

Idraulica e Idrologia: Lezione 3

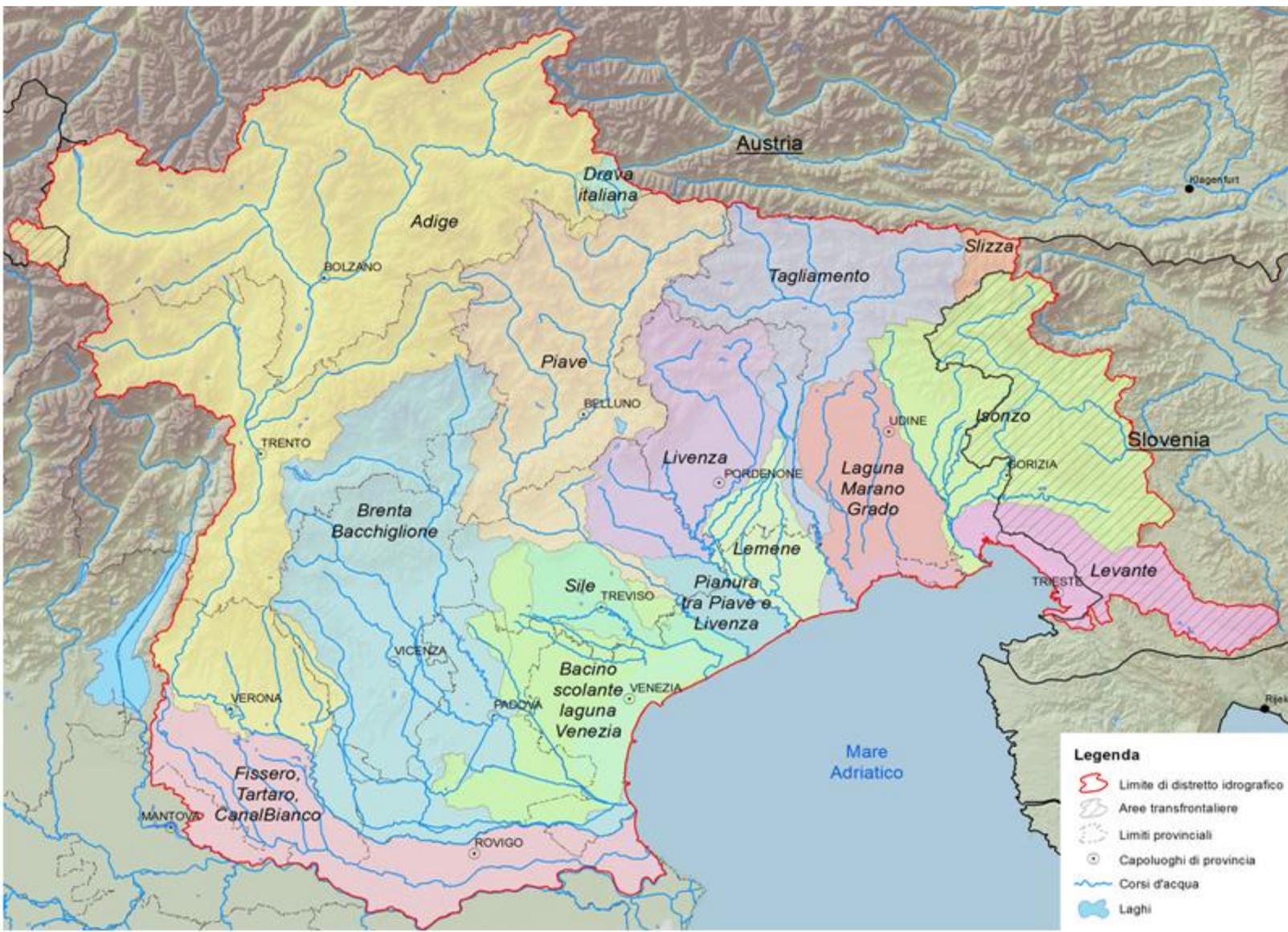
Agenda del giorno

- **Bacini idrografici Alpi Orientali (ed alcuni aspetti caratteristici)**

Strumentazione idrologica

- **struttura dei sensori più comuni per la misura della precipitazione;**
- **calcolo della precipitazione media areale;**
- **sensori di misura del livello idrometrico;**
- **calcolo della portata.**

I bacini idrografici delle Alpi Orientali Italiane



La diversione dei fiumi dalla Laguna Veneta - 1



A partire dal XII secolo incominciarono a manifestarsi nella laguna di Venezia preoccupanti processi di interrimento, che influivano negativamente sul crescente sviluppo degli insediamenti abitativi e sulle attività economiche e militari della Repubblica.

Responsabili erano alcuni grandi fiumi che interferivano dal punto di vista idraulico con la laguna e che vi sfociavano direttamente, immettendovi, durante le piene più importanti, acque particolarmente cariche di sedimenti fatalmente destinati a depositarsi.

La diversione dei fiumi dalla Laguna Veneta - 2

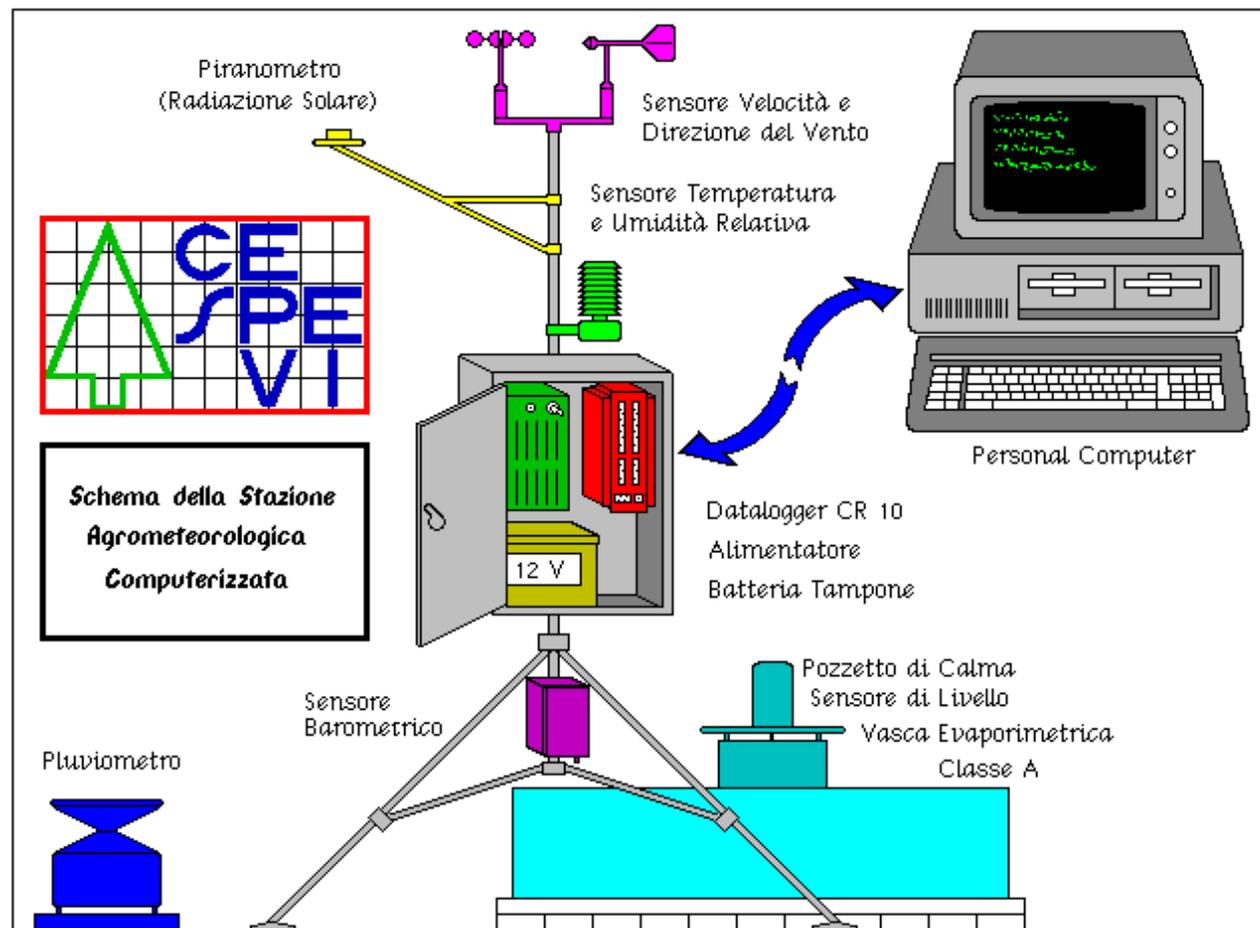
Nella seconda metà del XV secolo, i scarsi risultati dei provvedimenti intrapresi all'interno della laguna indussero Marco Cornaro, uno dei savi sopra le acque della Serenissima, a proporre una soluzione radicale del problema, che non riguardava solo il Brenta, ma che era di carattere generale:

distogliere i fiumi dalla laguna e allontanarli direttamente in mare.

Questi provvedimenti, che vennero condotti a termine su un arco temporale di secoli, ridussero gli apporti torbidi alla laguna, salvandola dall'interrimento ('gran laguna fa gran porto') ma al contempo aggravarono i problemi idraulici dei sistemi fluviali in piena, in ragione della riduzione della pendenza motrice del Brenta-Bacchiglione.

I dati idrometeorologici

Schema di una moderna centralina agrometeorologica.



I sensori: Misura puntuale della precipitazione al suolo



L'**altezza di precipitazione** (o di pioggia, dato che normalmente il tipo di precipitazione di interesse è quello liquido - pioggia)¹ 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 m² equivale ad 1 litro (1000 cm³).

¹ 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**.

I sensori: misura puntuale della precipitazione al suolo



Le reti di misura della precipitazione

La **stima dell'altezza di precipitazione** relativa ad una superficie più o meno estesa (tipico problema idrologico) può essere fatta solo a partire da misure puntuali (se si esclude la stima radar di precipitazione, ancora non disponibile in molte regioni). E' quindi necessario installare parecchi strumenti di misura, la cui posizione geografica deve essere scelta con cura al fine di limitarne il più possibile il numero (problema di costo della rete per l'installazione e la sua manutenzione).

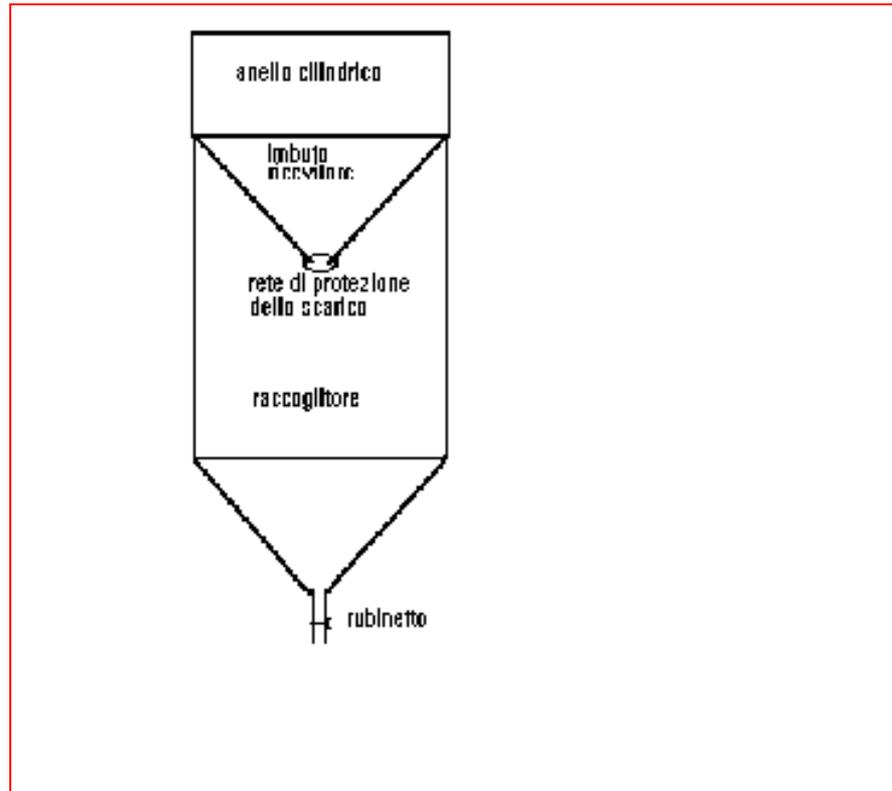
Inoltre si deve tener conto che non è possibile ripetere le misure di precipitazione (come per la maggior parte delle misure idrometeo).

Infine, **la quantità di pioggia misurata dipende dalle caratteristiche dello strumento e da quelle dell'ambiente circostante**. Quindi è necessario porre grande cura nella scelta dello strumento e del punto in cui disporlo.

Struttura di un pluviometro



Un **pluviometro** è un recipiente **cilindrico**, nella cui bocca, disposta **orizzontalmente**¹, 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.



¹gli 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.

Il pluviometro del Servizio Idrografico Italiano



Il Servizio Idrografico Italiano 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 Italiano 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.



Per la misura dell'afflusso meteorico nel caso di precipitazioni solide, il pluviometro deve essere riscaldato.

Le figure rappresentano

← un pluviometro non riscaldato
un pluviometro riscaldato →



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



Descriviamo qui il **pluviografo a bascula** (in inglese: **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%.

Caso del pluviografo con registrazione su carta

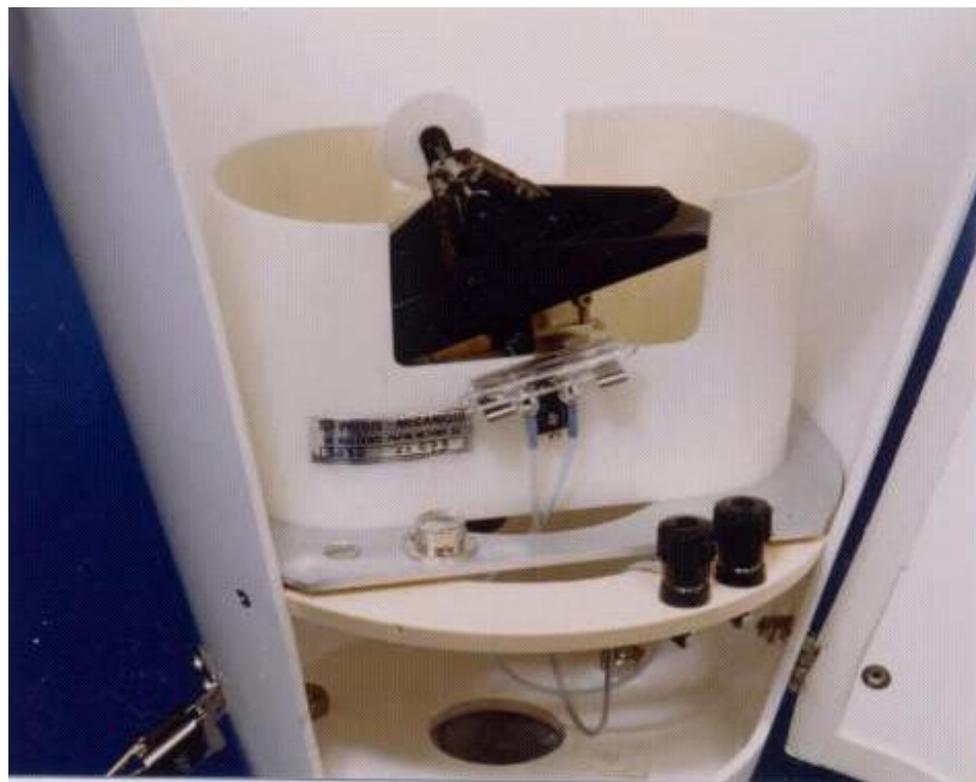
Ad ogni oscillazione del sistema, la quale segna il passaggio di un assegnato volume d'acqua attraverso lo strumento, corrisponde la trasmissione di un impulso ad un meccanismo, che muove la punta scrivente.

Quando la punta ha raggiunto il margine superiore la punta si inverte.

Pluviografo a bascula



Esempi di *bascole* in alcuni pluviografi



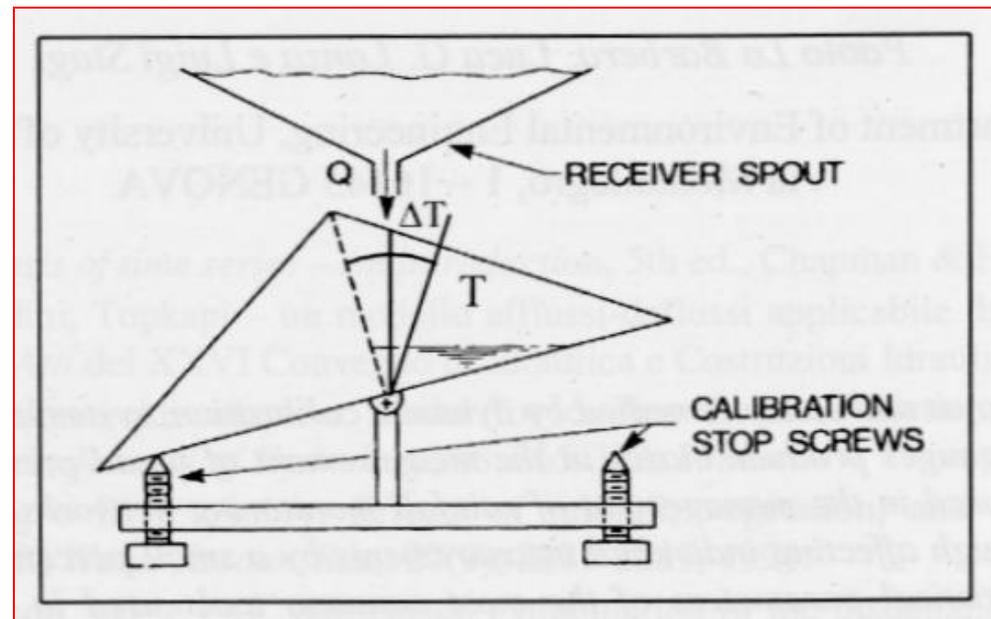
Pluviografi: taratura e manutenzione



Un pluviografo a bascula può consentire misure affidabili di intensità di precipitazione solo se è **manutenuto** 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 **ricalibrazioni**. La figura descrive un pluviografo a bascula, indicando le viti che vengono utilizzate durante le manovre di ricalibrazione.



Pluviografi: taratura e manutenzione



Con la taratura si alimenta il pluviografo con un volume noto di acqua; il volume ottenuto moltiplicando il numero di ribaltamenti della **bascula** per il volume di ciascuno dei piccoli recipienti deve essere equivalente (nel limite del 2-3%) a quello del volume di alimentazione. Tale equivalenza si assicura tramite la taratura dello strumento.

Esistono inoltre delle procedure di ricalibrazione dinamica del pluviografo a bascula

Vedi:

Calder, I.,R. and C.H.R. Kidd, 1978: A note on the dynamic calibration of tipping bucket gauges. *J. Hydrology*, 39, 383-386.

Marsalek, J., 1981: Calibration of tipping bucket raingauge. *J. Hydrology*, 53, 343-354.

Pagliara, S. e C. Viti, 1994: Taratura dinamica di un sensore di precipitazione a vaschette basculanti. *Boll. Geofisico*, 2, 63-69.

Niemczynowicz, J., 1986: The dynamic calibration of tipping bucket raingauges. *Nordic Hydrology*, 17, 203-214.

Pluviografi: taratura e manutenzione



Con la manutenzione si accerta, fra l'altro, che:

- la bocca dello strumento sia orizzontale;
- l'imbuto e la bascula siano liberi e non intasati da detriti;
- l'eventuale vegetazione circostante non disturbi lo strumento.

Errori nella misura di precipitazione tramite pluviometro



Le misure di precipitazione sono soggette, in misura notevole, ad errori sia casuali che sistematici. L'errore sistematico è determinato da diverse concause.

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.

L'errore dovuto al vento aumenta di molto per precipitazioni solide, in ragione della loro minore velocità di caduta. In questo caso, l'errore viene stimato come differenza fra il pluviometro in questione ed il 'Double Fence Intercomparison Reference - DFIR' (WMO, 1996). **Per tali precipitazioni, il pluviometro misura valori oscillanti fra il 20% ed il 70% della precipitazione di riferimento. Il valore dell'errore dipende dalla forma del pluviografo, e cresce con l'aumentare della velocità del vento.**

Errori nella misura di precipitazione tramite pluviometro



Precauzioni da adottare 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.

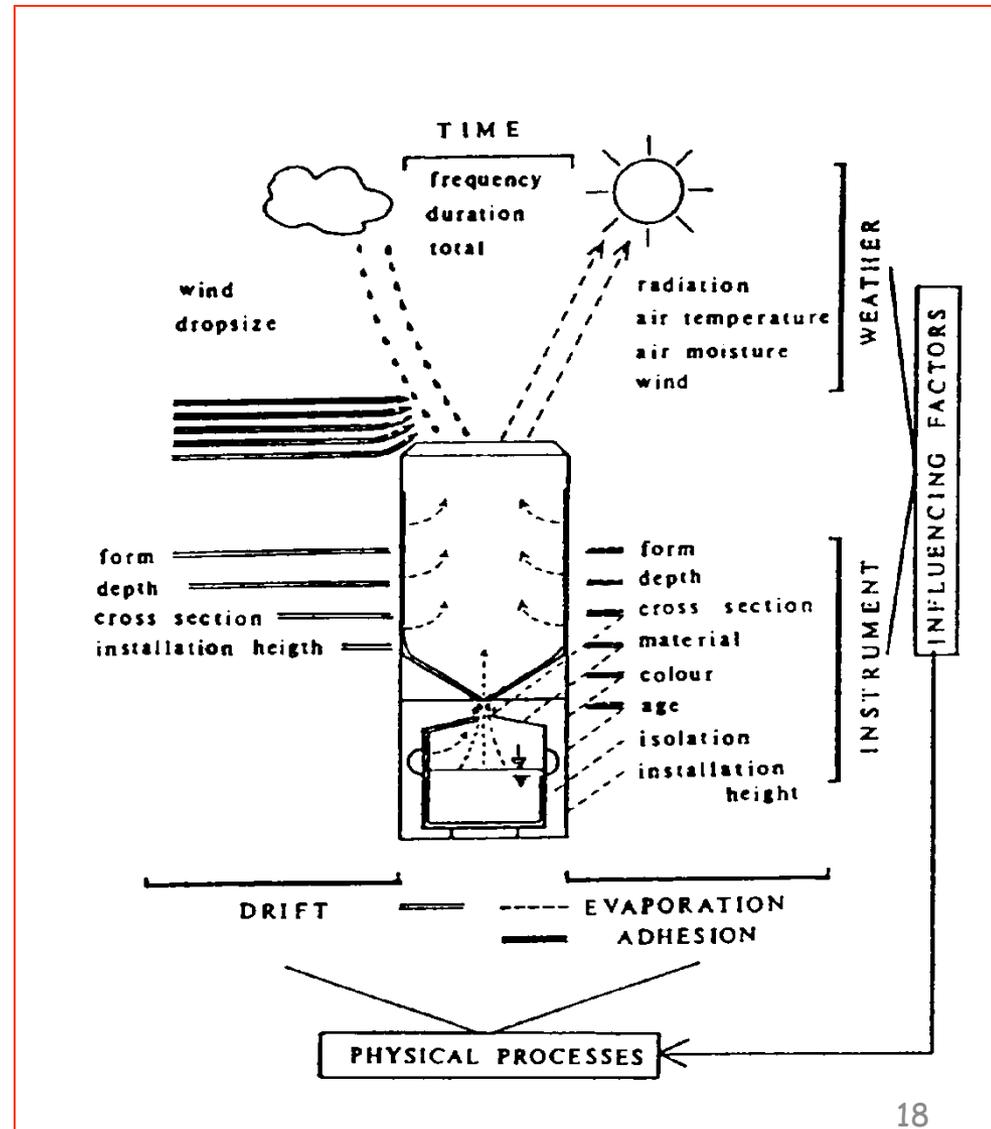
Il rimbalzo di gocce verso l'interno, o l'esterno, del pluviometro potrà essere ridotto conformando opportunamente l'imbuto ricevitore e il bordo cilindrico superiore. L'angolo di apertura del cono costituente l'imbuto e l'altezza del bordo cilindrico devono essere di entità tale che la perpendicolare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

Pluviometri: errori nella misura di precipitazione



Processi fisici che determinano gli errori sistematici 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 (bagnatura - wetting).*



STIMA DELLA PRECIPITAZIONE MEDIA AREALE

PROBLEMA

-STIMA DELLA PRECIPITAZIONE CHE INTERESSA UN ASSEGNATO BACINO IDROGRAFICO, A PARTIRE DAI DATI PUNTUALI DI PRECIPITAZIONE (FORNITI DA PLUVIOMETRI O PLUVIOGRFI)

Stima della precipitazione media areale - 1

Generalmente, i metodi di stima della precipitazione media areale a partire dai dati di precipitazione puntuale p_i disponibili su n stazioni sono riconducibili alla seguente espressione:

$$P_{\text{media, bacino}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i p_i$$

dove :

n = numero pluviometri;

p_i = dato di precipitazione riferito alla stazione i – esima;

λ_i = ponderatore riferito alla stazione i – esima.

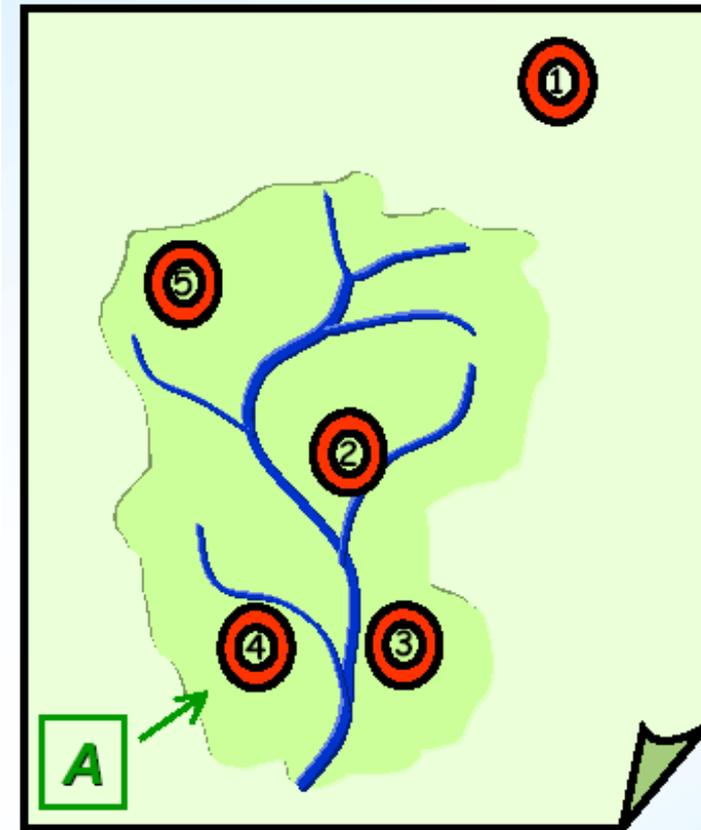
Stima della precipitazione media areale - 2

Esempio:

Il metodo più semplice per la stima della precipitazione media areale consiste nel calcolo del valore della media aritmetica dei valori disponibili. In questo caso, i valori dei ponderatori sono tutti uguali, e pari ad $1/n$, se n è il numero dei dati disponibili.

Tuttavia, questo metodo assume che ciascun dato sia ugualmente rappresentativo del valore areale. Questa assunzione può essere erronea nel caso in cui alcune stazioni siano periferiche, oppure poste all'esterno del bacino, rispetto ad altre, collocate in posizione più centrale.

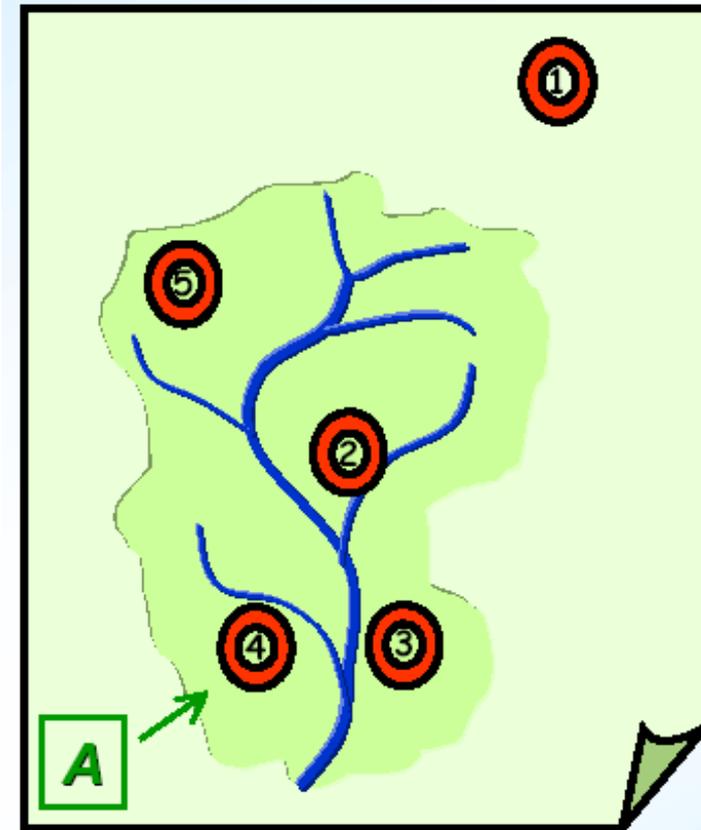
Nell'esempio descritto in figura, la rappresentatività della stazione 2 è maggiore rispetto alla 5. Il metodo basato sulla media aritmetica non tiene conto di tale caratteristica.



Stima della precipitazione media areale - 3

Stazione	Precipitazione (mm)	Ponderatore
1	10	0
2	20	1/4
3	30	1/4
4	40	1/4
5	50	1/4
Prec. media	35 mm	

Nel calcolo riportato in tabella, la precipitazione media è valutata non tenendo conto della stazione 1, ed applicando la media aritmetica ai valori relativi alle stazioni 2-5.



Stima della precipitazione media areale

Metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoieti) - 1

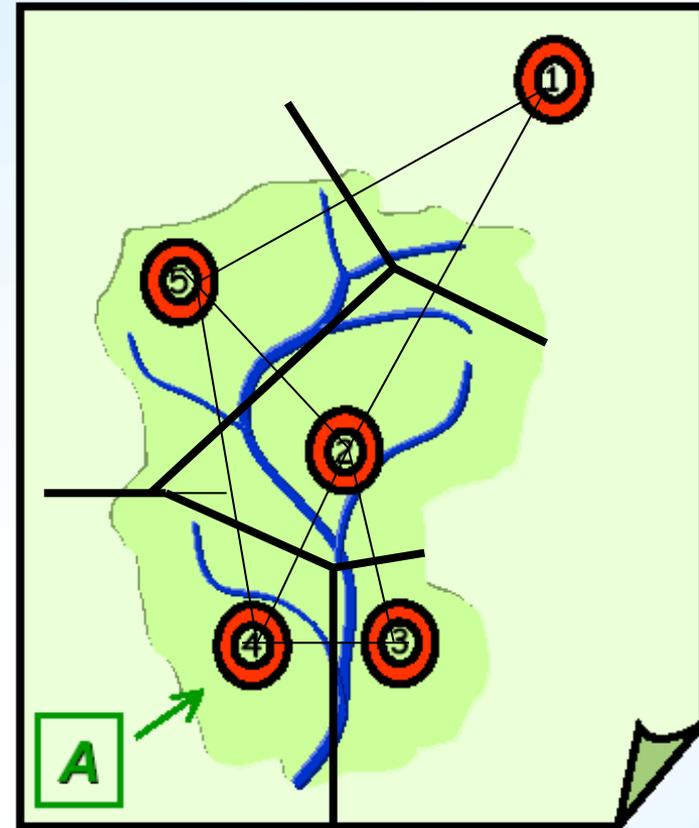
Al fine di ovviare ai limiti più evidenti del metodo basato sulla media aritmetica, è stato introdotto il metodo basato sui poligoni di Thiessen.

In questo caso la regione di studio (per es. il bacino) S è suddivisa in n zone di influenza S_i , una per ciascuna stazione. La zona di influenza S_i individua la regione dei punti più vicini alla stazione i che a qualsiasi altra stazione.

Le regioni di influenza possono essere agevolmente individuate tramite un metodo geometrico, disegnando bisezioni perpendicolari alle linee di giunzione di stazioni adiacenti.

Il ponderatore λ_i relativo alla stazione S_i viene infine calcolato tramite il rapporto fra l'area S_i e l'area complessiva S del bacino:

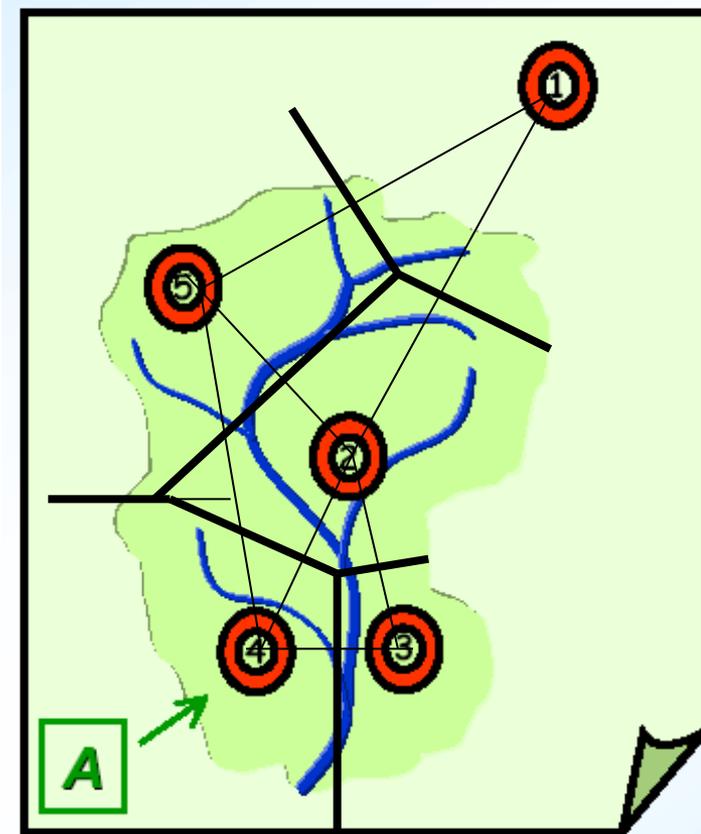
$$\lambda_{i,s} = \frac{S_i}{S}$$



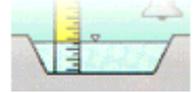
Stima della precipitazione media areale Metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoiети) - 2

Staz.	Precipitazione (mm)	Area Regione (km ²)	Ponderatore	Precipit. ponderata (mm)
1	10	2.2	0.02	0.2
2	20	40.2	0.44	8.8
3	30	13.5	0.15	4.4
4	40	16.0	0.18	7.0
5	50	19.5	0.21	10.7
Prec. media				31.1

Tenendo conto che l'area del bacino è pari a 91.4 km², la precipitazione media ponderata così ottenuta è pari a 31.1 mm. Si noti il peso contenuto corrispondente alla stazione 1.



Misura dei livelli idrometrici e stima delle portate liquide



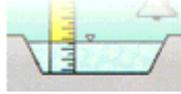
Le portate, i deflussi ed i livelli idrometrici

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

Misure idrometriche

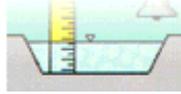


Lo strumento per la misura del livello dell'acqua o altezza idrometrica nei fiumi e nei laghi si chiama **idrometro** o anche, nel caso dei laghi, **limnometro**.

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.

Asta idrometrica



L'idrometro più semplice è l'**asta idrometrica**.

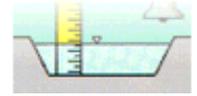
Asta graduata, solidamente fissata alla spalla di un ponte o ad un muro di protezione, lunga abbastanza da restare immersa in acqua anche quando il livello è eccezionalmente basso e visibile anche quando è eccezionalmente alto. La lettura delle aste idrometriche si fa generalmente ad ora fissa (una volta 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.

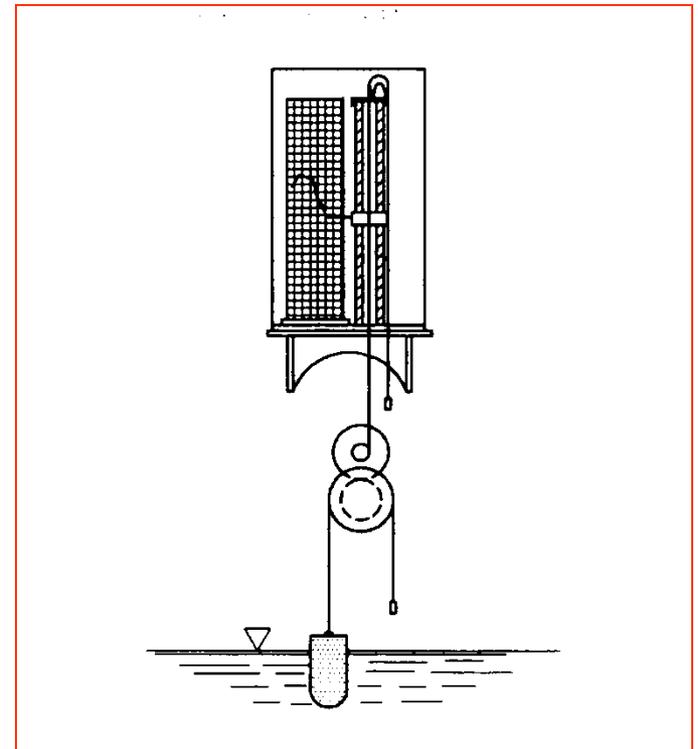
In ogni caso si prende sempre nota della quota dello zero idrometrico rispetto ad un caposaldo topografico posto al sicuro dalle piene, così che in caso di distruzione dell'idrometro si possa provvedere alla sua sostituzione senza dover determinare di nuovo la scala delle portate.

Idrometrografo a galleggiante

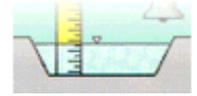


Quando la registrazione dei livelli deve essere continua si utilizzano degli strumenti automatici, di nome **idrometrografi**. Questi strumenti differiscono fra loro sia per il principio su cui si basa l'organo di rilevamento vero e proprio (**sensore di livello**), che produce un segnale variabile al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

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 a galleggiante

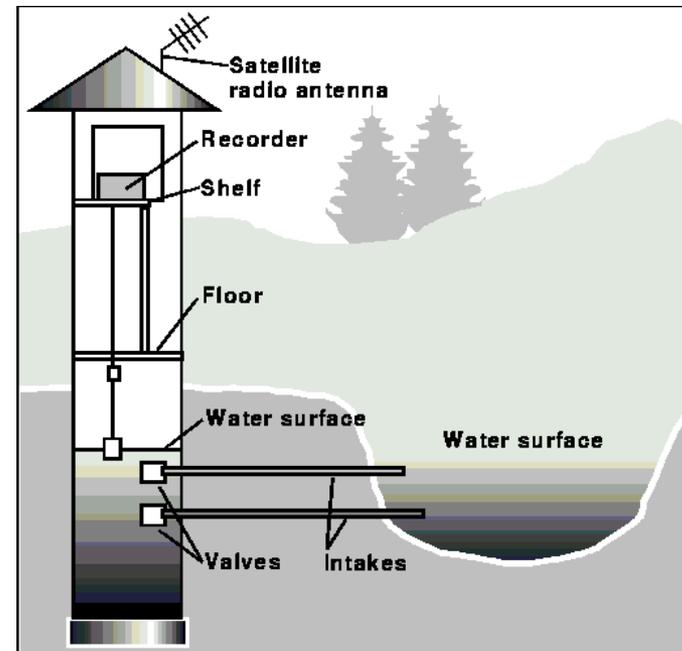


Il filo a cui sono fissati il galleggiante ed il relativo contrappeso scorre all'interno di un tubo verticale, del diametro di qualche decimetro, che protegge il dispositivo di misura ed inoltre garantisce che lo specchio d'acqua che sostiene il galleggiante sia al riparo da onde causate dal vento, dal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

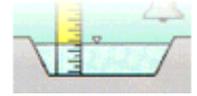
↓ Idrometrografo verticale a tamburo
Installazione idrometrografica ↓



↓ schema di installazione di
idrometrografo a galleggiante



Idrometrografo a depressione

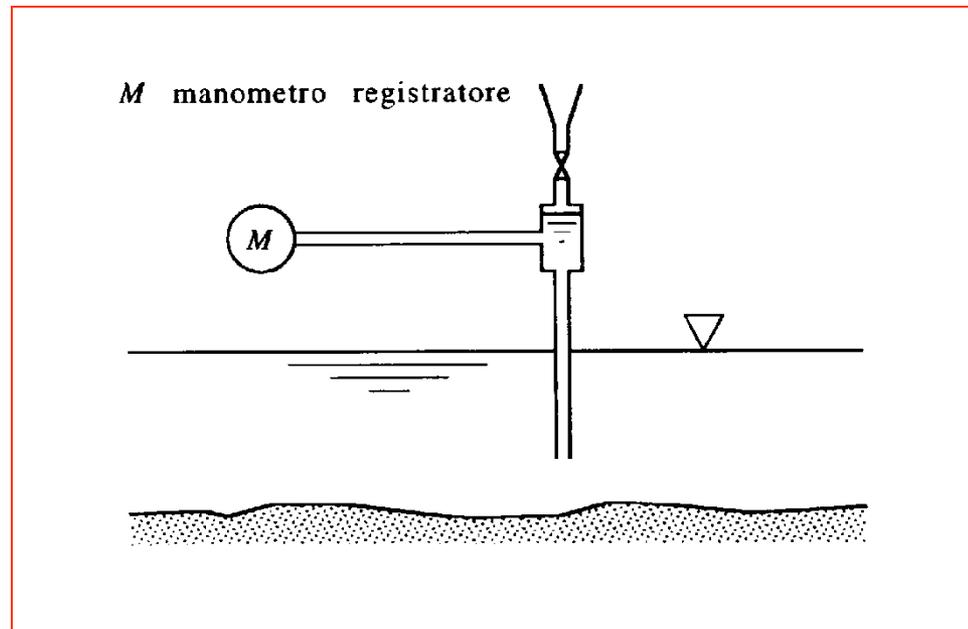


In figura è descritto l'idrometrografo a depressione.

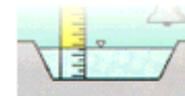
È costituito da un recipiente chiuso, in parte pieno d'acqua, posto ad una certa quota la di sopra dello specchio d'acqua di cui si vogliono misurare le variazioni di livello.

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 baricentro del manometro è proporzionale alla differenza tra la quota del baricentro e quella del pelo libero nel punto che sovrasta lo sbocco del tubo.



Idrometrografo 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.



La relazione fra portate e livelli (1)



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 dato di portata.

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

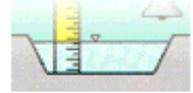
- area della sezione bagnata;
- velocità media sulla sezione (funzione a sua volta della perdita specifica di energia).

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).

La relazione fra portate e livelli (2)



Si assume quindi che per una data sezione di un corso d'acqua esista una **relazione biunivoca¹ tra portate e livelli (scala delle portate)**, che permette di **trasformare le osservazioni di altezza d'acqua in osservazioni di portata**.

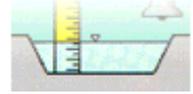
Su queste assunzioni si basa il rilevamento sistematico delle portate dei corsi d'acqua naturali.

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.

¹ **Relazione biunivoca** significa che per un dato livello esiste un unico valore di portata e che per una data portata esiste un unico valore di livello.

Misura della velocità della corrente idrica



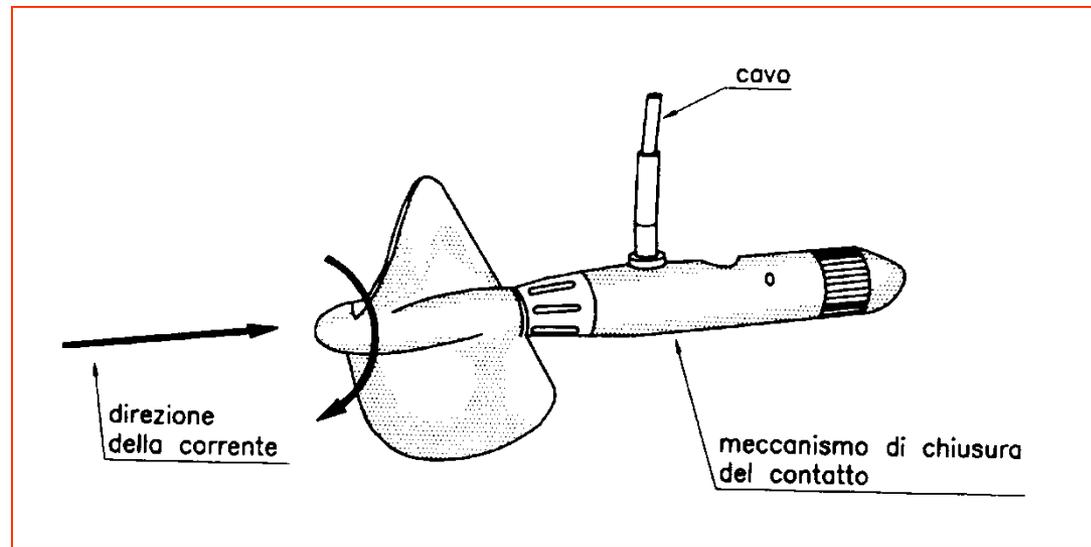
Il metodo di **misura delle portate** di gran lunga più diffuso (ma non l'unico: vedi misure di portata tramite metodi chimici) **consiste nell'eseguire un certo numero di misure di velocità in diversi punti, opportunamente distribuiti, della sezione liquida (piana, verticale e disposta ortogonalmente 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"

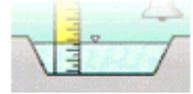


Mulinello ad asse orizzontale o ad elica

L'impiego dei mulinelli è descritto in dettaglio da

U. Moisello: Idrologia Tecnica. Goliardica Pavese, 1998.

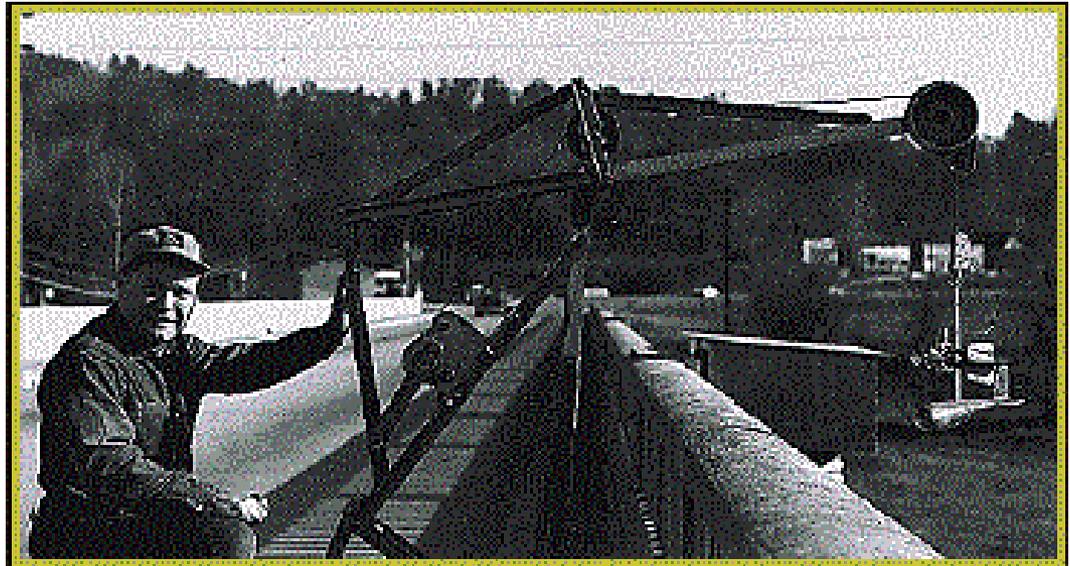
Misura della velocità della corrente idrica



Le misure di velocità si possono effettuare in 4 modi diversi: i) a guado, ii) da ponte iii) da teleferica, iv) da natante.

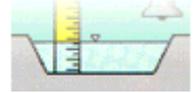
In questa figura un tecnico sta eseguendo una misura di velocità della corrente di un fiume da ponte. La lunghezza del ponte indica che il fiume è troppo largo per poter effettuare una misura a guado (come nel caso di piccoli corsi d'acqua).

In questo caso, il tecnico divide la sezione bagnata del corso d'acqua in circa 25 segmenti verticali, ed esegue una misura di profondità e di velocità in corrispondenza di ciascun segmento.



L'apparecchio è alloggiato su un equipaggio mobile, a ruote, ed è dotato di contrappesi per evitare di capovolgersi appena il mulinello entra in acqua.

Misura della velocità della corrente idrica



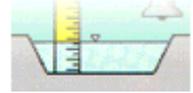
I **supporti dei mulinelli** sono di due tipi:

- zavorre sospese a cavo (vedi fotografia);
- pertiche.

Le zavorre, chiamate per la loro forma **pesce**, sono masse metalliche piuttosto grosse, affusolate per offrire la più bassa resistenza idrodinamica possibile, di lunghezza dell'ordine del metro e di peso compreso fra 5 e 150 kg.



Misura della velocità della corrente idrica

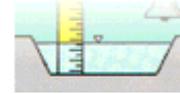


Le misure a guado sono riservate ai casi di profondità limitate ($< 0.5 \text{ m}$) e di velocità della corrente modeste ($< 2 \text{ ms}^{-1}$).

Quando le manovre si eseguono a guado (vedi figure), si utilizza normalmente una **micropertica**, che si tiene verticale e appoggiata sul fondo, con il mulinello fissato in modo da poter scorrere lungo l'asta.



Determinazione della scala delle portate



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

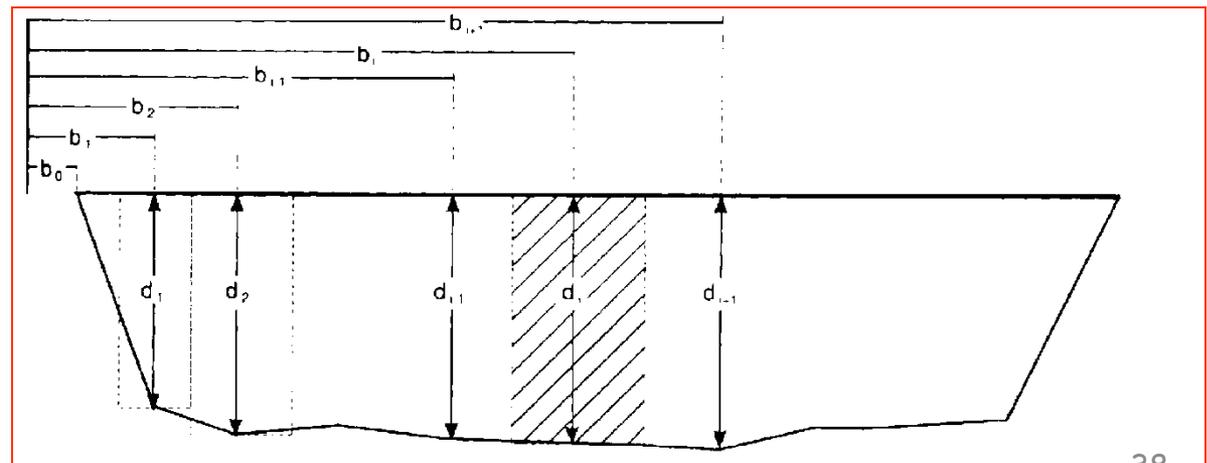
I valori di portata si determinano sulla base della geometria della sezione liquida (che viene discretizzata nel modo indicato in figura) e dei valori di velocità misurati in corrispondenza delle linee centrali dei segmenti verticali a quote particolari (se il tirante d_i è minore di 0.8 m, si misura 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: $0.2 d_i$ e $0.8 d_i$).

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:

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

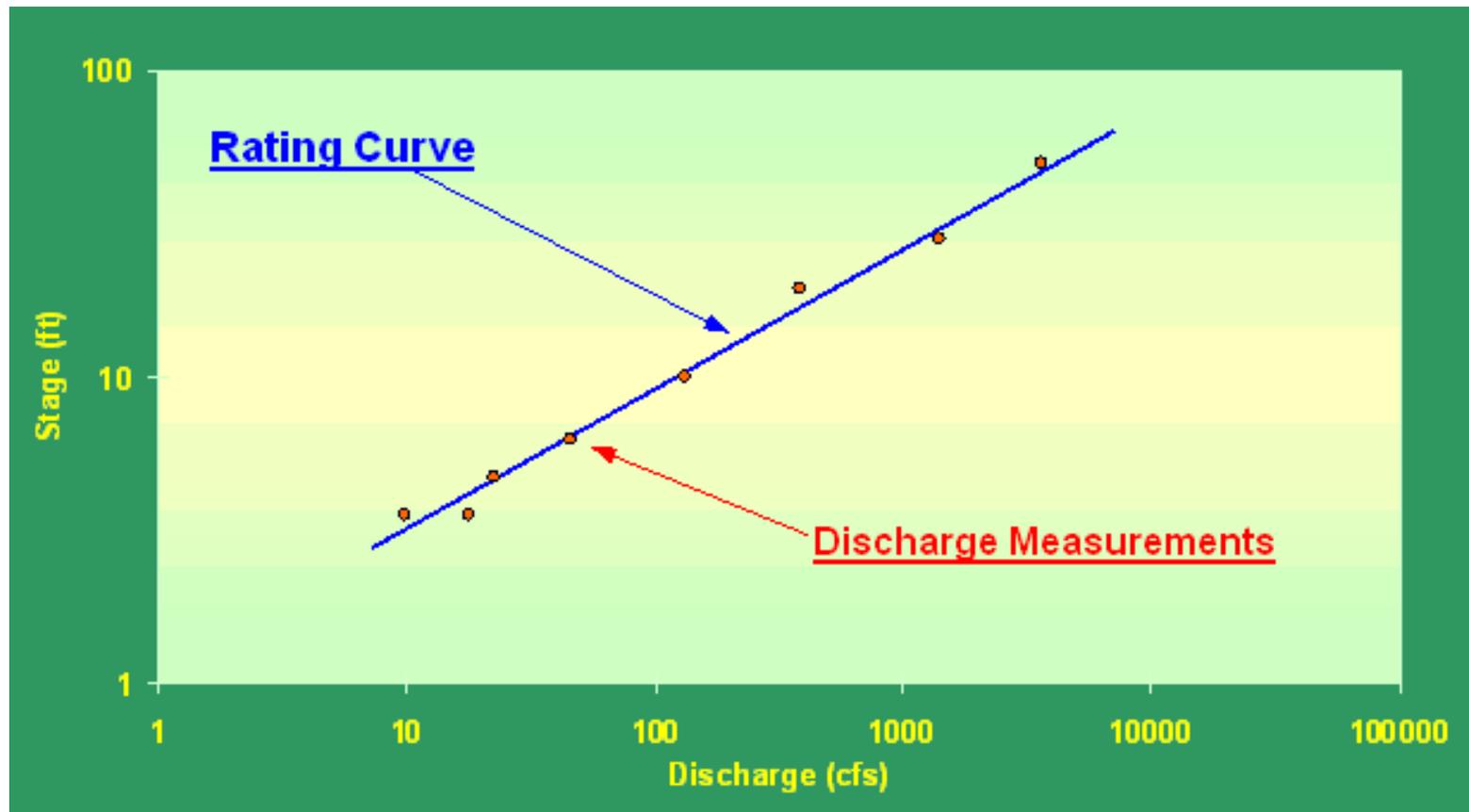
La portata totale si determina quindi sommando tutte le portate incrementali relative ai diversi segmenti.



Scala delle portate



Esempio grafico di scala delle portate (*rating curve*, in inglese) (si noti la scala logaritmica in ascissa ed in ordinata)



Scala delle portate



Esempio di scala delle portate:

sezione di Bronzolo sul fiume Adige (anno 1981)

La figura rappresenta la funzione utilizzata per interpolare le misure di livello e portata.

La funzione di **scala delle portate** normalmente utilizzata per interpolare le misure di portata e livello idrometrico ha la forma seguente:

$$Q = C(h + a)^N$$

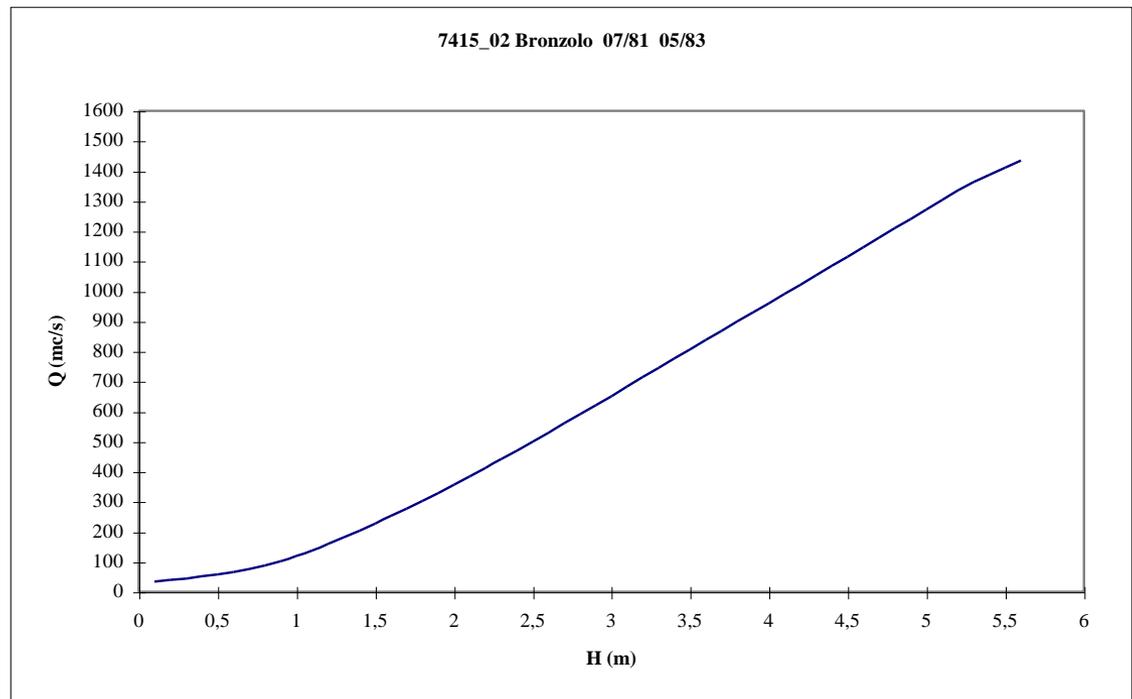
dove:

Q: *portata*

C, N: *costanti*

h: *livello idrometrico*

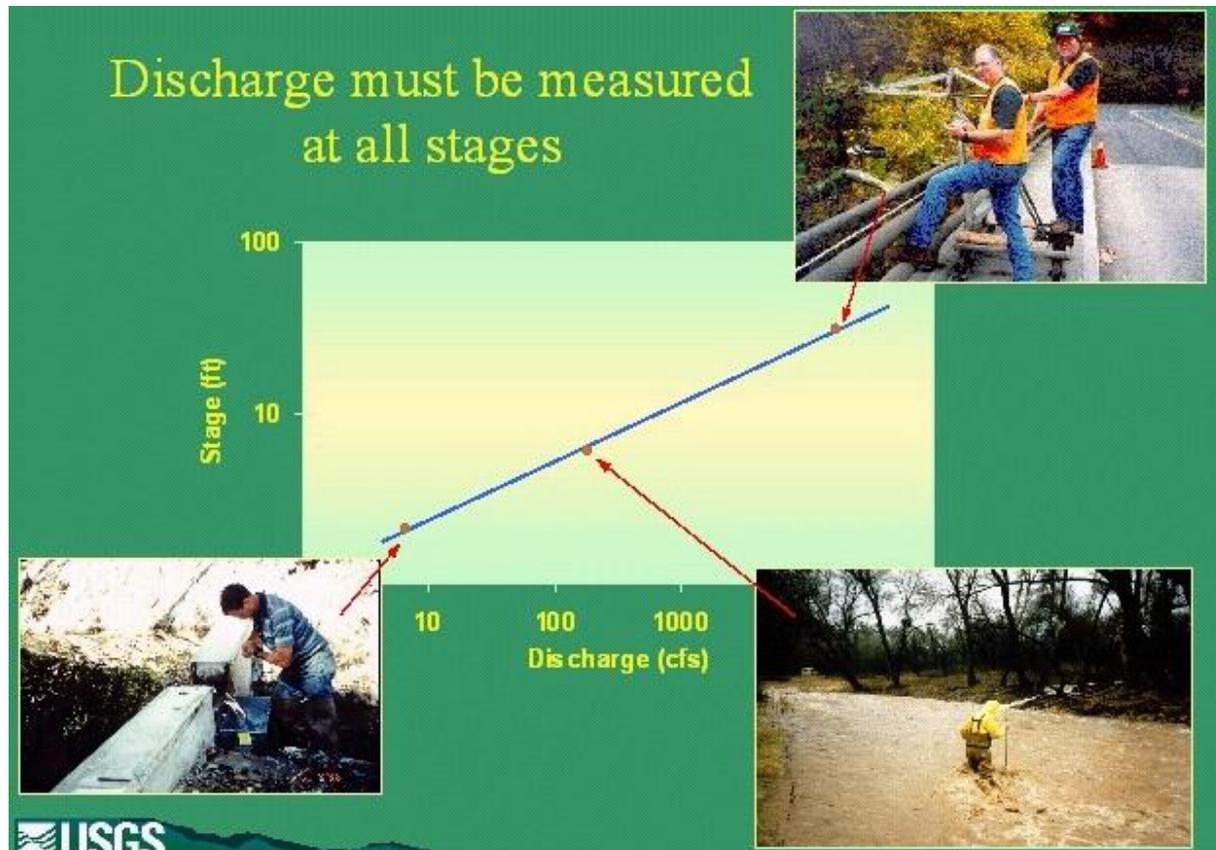
a: *livello in corrispondenza del quale la portata è nulla*



Scala delle portate



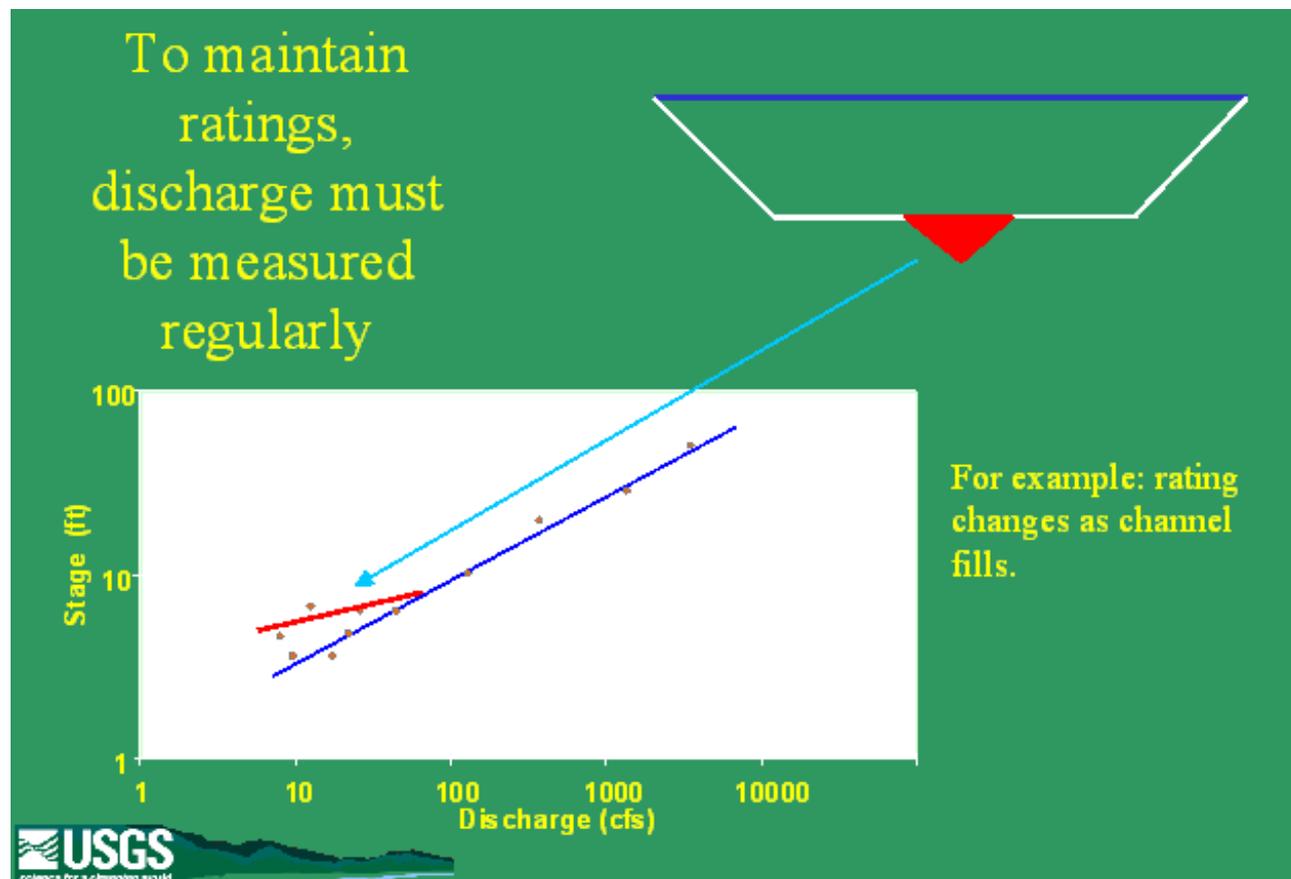
Un'affidabile scala delle portate viene costruita su un intervallo di misure di livello e portata il più possibile esteso (è quindi necessario effettuare misure sia in condizioni di magra che di morbida o piena - se possibile).



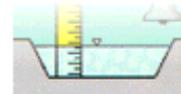
Scala delle portate



Le misure per la determinazione della scala delle portate devono essere ripetute regolarmente e frequentemente, in modo da seguire l'evoluzione naturale dell'alveo e consentire l'aggiornamento della scala stessa.



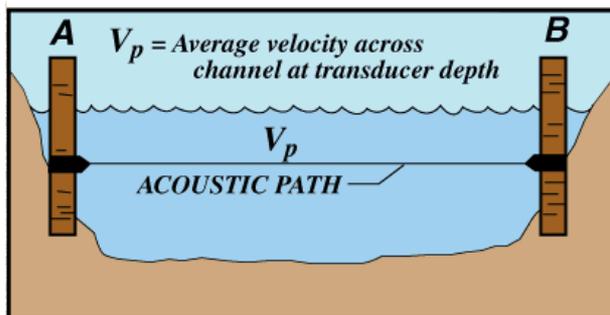
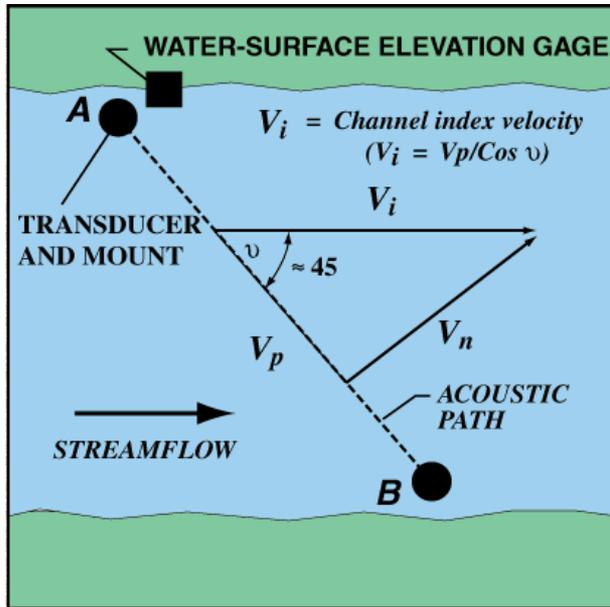
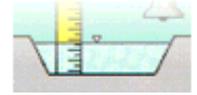
Misure dirette di portata tramite sensori ad ultrasuoni



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.

Misure dirette di portata tramite sensori ad ultrasuoni



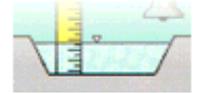
Per la misura di portata tramite sensori ad ultrasuoni sono necessari due trasduttori (che emettono le onde acustiche), due ricevitori (che ricevono le onde stesse) ed un processore digitale (che analizza ed elabora il tempo di trasmissione e di ricezione).

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.

Misure dirette di portata tramite metodo Doppler



Velocità di propagazione nel verso della corrente

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

Velocità di propagazione nel verso opposto alla corrente

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

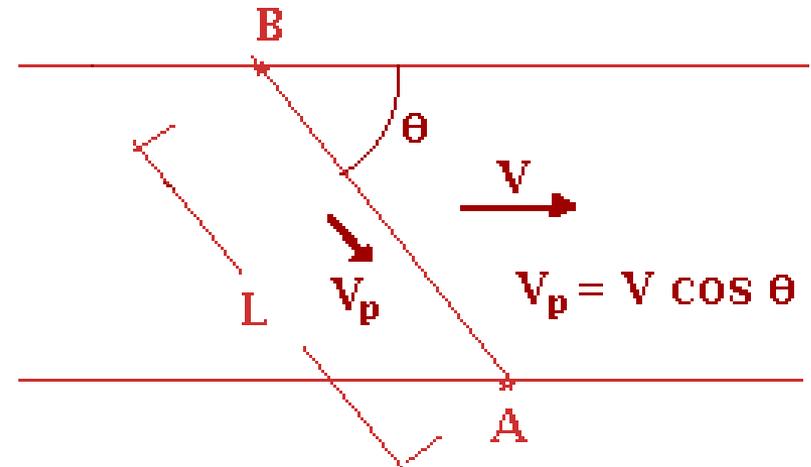
Stima di V

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

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

$$Q = dL V \sin \theta$$

Ultrasonic (Acoustic) Method

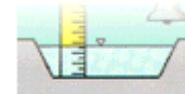


L = lunghezza del tratto percorso dall'onda acustica (transetto);

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

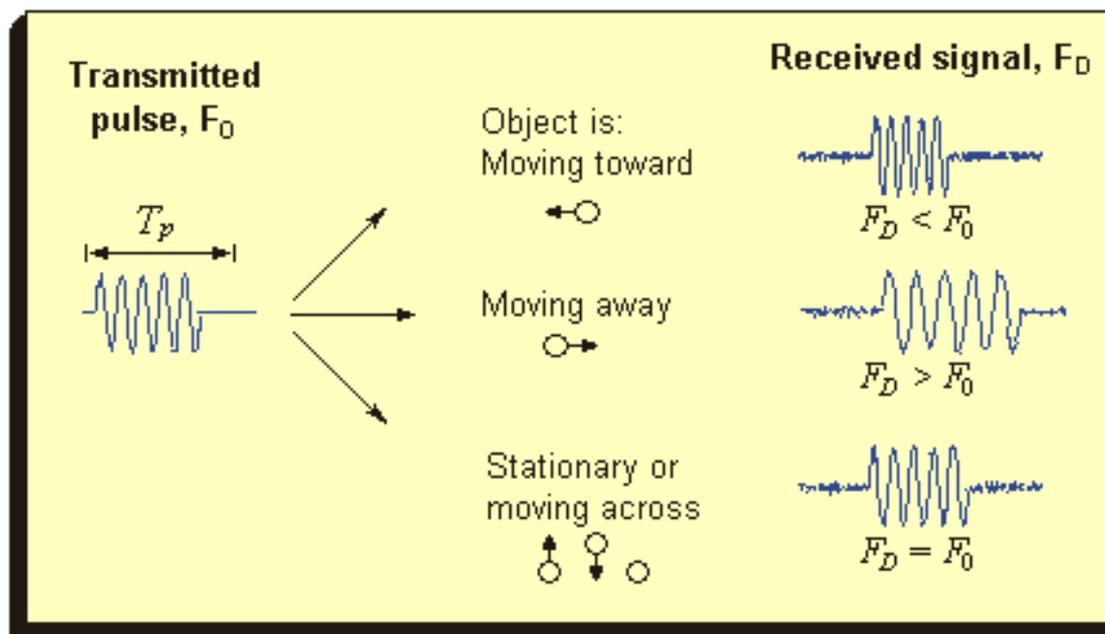
V_p = componente della velocità della corrente nella direzione del transetto

Misure dirette di portata tramite metodo Doppler



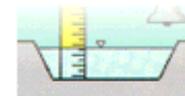
Il metodo prima descritto è stato successivamente perfezionato per rendere possibile la misura della portata in particolari condizioni, in cui la velocità della corrente è molto piccola ($< 50 \text{ cm s}^{-1}$) e la distribuzione della velocità, sia orizzontale che verticale, può essere atipica (per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

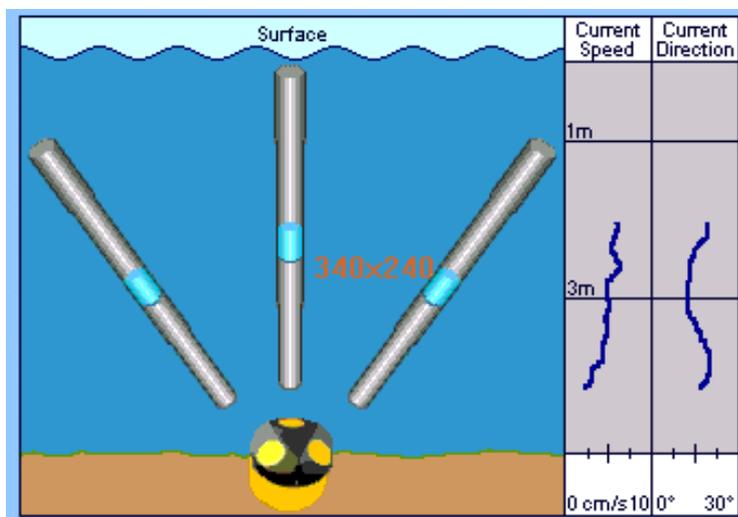


I metodi basati sull'effetto Doppler vengono utilizzati per determinare, tramite l'esame della frequenza di un'onda emessa e del suo eco, la velocità (ovvero la componente della velocità lungo la direzione di propagazione dell'onda) del bersaglio che ha determinato la retrodiffusione del segnale (in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

Misure dirette di portata tramite metodo Doppler



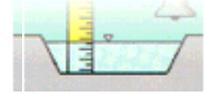
Esempio di funzionamento del metodo



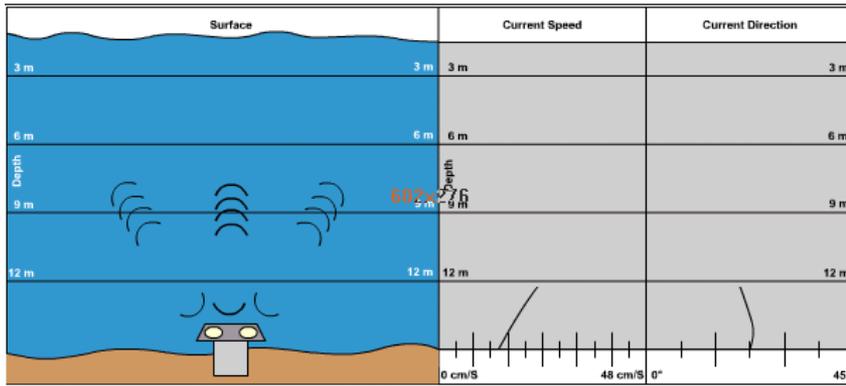
Esempio di apparecchio



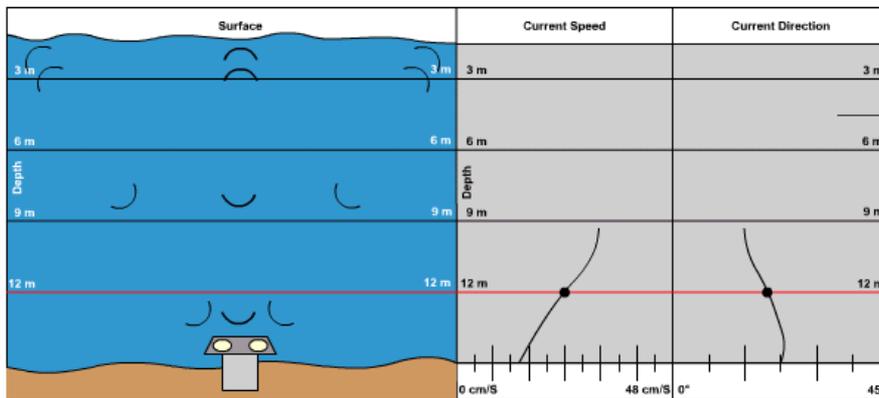
Misure dirette di portata tramite metodo Doppler



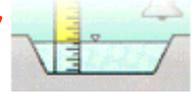
Determinazione del profilo verticale di velocità (intensità e direzione):
La figura rappresenta due istanti successivi nel funzionamento dell'apparecchio



Esempio di utilizzazione



Calcolo delle portate di piena secondo lo 'slope-area method'



Questo metodo può essere utilizzato in corrispondenza di tronchi d'alveo rettilinei (o parzialmente convergenti), di proprietà geometriche ed idrauliche uniformi, al fine di **calcolare la portata di picco per un evento di piena**. Per l'applicazione del metodo è necessario disporre delle registrazioni (desunte da visite sul luogo) della massima altezza del tirante idrico in corrispondenza di almeno tre distinte sezioni. Si misurano le aree delle sezioni e la pendenza del pelo libero fra le diverse sezioni, e si calcola quindi la velocità (per es., utilizzando **l'eq. di Manning**)

$$v = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

dove:

v: velocità media sulla sezione liquida;

S: pendenza;

R: raggio idraulico.

Si determina quindi la portata massima corrispondente.

Informazioni sul metodo:

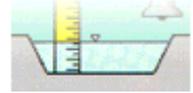
Dalrymple e Benson, 1967: *Measurement of peak discharge by slope-area method.*

Techniques of Water Resources Investigation of the U.S. Geological Survey, Book 3, Chp. A2.

Norme ISO 1070-1973.

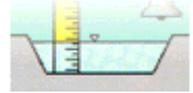


Letteratura tecnica relativa alle misure idrometeo - 1



- Una eccellente descrizione delle tecniche di rilevamento dei dati idrometrici è riportata da **U. Moisello: Idrologia Tecnica**, la Goliardica Pavese, 1998 (p. 428-469)
- **WMO** (World Meteorological Organization), 1982: *Guide to hydrologic practices*, vol. 1, Data acquisition and processing. WMO, Ginevra.
- **WMO**, 1982: *Hydrological network design - Needs, problems and approaches*. Operational Hydrology Rep.12, WMO, Ginevra.
- **WMO**, 1988: *HOMS Reference manual*, 2nd ed., WMO, Ginevra.
- **ISO**, 1983: *Liquid flow measurements in open channels*. Handbook 16, International Standards Organization.

Letteratura tecnica relativa alle misure idrometeo - 2



WMO, 1980:

Manual on stream gauging

Volume I--Fieldwork

xiv + 308 pp.

Volume II--Computation of discharge

xiv + 258 pp.

OHR No. 13

1980

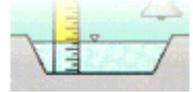
E, summary E,F,R,S

ISBN : 92-63-10519-7

Volume 1: selezione delle sezioni atte ad ospitare misure idrometriche e di portata, misura dei livelli idrometrici e di portata.

Volume 2: determinazione della scala delle portate e calcolo della portata media giornaliera.

Siti web di interesse

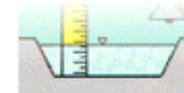


ARPAV (Agenzia Regionale Protezione Ambiente Veneto):

Misure iudrometriche

<http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/idrologia/metodologia/misure-idrometriche>

Siti web di interesse



ARPAV (Agenzia Regionale Protezione Ambiente Veneto):

Dati idrometeo in diretta (tempo reale - inclusi gli ultimi tre giorni)

http://www.arpa.veneto.it/bollettini/htm/dati_idrometeo.asp

ARPAV - Mozilla Firefox

www.arpa.veneto.it/bollettini/htm/dati_idrometeo.asp

ARPAV | Prevenzione e Salute | Temi Ambientali | Servizi Ambientali | ARPAV informa | Servizi online | Dati ambientali

Bandi e Fornitori | Bollettini | Comunicati stampa | Consultazione provvedimenti | Concorsi e Procedure comparative | Indicatori Ambientali | Notizie | Pubblicazioni | Tariffario | Trasparenza amministrativa

Portale → ARPAVinforma → Bollettini

DATI IDROMETEIO IN DIRETTA

ARPAV rileva in tempo reale i dati idrometeorologici attraverso una rete di misura composta da oltre 200 stazioni. A livello sperimentale, per consentire una informazione capillare e tempestiva a tutti i cittadini, è stato realizzato un accesso ai dati delle misure idrometriche e pluviometriche degli ultimi tre giorni.

La tabella contiene una selezione di stazioni per le quali è possibile visualizzare i dati di livello idrometrico lungo alcuni corsi d'acqua o di precipitazione oraria. La pubblicazione dei dati sul sito avviene in modo automatico, senza validazione preventiva; a seguito di validazione i dati possono subire anche notevoli variazioni. L'aggiornamento dei dati avviene ogni 30 minuti, con un ritardo rispetto all'acquisizione in "tempo reale" solitamente di circa 1-2 ore. Eventuali possibili maggiori ritardi nell'aggiornamento sono accidentali e non valutabili a priori.

L'eventuale mancanza di uno o più dati di un sensore è da imputarsi a malfunzionamento del sistema. ARPAV interviene per la rimozione dei guasti in base a procedure codificate e nel minor tempo possibile. E' possibile, tuttavia, segnalare eventuali disfunzioni del sistema a inforete@arpa.veneto.it.

Nelle tabelle sono riportati data ed ora dell'osservazione in **ora solare** ed è quindi necessario sommare un'ora quando è in vigore l'ora legale.

Dati degli ultimi tre giorni

Stazione	Bacino	Livelli idrometrici	Precipitazioni
Adige a Albaredo	ADIGE	Dati	
Adige a Badia Polesine	ADIGE	Dati	
Adige a Boara Pisani	ADIGE	Dati	
Adige a Cavarzere	ADIGE	Dati	
Agno a Ponte Brogliano	BRENTA - Agno - Guà	Dati	
Agordo	PIAVE - Cordevole		Dati
Alpone a Monteforte	ADIGE - Alpone	Dati	