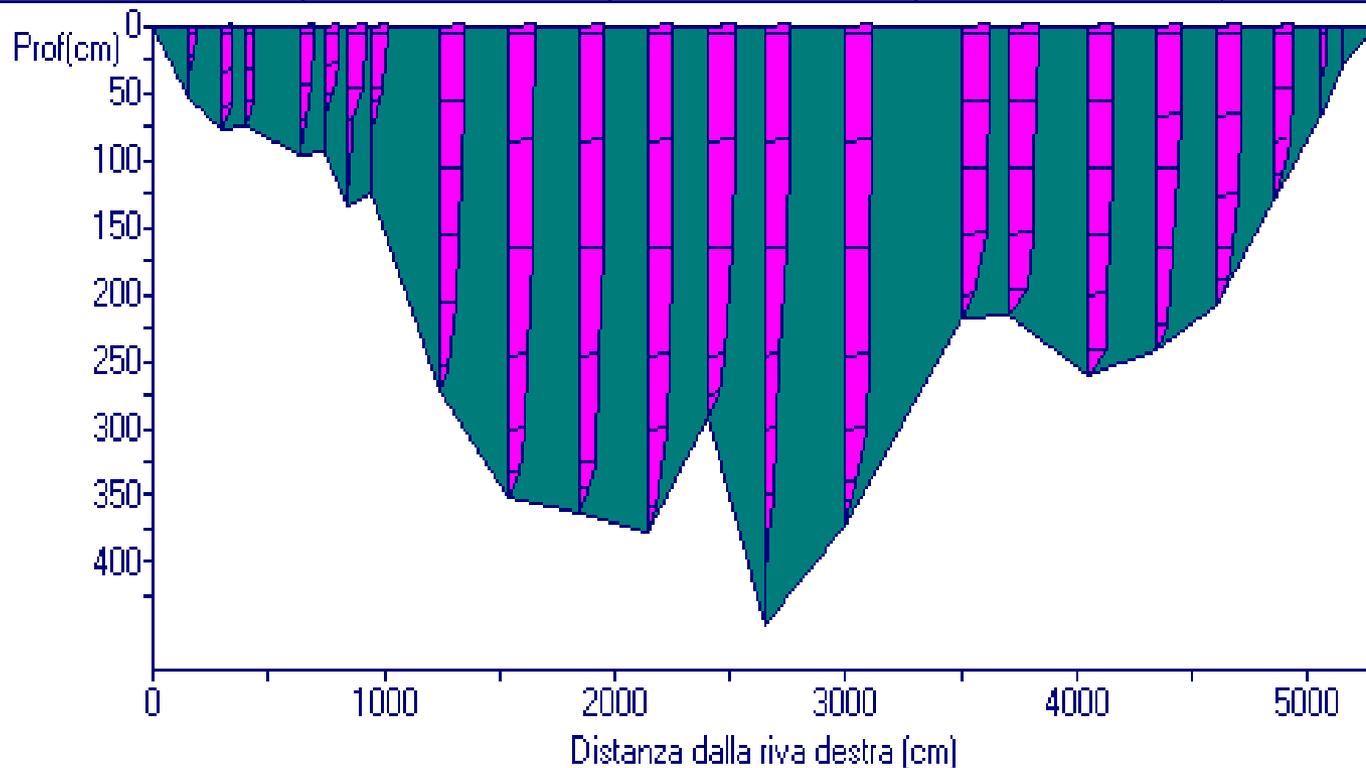


Fiume: TEVERE	Misura N: 1	Sezione: PORTA PORTESE-Teleferica	DATA: 13/02/2002	
H Sc. Idrom(m): 5.170	Prof media(m): 2.338	Prof max(m): 4.43	Larghezza(m): 52.80	Area(mq): 123.457
Portata(mc/s): 102.229	V Media (m/s): 0.828	V Max(m/s): 1.239	V Min(m/s): 0.074	V sup.(m/s): 0.839





Fiume: TEVERE	Misura N: 1	Sezione: PORTA PORTESE-Teleferica	DATA: 13/02/2002	
H Sc. Idrom(m): 5.170	Prof media(m): 2.338	Prof max(m): 4.43	Larghezza(m): 52.80	Area(mq): 123.457
Portata(mc/s): 102.229	V Media (m/s): 0.828	V Max(m/s): 1.239	V Min(m/s): 0.074	V sup.(m/s): 0.839





## Il monitoraggio idrometrico

Lo strumento per la misura del livello dell'acqua o altezza idrometrica nei fiumi e nei laghi si chiama **idrometro** o anche **limnimetro**, nel caso dei laghi, o **mareografo**, nel caso delle misure di livello del mare

La sezione in cui si installa l'idrometro deve essere stabile (altrimenti si perde la consistenza della scala delle portate). Nel caso di correnti lente (*numero di Froude inferiore ad uno*), che sono influenzate dalle perturbazioni che vengono da valle, l'idrometro non deve mai essere posto a monte di un tratto d'alveo in cui sia verosimile attendersi dei cambiamenti particolarmente consistenti, dei quali si deve evitare l'influenza.

Per migliorare la precisione delle misure è bene scegliere una sezione in cui, a parità di variazione di portata, la variazione di livello sia particolarmente sensibile.



## L'asta idrometrica

L'idrometro più semplice è l'asta idrometrica.

Asta graduata, solidamente fissata alla spalla di un ponte o ad un muro di protezione, lunga abbastanza da restare immersa in acqua anche quando il livello è eccezionalmente basso e visibile anche quando è eccezionalmente alto.

La lettura delle aste idrometriche si fa generalmente ad ora fissa (una volta al giorno - in Italia a mezzogiorno)

L'asta idrometrica può essere materialmente divisa in più segmenti separati, fissati in posizioni diverse, così che si possa seguire l'escursione dei livelli senza difficoltà.

In linea di principio, lo **zero dell'idrometro** dovrebbe trovarsi ad una quota tale che le misure di livello siano sempre positive, anche nel caso delle magre più eccezionali. Quando ciò non succede la parte della scala che resta al di sotto dello zero è graduata, come è naturale, con valori negativi.

*In ogni caso si prende sempre nota della quota dello zero idrometrico rispetto ad un caposaldo topografico posto al sicuro dalle piene, così che in caso di distruzione dell'idrometro si possa provvedere alla sua sostituzione senza dover determinare di nuovo la scala delle portate.*



Asta idrometrica dell'antico porto di Ripetta (Roma)



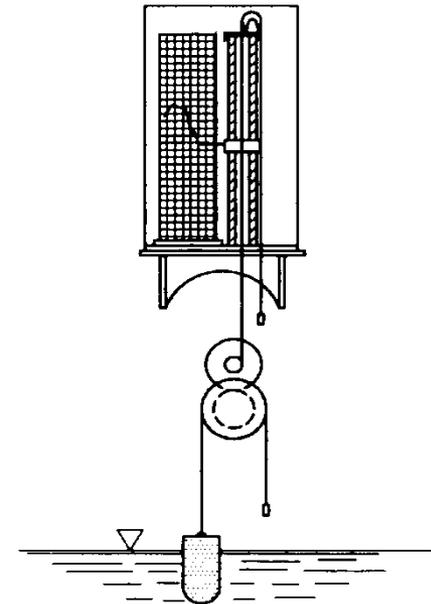
Asta idrometrica di Porta Portese (Roma)

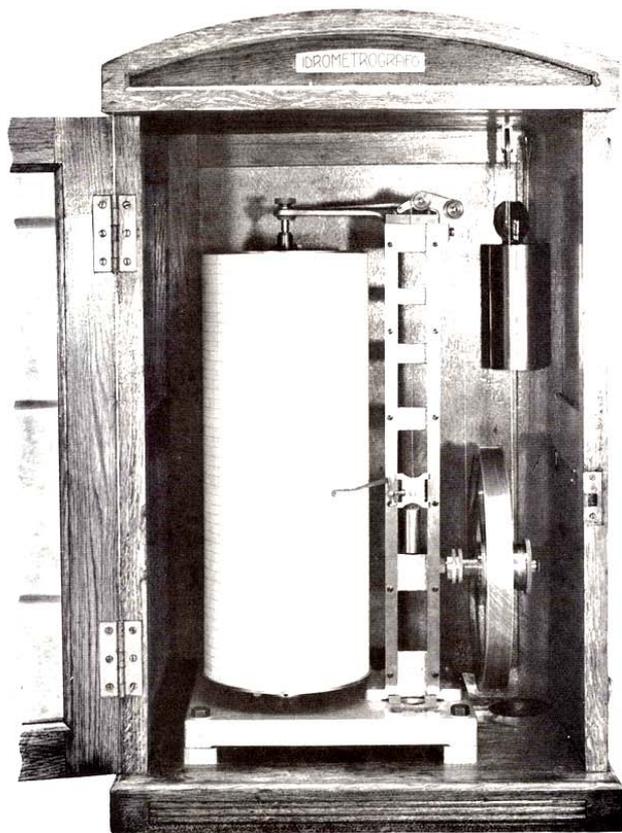
## Idrometrografi

Quando la registrazione dei livelli deve essere continua si utilizzano degli strumenti automatici, di nome **idrometrografi**. Questi strumenti differiscono fra loro sia per il principio su cui si basa l'organo di rilevamento vero e proprio ( **sensore di livello**), che produce un segnale variabile al variare del livello, sia per il tipo di apparecchio utilizzato per registrare le misure.

## Idrometrografi o idrometri a galleggiante

In figura è descritto l'idrometrografo a galleggiante. Le escursioni del livello del pelo libero fanno salire e scendere il galleggiante e il filo, mantenuto in tensione dal contrappeso, si muove facendo ruotare la puleggia. Questa trasmette la rotazione ad un secondo filo, al quale è fissato un equipaggio mobile, che porta una punta scrivente che può scorrere su guide verticali. La punta scrivente lascia una traccia su una carta avvolta intorno ad un tamburo ad asse verticale, tenuto in lenta rotazione da un meccanismo ad orologeria.



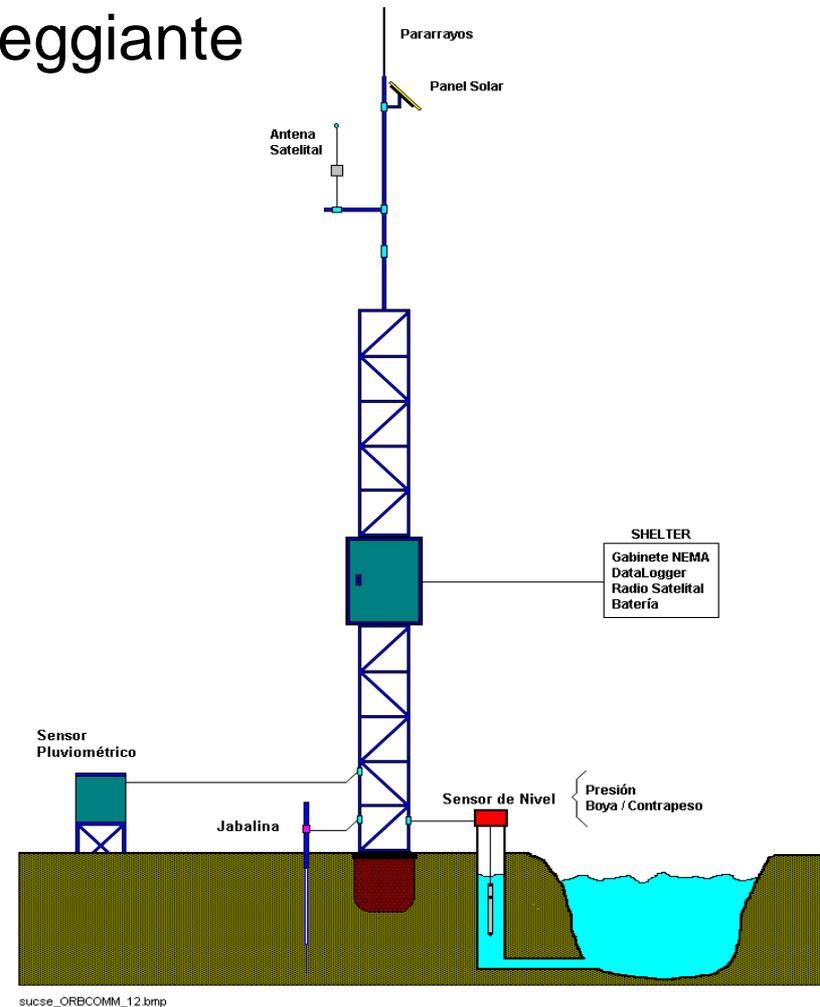


Idrometrografo G. 440 - con custodia in legno



## Idrometrografi o idrometri a galleggiante

Il filo a cui sono fissati il galleggiante ed il relativo contrappeso scorre all'interno di un tubo verticale, del diametro di qualche decimetro, che protegge il dispositivo di misura ed inoltre garantisce che lo specchio galleggiante sia al riparo da onde causate dal vento, dal passaggio di imbarcazioni e da altri fatti accidentali, alle quali corrisponderebbero oscillazioni del galleggiante del tutto prive di significato.



## Idrometro ad ultrasuoni

Il principio di funzionamento è basato su di un trasduttore a ultrasuoni che trasmette un impulso verso la superficie da misurare (la superficie liquida, in questo caso) e rileva l'eco riflessa risultante.

Il tempo intercorso fra l'impulso trasmesso e l'eco ricevuta è convertito in una distanza.

Il sensore deve essere compensato in temperatura, in quanto la celerità di propagazione del segnale acustico in aria dipende, fra l'altro, dalla temperatura.



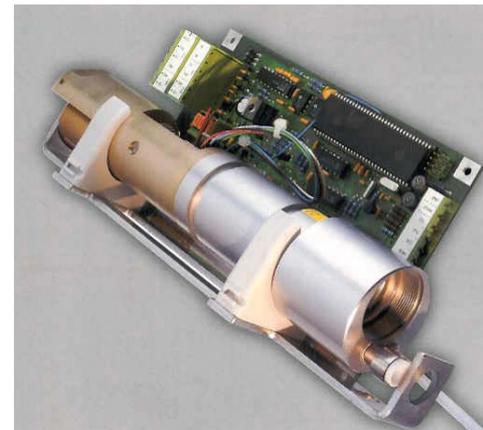
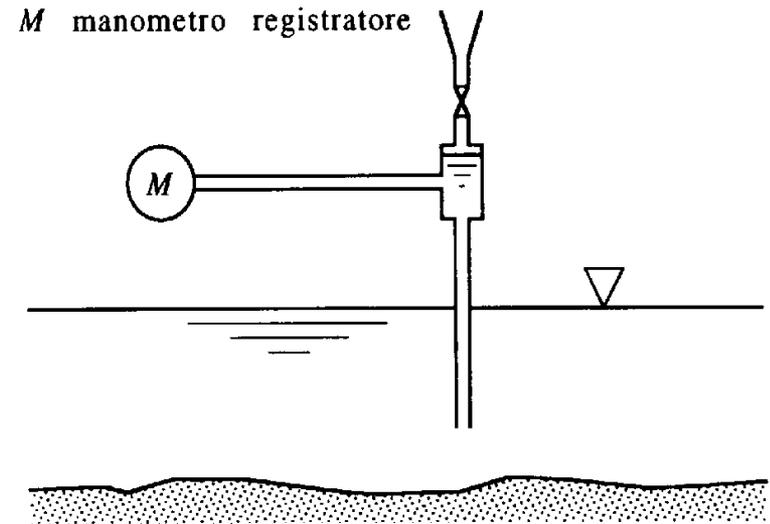
## Idrometrografo a depressione pneumatico

In figura è descritto l'idrometrografo pneumatico a depressione.

E' costituito da un recipiente chiuso, in parte pieno d'acqua, posto ad una certa quota al di sopra dello specchio d'acqua di cui si vogliono misurare le variazioni di livello.

Il recipiente comunica da una parte con lo specchio d'acqua, per mezzo di un tubo che deve essere abbastanza lungo da restare sempre immerso anche quando il livello scende ai valori minimi, e dall'altra ad un manometro registratore.

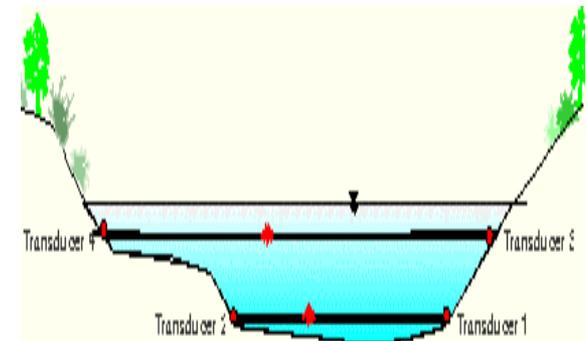
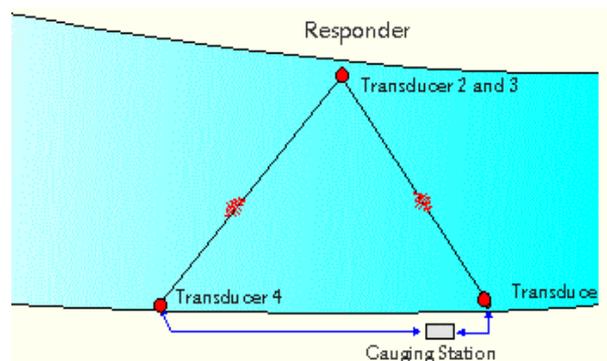
In queste condizioni la differenza tra la pressione atmosferica e quella nel manometro è proporzionale alla differenza tra la quota del manometro e quella del pelo libero nel punto che sovrasta lo sbocco del tubo.



## Misure dirette di portata tramite sensori ad ultrasuoni

Quando si rende necessario misurare la portata di **corsi d'acqua per i quali non è possibile stabilire una scala delle portate** (p. es.: corsi d'acqua con sbocco a mare e quindi influenzati dall'escursione mareale che determina il formarsi anche di portate in risalita - condizioni tipiche per i corsi d'acqua che alimentano la laguna veneta), si utilizzano strumenti costituiti da sensori ad ultrasuoni.

Si noti che questi strumenti sono diversi rispetto a quelli descritti in precedenza, utilizzati per effettuare misure idrometriche tramite l'osservazione della variazione dell'altezza del pelo libero.

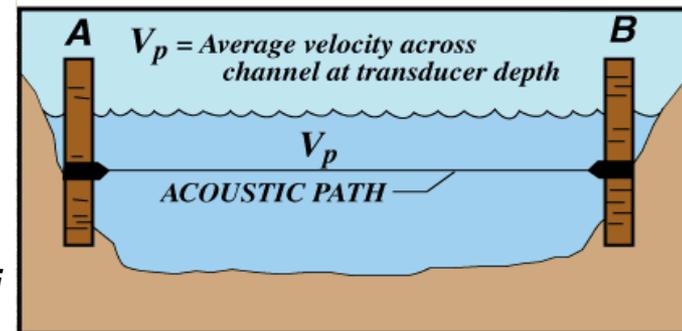
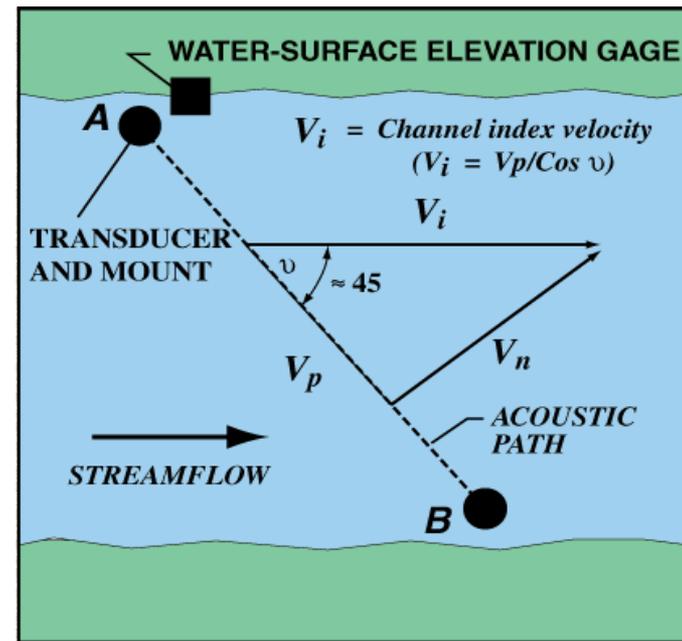


Per la misura di portata tramite sensori ad ultrasuoni sono necessari due trasduttori (che emettono le onde acustiche), due ricevitori (che ricevono le onde stesse) ed un processore digitale (che analizza ed elabora il tempo di trasmissione e di ricezione).

I trasduttori emettono le onde. Le onde che si propagano nel verso della corrente hanno velocità maggiore di quelle che si propagano in direzione opposta. Viene registrata la differenza nella velocità del suono nelle due direzioni. Dalla differenza delle velocità è possibile risalire alla velocità della corrente.

Sia in A che in B vengono installati un trasduttore ed un ricevitore, al fine di analizzare la propagazione dell'onda acustica sia nel senso della corrente che in quello opposto (in figura è rappresentato solo il verso di propagazione disposto nel senso della corrente).

*Il metodo viene utilizzato in corsi d'acqua dove gli effetti d'erosione e di deposito sulle sponde (che devono ospitare gli apparecchi) e sul fondo sono trascurabili.*



Velocità di propagazione nel verso della corrente

$$t_{BA} = \frac{L}{C + V_p}$$

Velocità di propagazione nel verso opposto alla corrente

$$t_{AB} = \frac{L}{C - V_p}$$

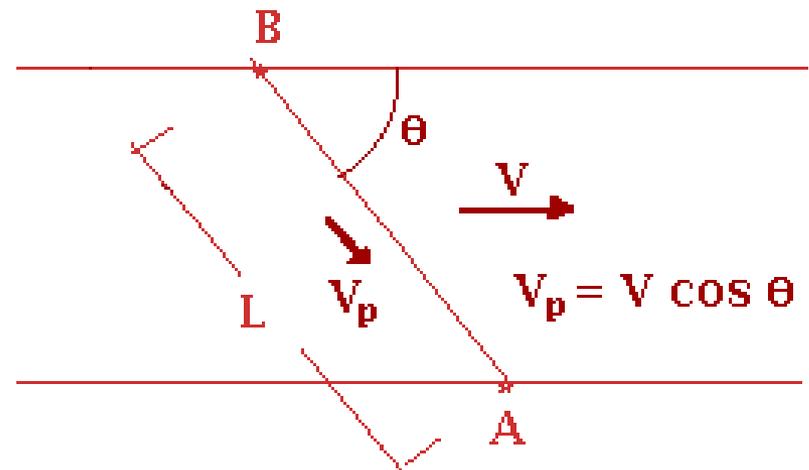
Stima di  $V_p$

$$V_p = \frac{L(t_{AB} - t_{BA})}{2t_{AB}t_{BA} \cos \theta}$$

La portata per uno strato di corrente di profondità  $d$  è quindi data dal prodotto

$$Q = L \sin \theta d V_p$$

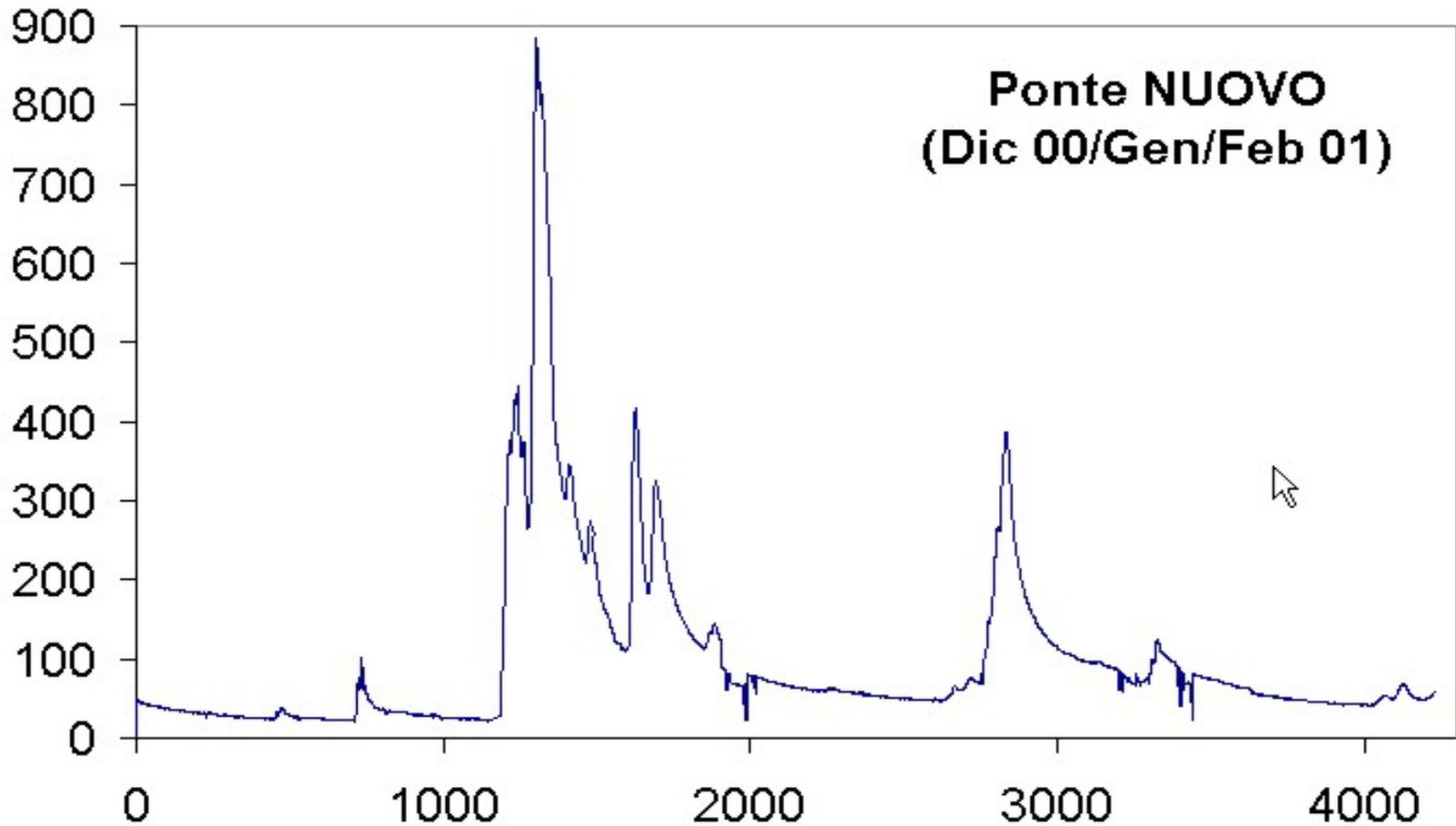
### Ultrasonic (Acoustic) Method



$L$  = lunghezza del tratto percorso dall'onda acustica (transetto);

$C$  = celerità di propagazione dell'onda acustica in acqua ferma

$V_p$  = componente della velocità della corrente nella direzione del transetto



Il metodo prima descritto è stato successivamente perfezionato per rendere possibile la misura della portata in particolari condizioni, in cui la velocità della corrente è molto piccola ( $< 50 \text{ cm s}^{-1}$ ) e la distribuzione della velocità, sia orizzontale che verticale, può essere atipica (per es. nelle zone costiere vicino a particolari strutture idrauliche).

Sulla base di questo metodo (*ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler*) sono stati quindi sviluppati degli apparecchi di misura che possono essere appoggiati sul fondo e consentono la misura del profilo verticale di velocità della corrente.

I metodi basati sull'effetto Doppler vengono utilizzati per determinare, tramite l'esame della frequenza di un'onda emessa e del suo eco, la velocità (ovvero la componente della velocità lungo la direzione di propagazione dell'onda) del bersaglio che ha determinato la retrodiffusione del segnale (in questo caso, impurità trasportate dall'acqua).

