



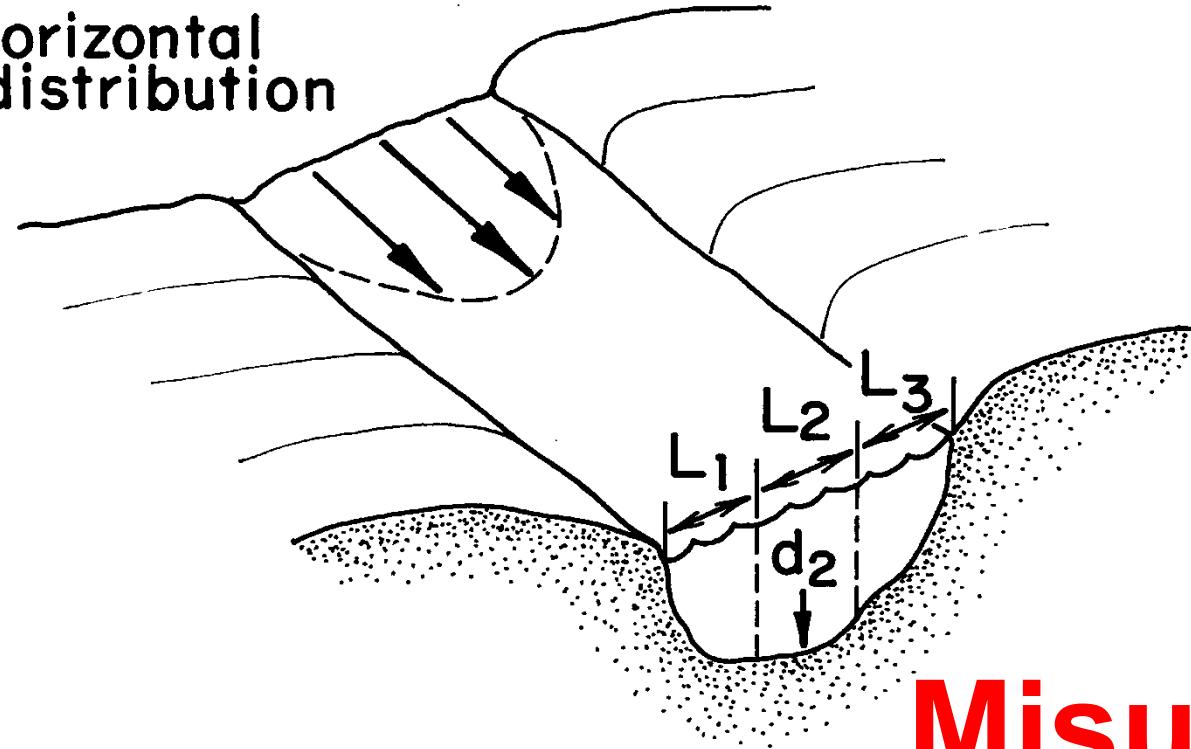
# Misure di portata

# Misure occasionali di portata

- Velocità x area
- Diluizione

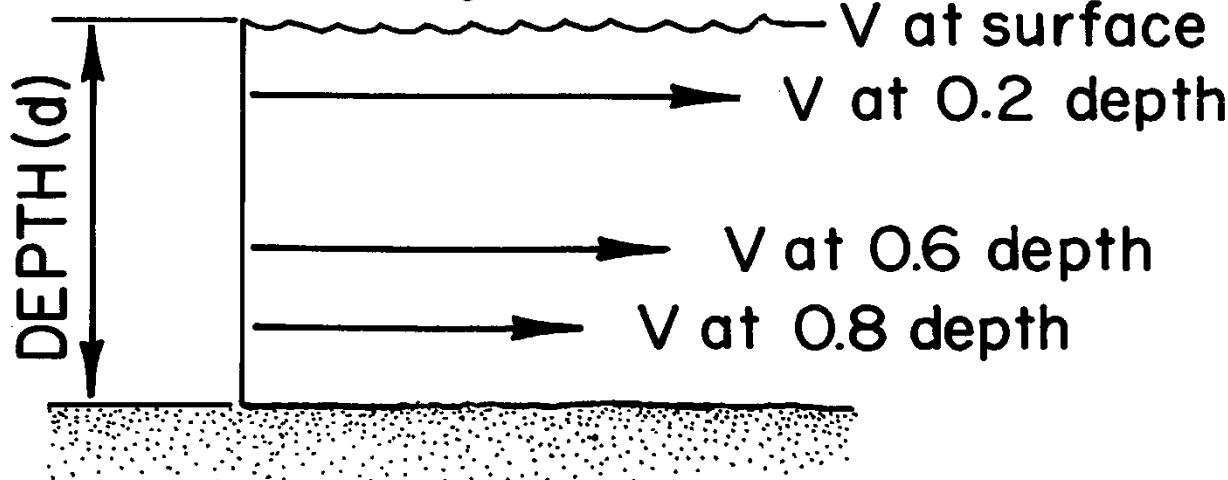


Normal horizontal velocity distribution



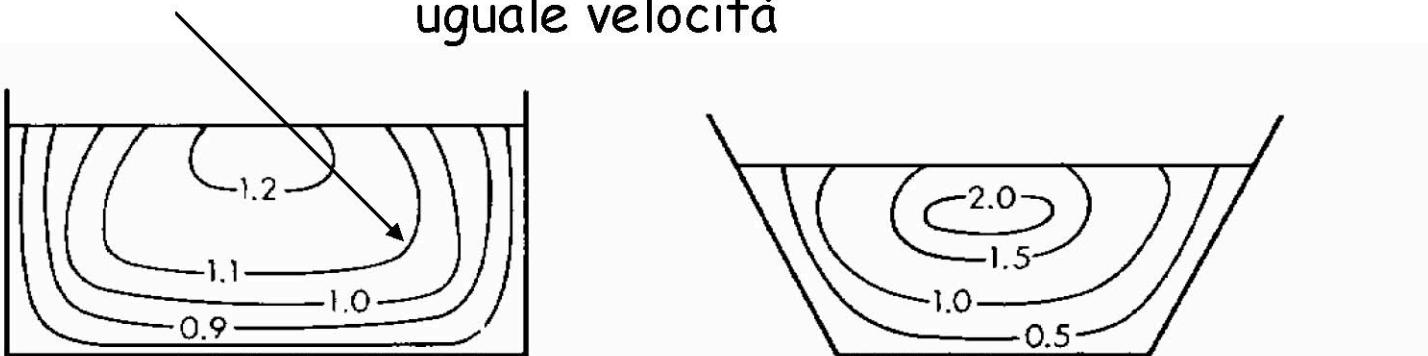
## Misure di velocità

Vertical velocity distribution

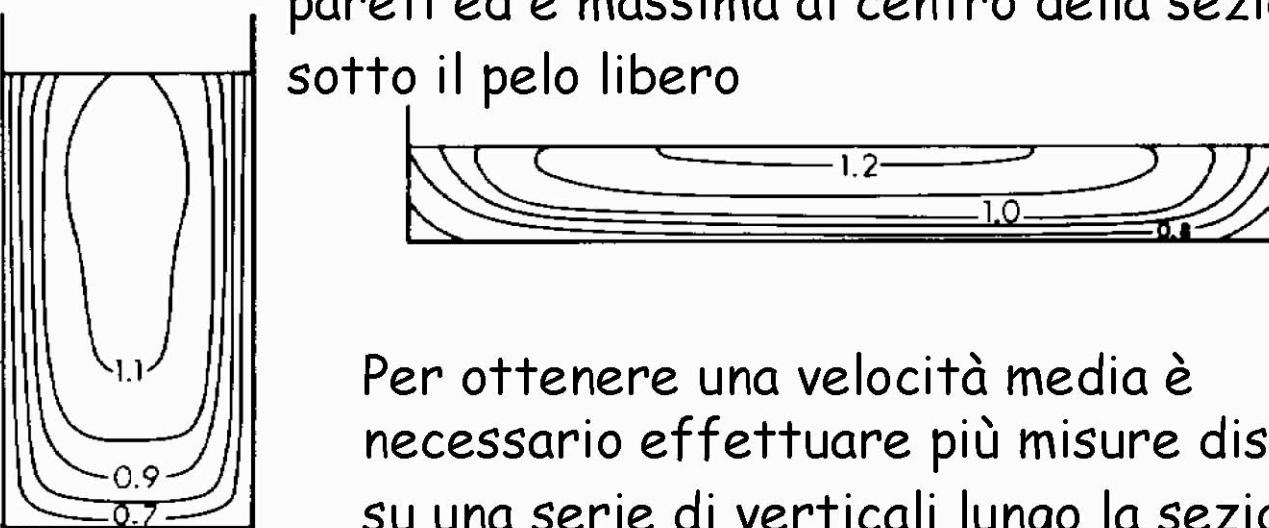


## Variabilità della velocità nella sezione

Isotachie: linee che congiungono i punti della sezione aventi uguale velocità

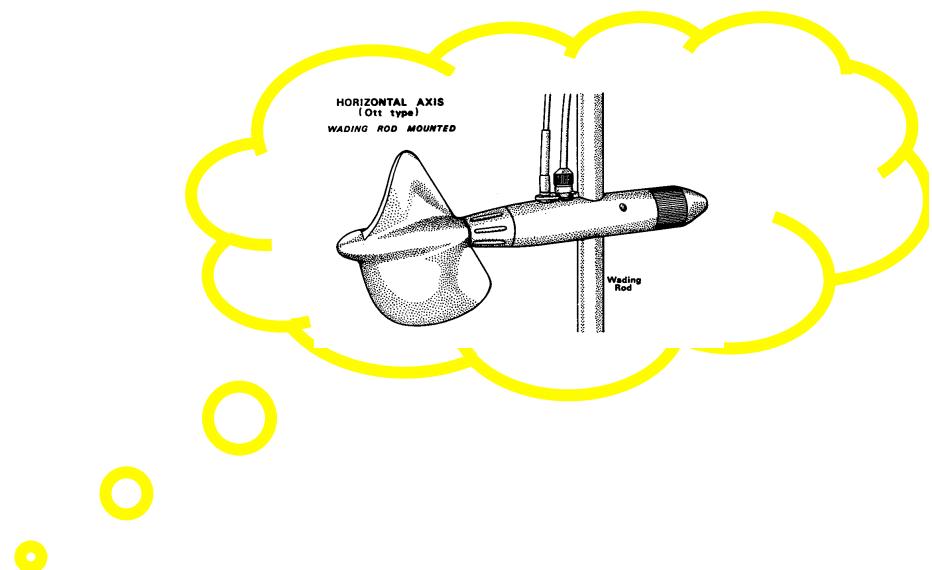
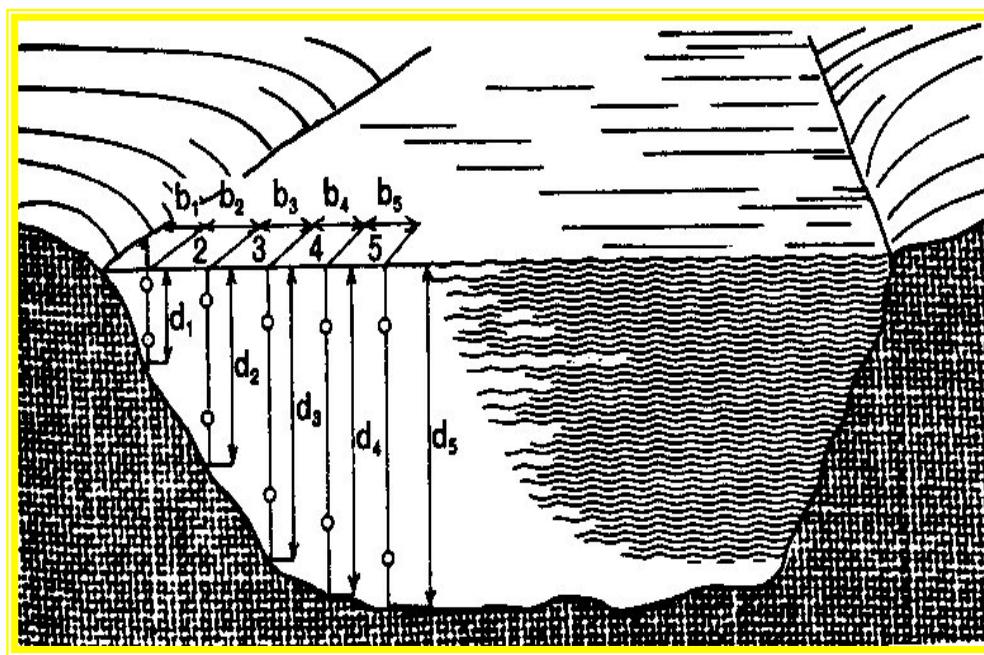


La velocità è inferiore in prossimità del fondo e delle pareti ed è massima al centro della sezione poco sotto il pelo libero

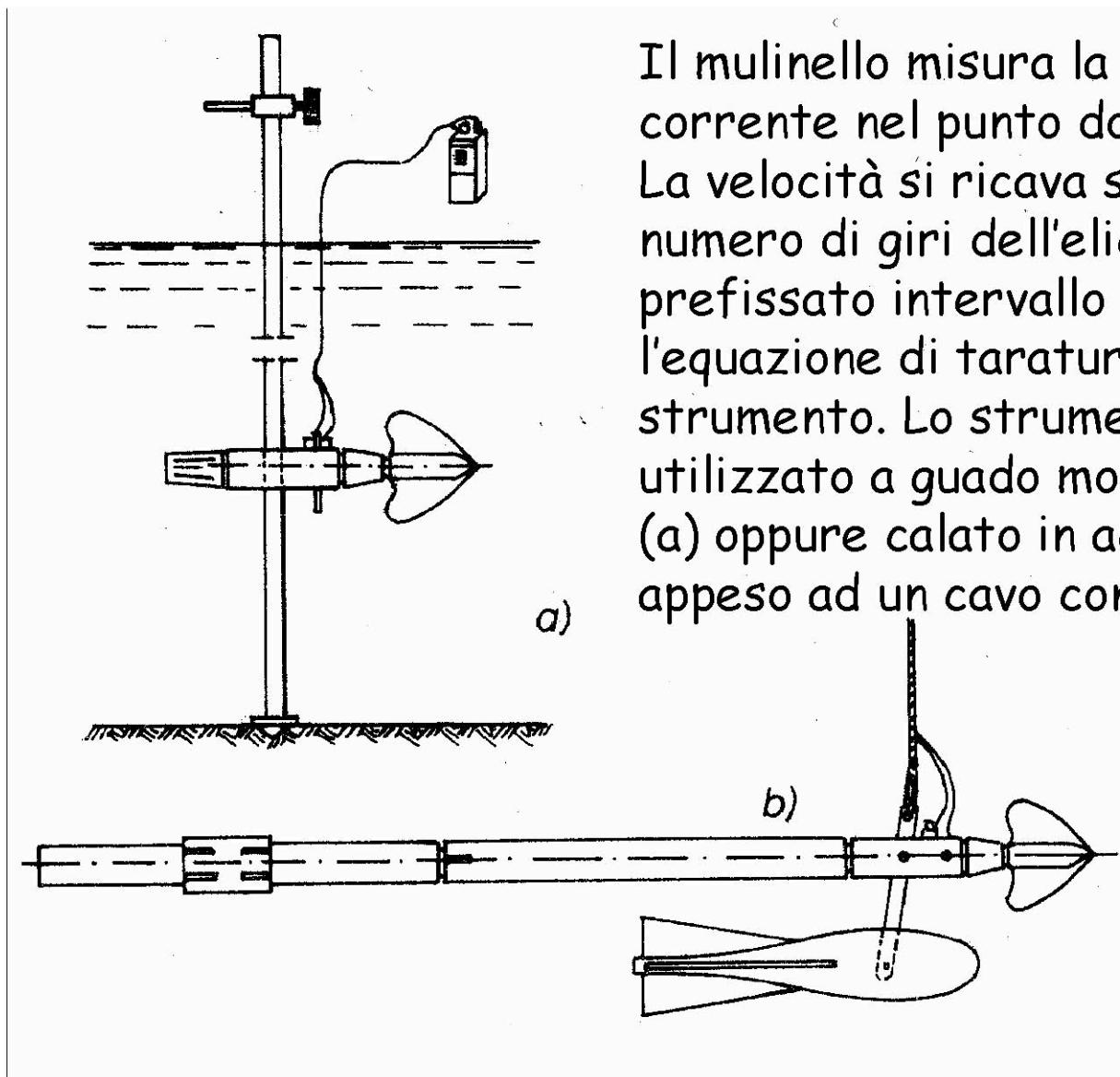


Per ottenere una velocità media è necessario effettuare più misure distribuite su una serie di verticali lungo la sezione

# Griglia di misura delle velocità

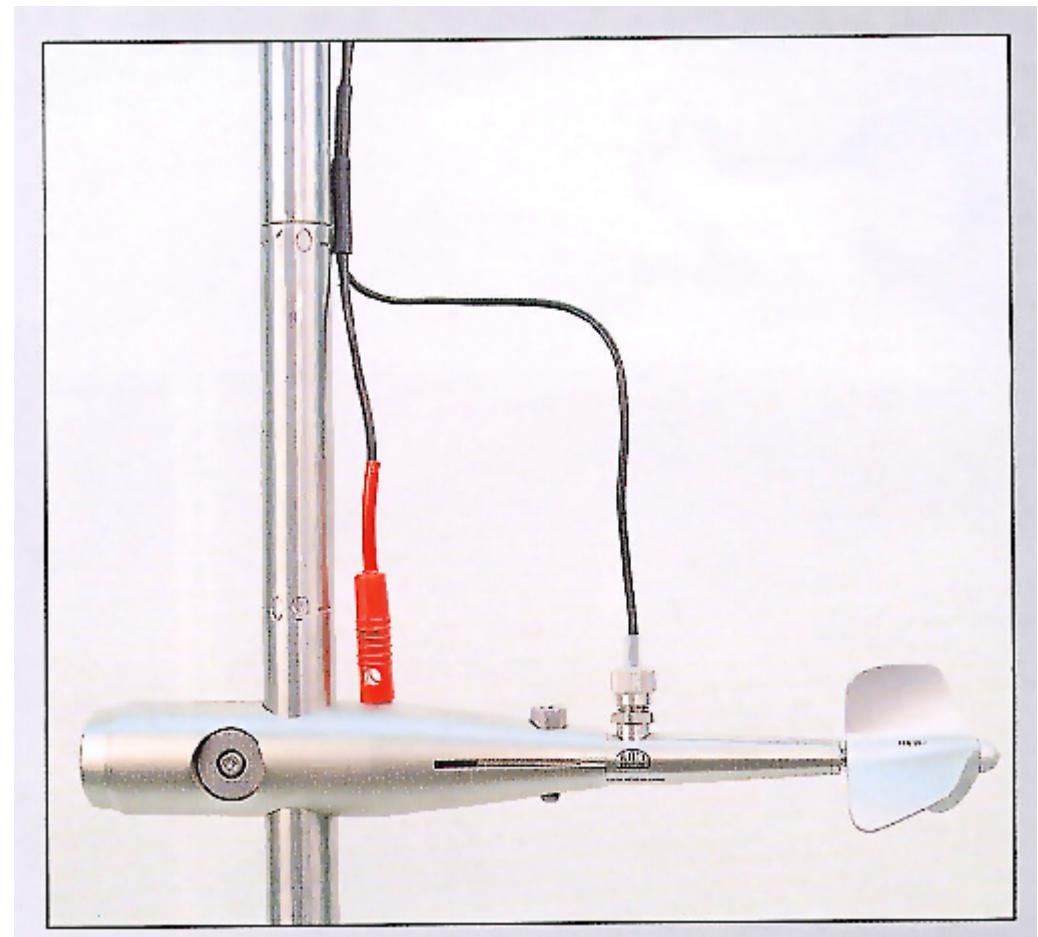


## Mulinello idrometrico

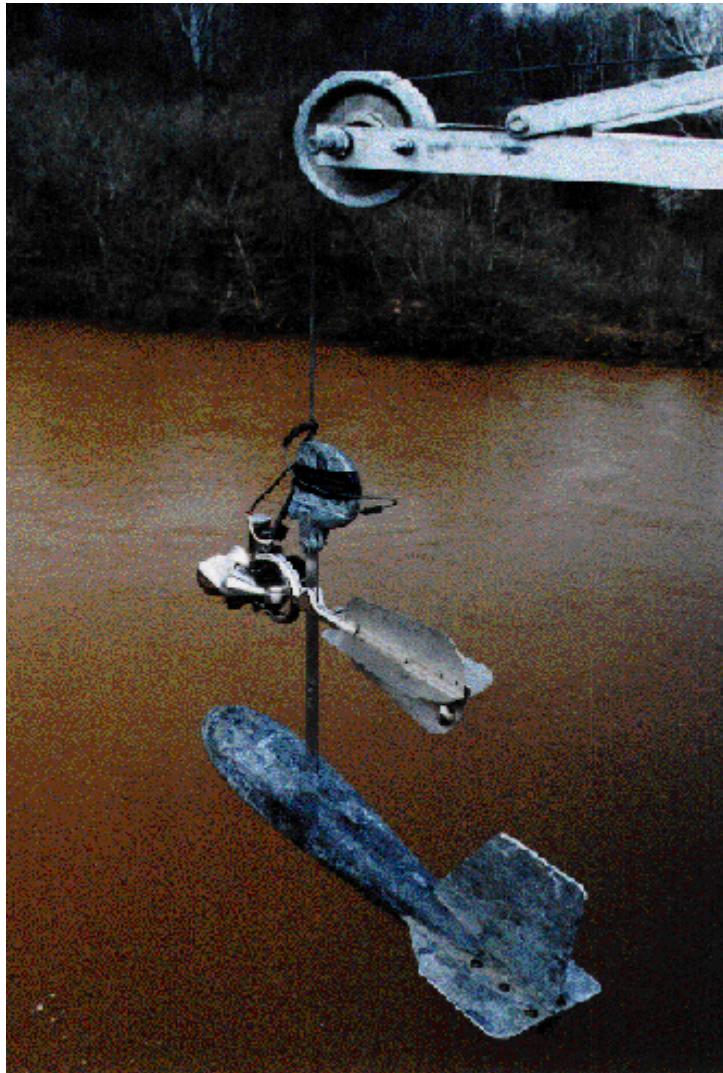


Il mulinello misura la velocità della corrente nel punto dove è immerso. La velocità si ricava sulla base del numero di giri dell'elica in un prefissato intervallo di tempo, nota l'equazione di taratura dello strumento. Lo strumento può essere utilizzato a guado montato su asta (a) oppure calato in acqua dall'alto appeso ad un cavo con zavorra (b).

Misure con calata da ponte  
(mulinello + asta correntometrica)



# Misure con calata da ponte (mulinello + peso)



Carrello idrometrico da ponte, argano a mano, mulinello e peso idrodinamico.

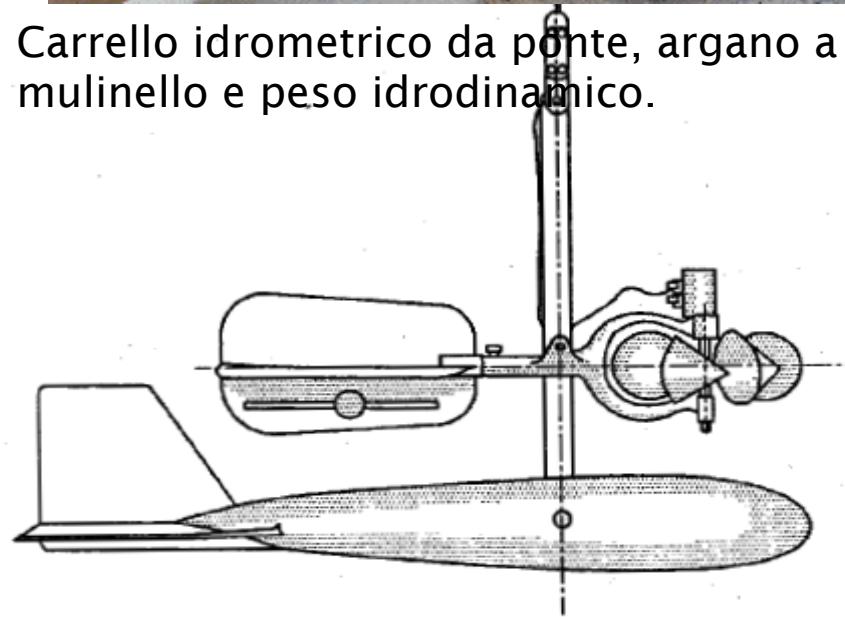


Fig. 5.8 Pesce con mulinello ad asse verticale (Linsley *et al.*, 1949)

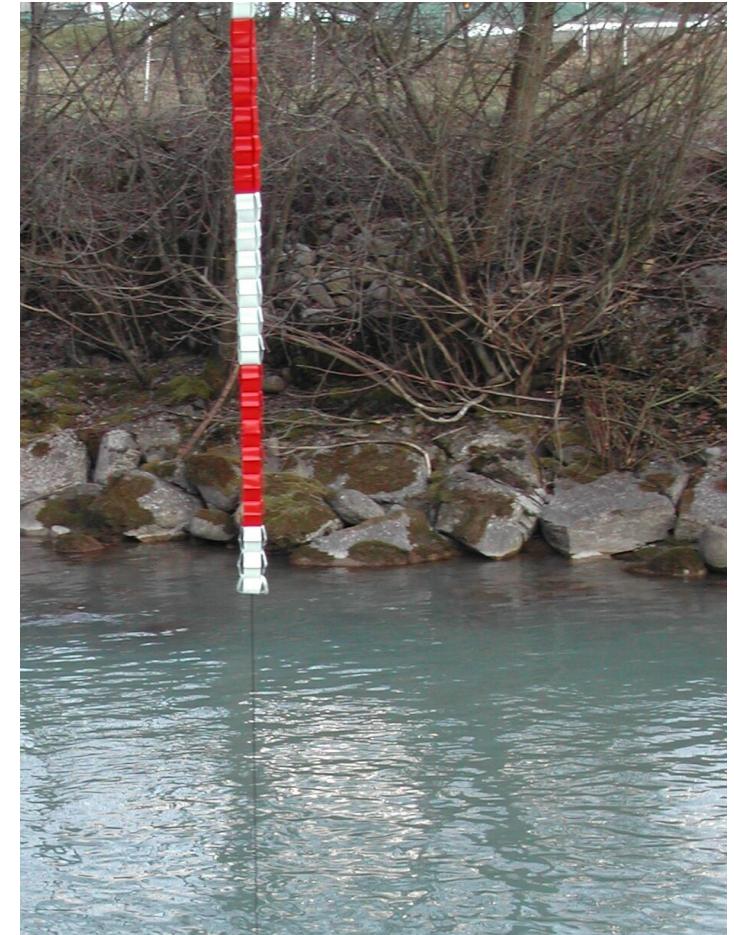
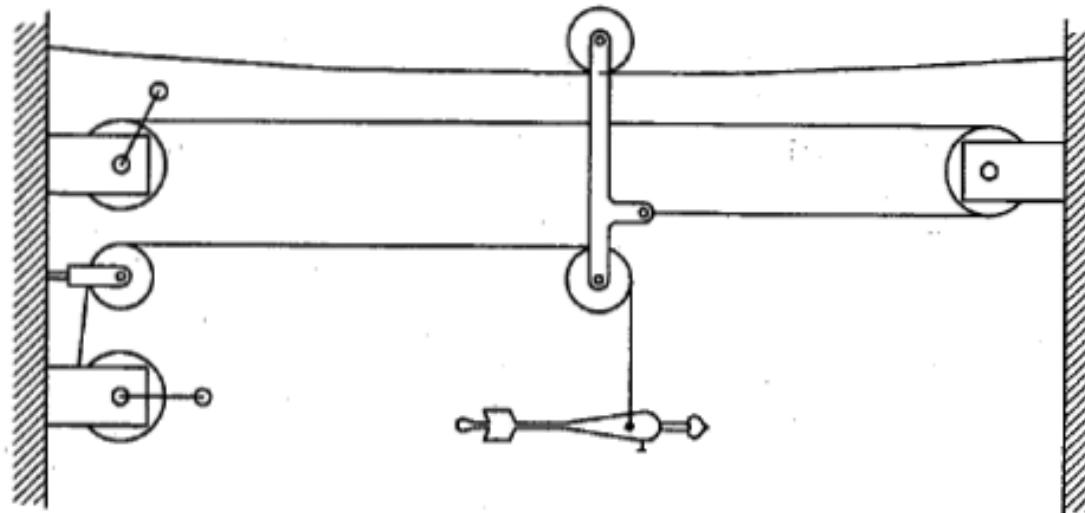
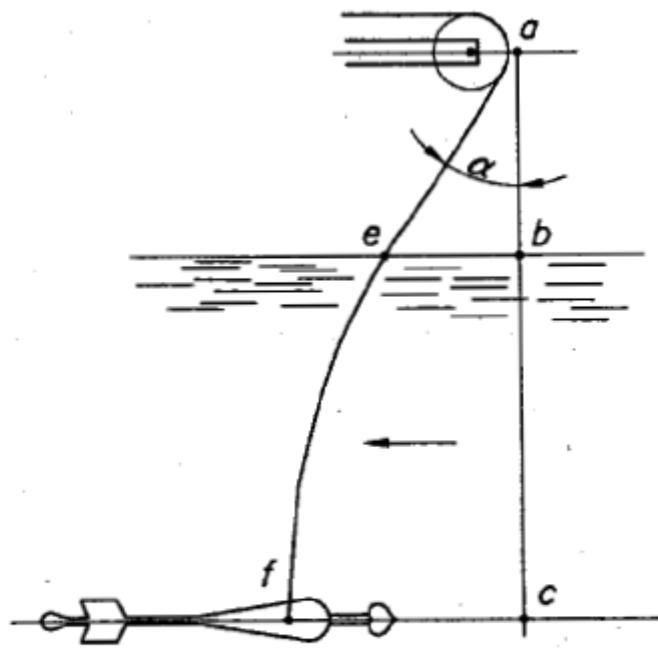


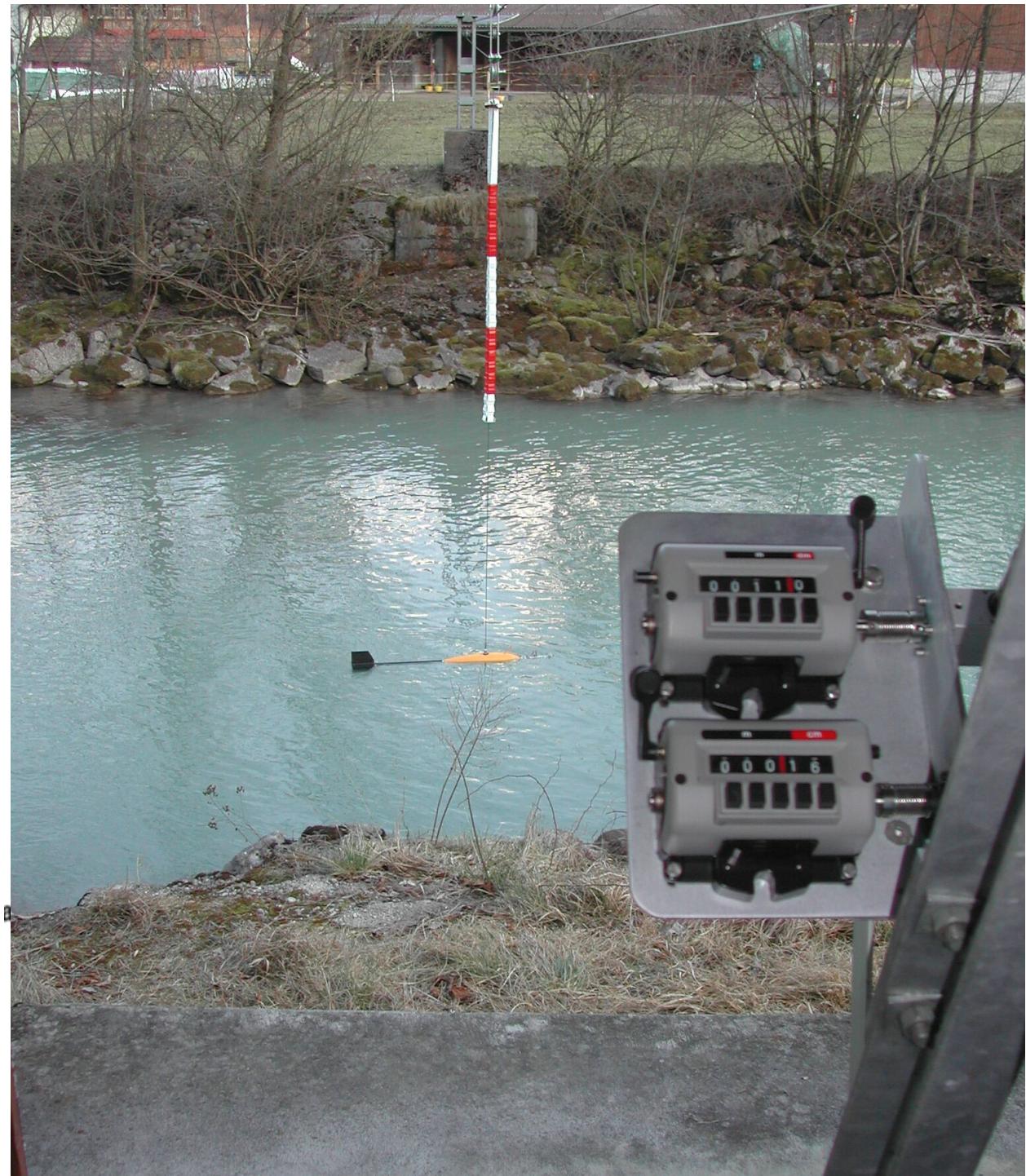
Fig. 5.12 Teleferica per le misure con il mulinello (Roche, 1963)

Misure da teleferica  
(mulinello zavorrato)





Azione di trascinamento del cavo  
esercitata dalla corrente



# Misura approssimata di velocità

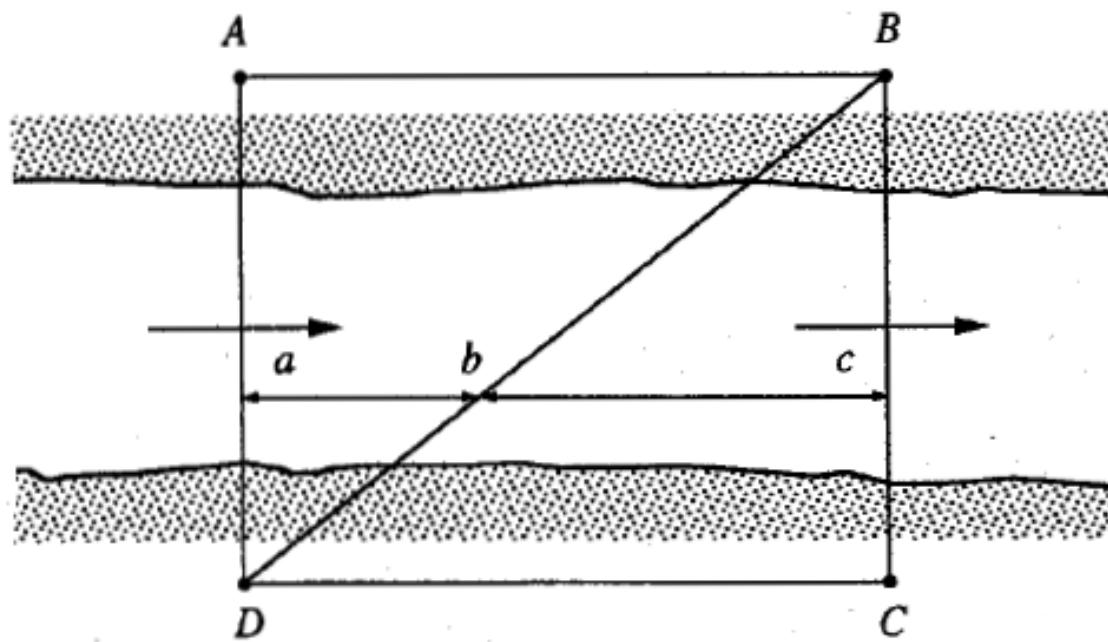
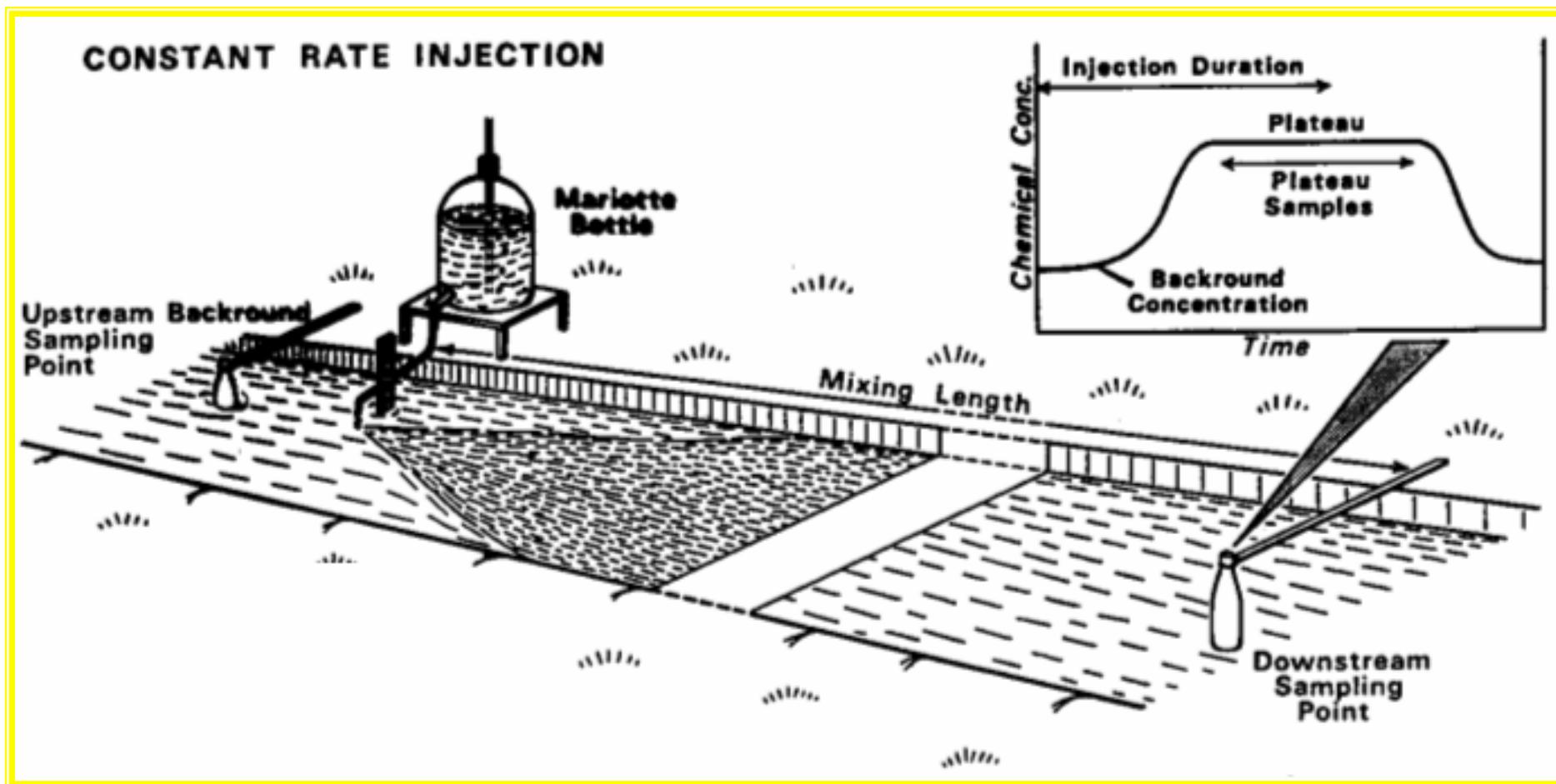


Fig. 5.20 Misura di velocità superficiale con il metodo del galleggiante

# Metodo della Diluizione (non strutturale)



- Adatto a tronchi montani (turbolenza accentuata)
- Tracciante a rapido mescolamento, stabile non-tossico e facilmente rilevabile
- Si rileva: conducibilità elettrica, assorbimento colorimetrico, attività radioattiva (per radioisotopi)

# Metodo della Diluizione

## Iniezione continua

$$Q = q \frac{C_i - C_d}{C_d - C_b}$$

dove:

**Q** = portata liquida

**q** = portata entrante del liquido

tracciante

**C<sub>i</sub>** = Concentrazione del soluto nel tracciante

**C<sub>d</sub>** = Concentrazione del soluto nella corrente

**C<sub>b</sub>** = Concentrazione iniziale del soluto nella corrente

## Immissione istantanea

$$Q = \frac{V C}{\int_0^T (C_d - C_b) dt}$$

dove:

**Q** = portata liquida

**V** = Volume di soluzione immessa

**C** = Concentrazione del soluto nella soluzione

**C<sub>d</sub>** = Concentrazione del soluto nella corrente

**C<sub>b</sub>** = Concentrazione iniziale del soluto nella corrente

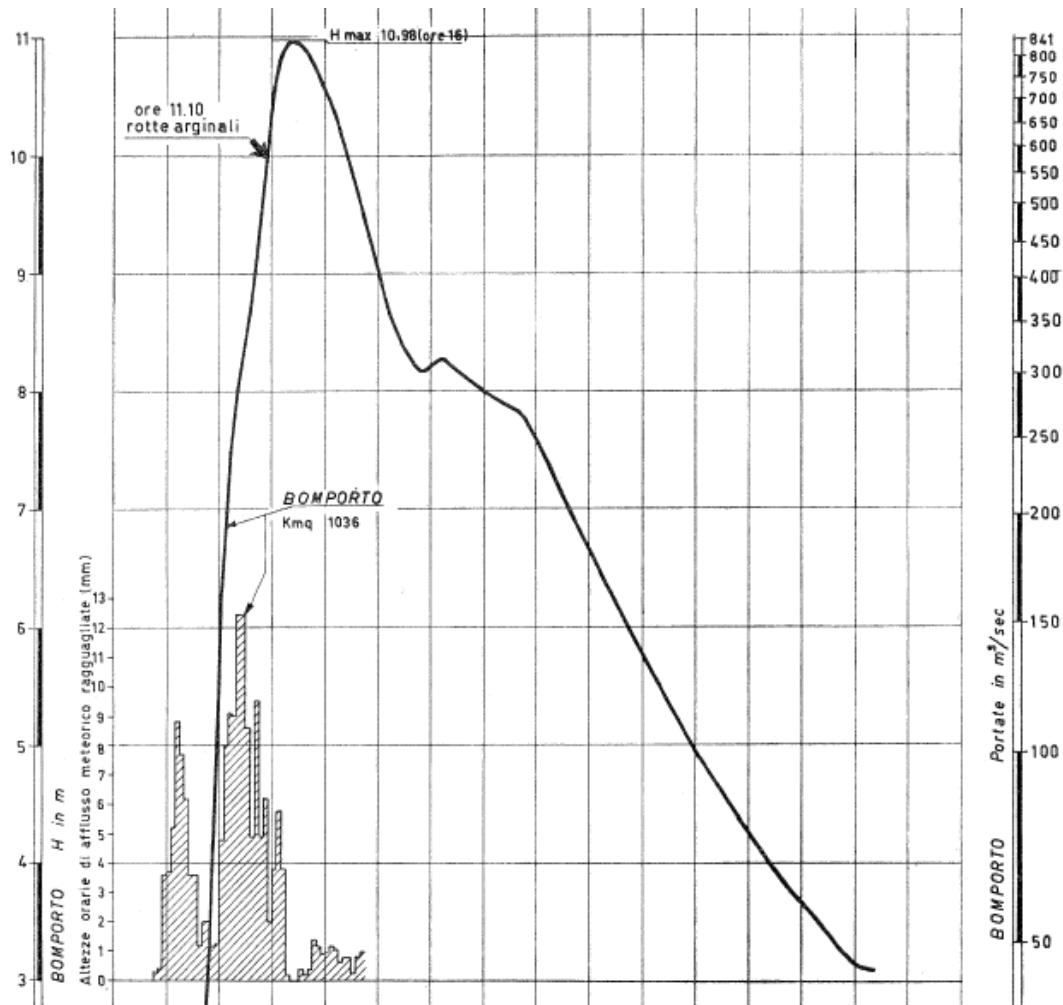
**T** = durata dell'onda di tracciante rilevata

# PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?

- Verifica di bilanci idrologici (medi) pluriennali

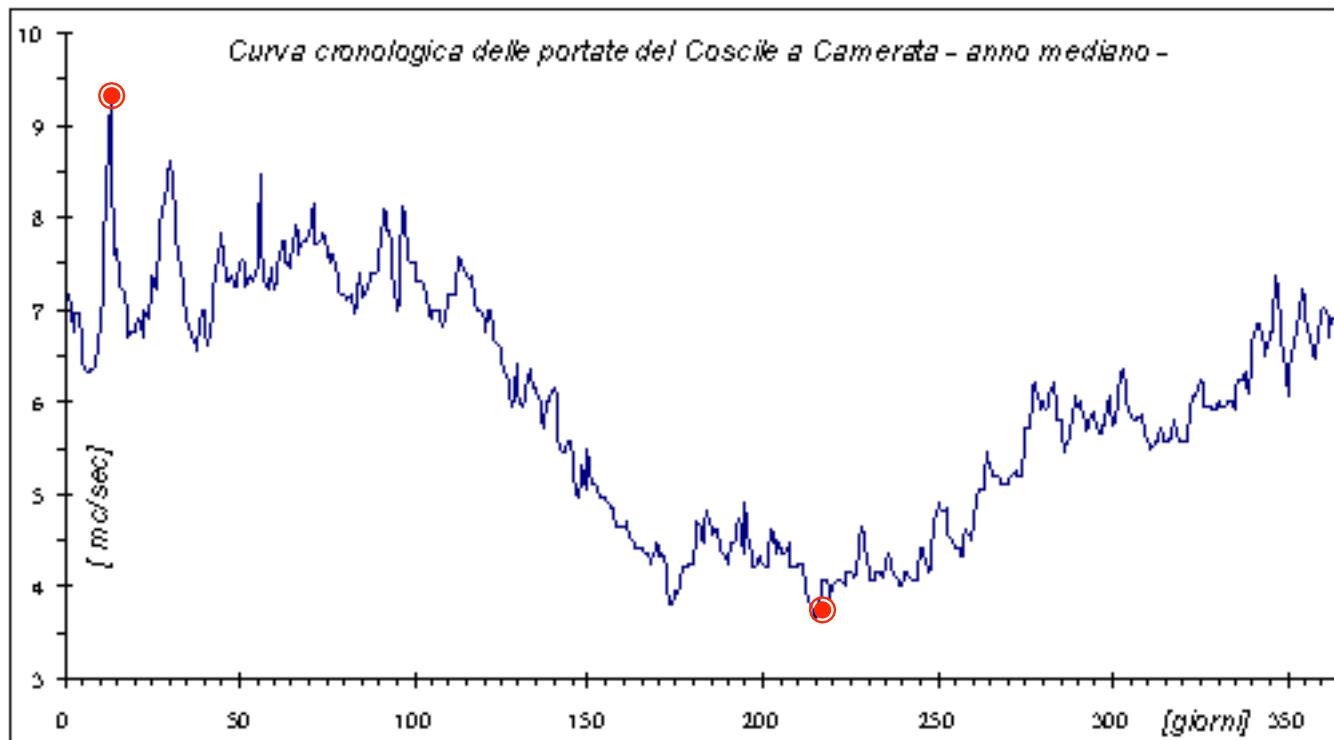
NOME	AREA	H MEDIA	H MAX	H MIN	# OSS	AFF	DEF	AFF-DEF
Ayasse_Champorcher	40.6	2364	3119	1372	24	1179	1258	-79
GrandEyvia_Cretaz	178.6	2583	3902	1476	9	950	1109	-159
Lys_Gressoney	90.5	2637	4427	1398	23	1191	1354	-163
Rutor_Promise	45.6	2554	3414	1508	31	1314	1648	-334
Savara_EauRousse	83.9	2694	3916	1650	17	987	1079	-92

# PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?



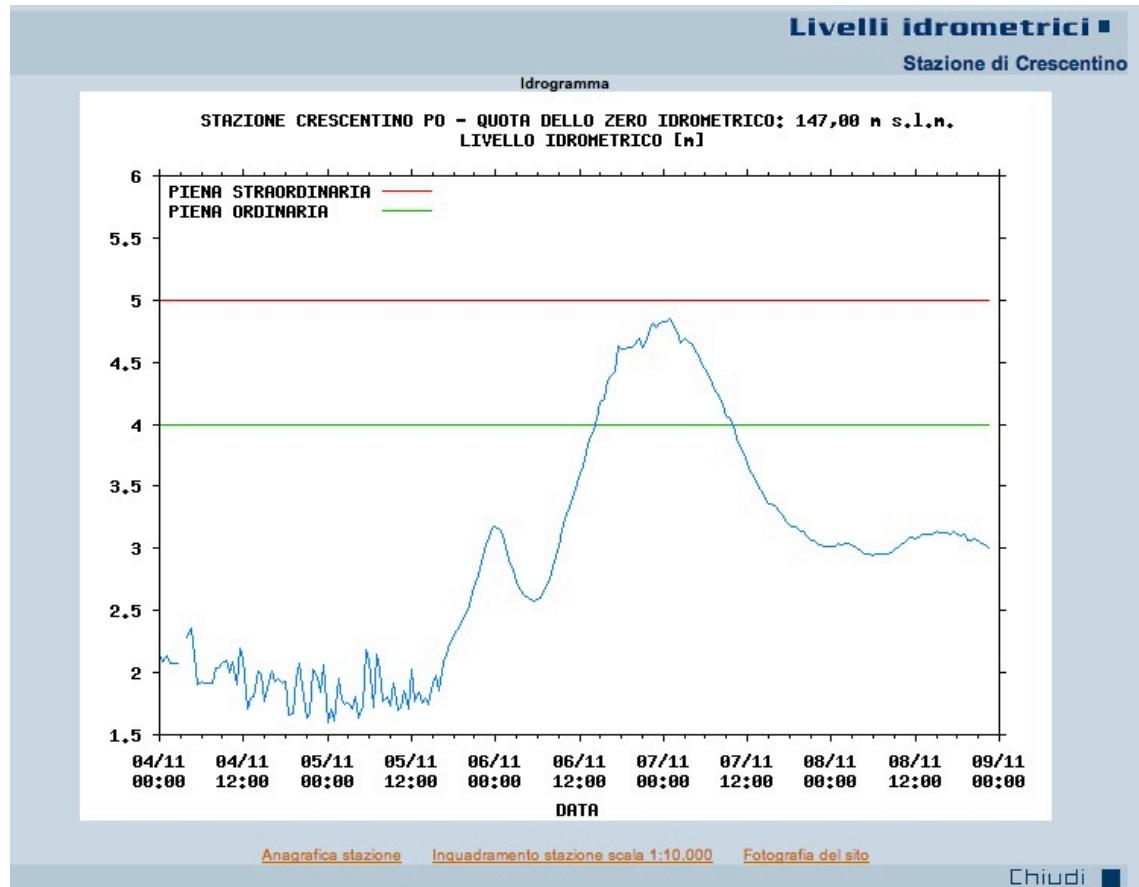
**Verifica di bilanci idrologici  
di piena**

# PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?



Costruzione di serie storiche  
di estremi massimi e minimi annui

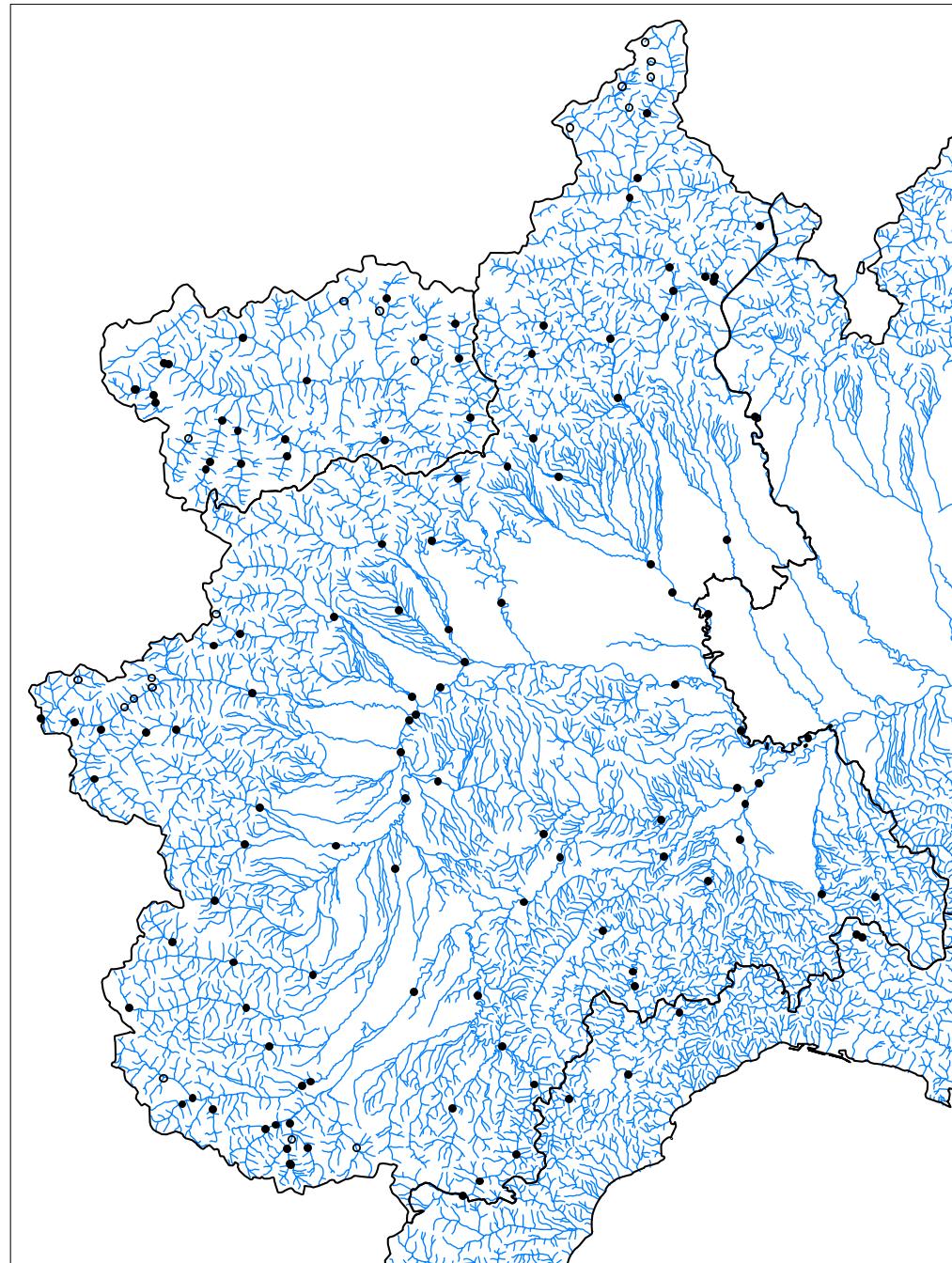
# PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?



Trasmissione di misure  
in tempo reale  
per preannuncio di piena  
(difesa attiva dalle alluvioni)

<http://www.regione.piemonte.it/meteo/idrometri/index.htm>

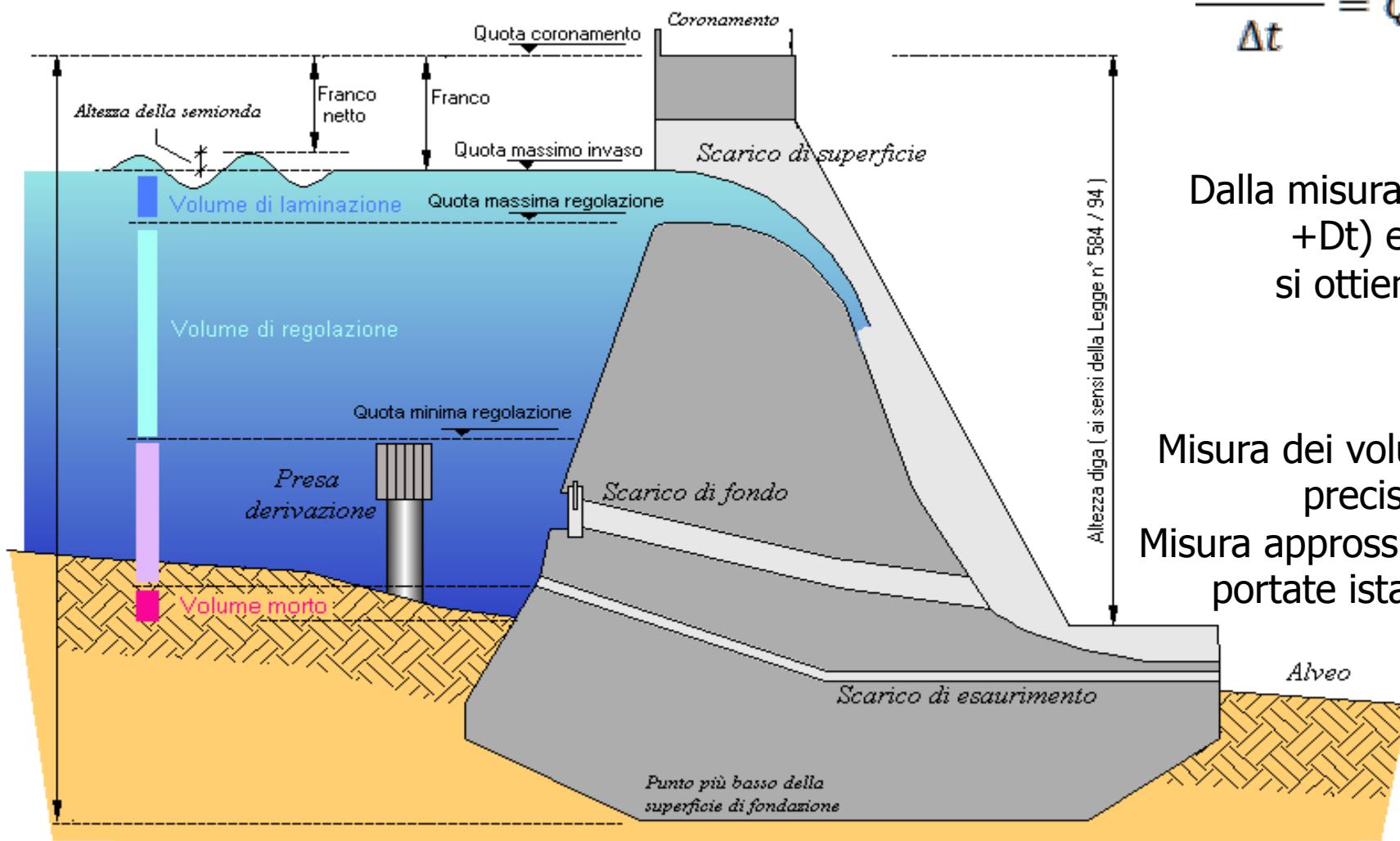
ARPA PIEMONTE  
Rete di monitoraggio  
idrometrico



# Misure sistematiche per casi particolari (piccole portate, dettaglio temporale limitato)

- Metodo volumetrico
- Metodi strutturali (stramazzi, venturimetro)
- Metodi non invasivi (elettromagnetico,ultrasuoni )

# Metodo volumetrico (bilancio dei volumi)



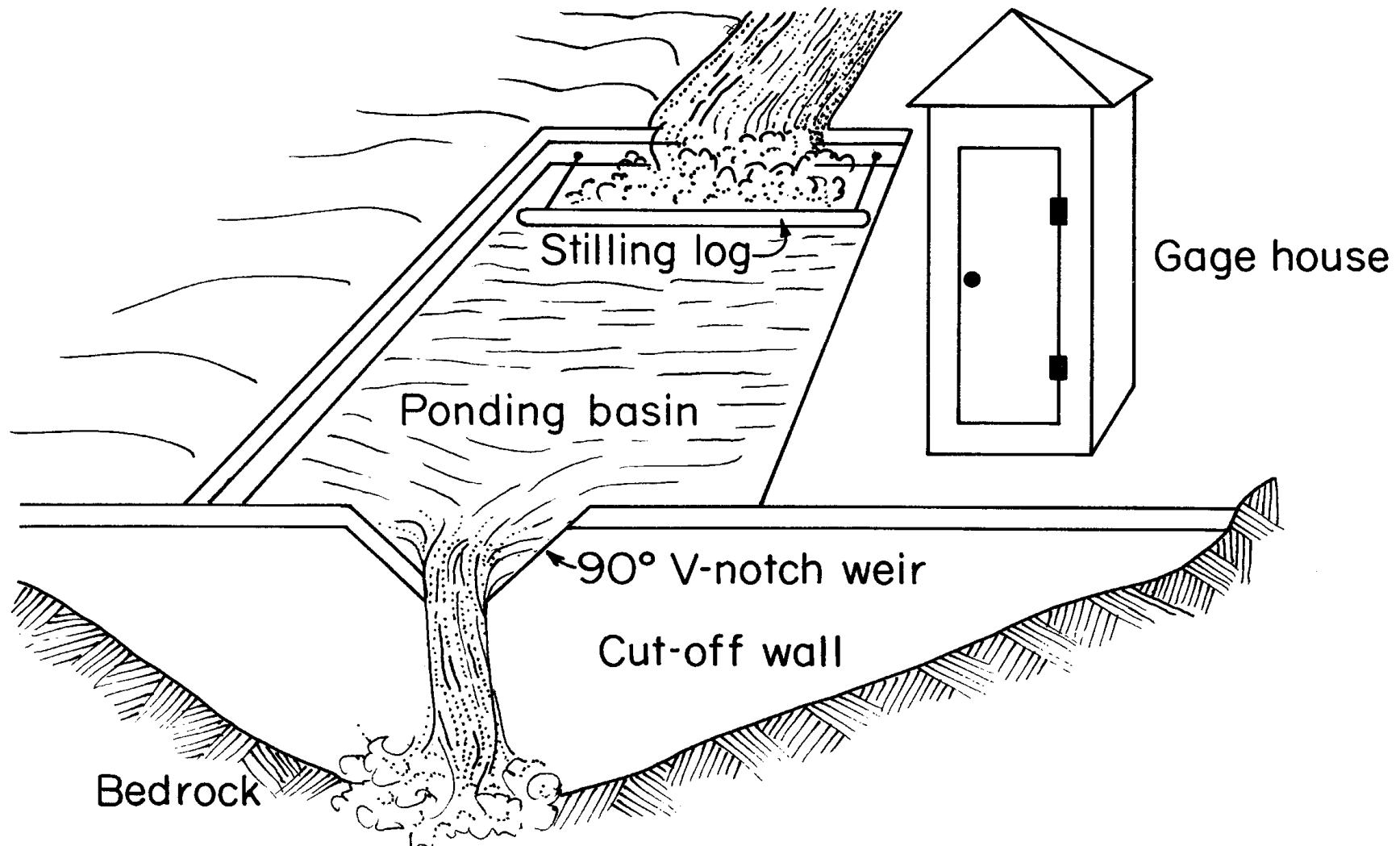
$$\frac{\Delta W(t)}{\Delta t} = Q_i(t) - Q_u(t)$$

Dalla misura di  $W(t)$ ,  $W(t + \Delta t)$  e  $Q_u(t)$  si ottiene  $Q_i(t)$

Misura dei volumi molto precisa.  
Misura approssimata delle portate istantanee

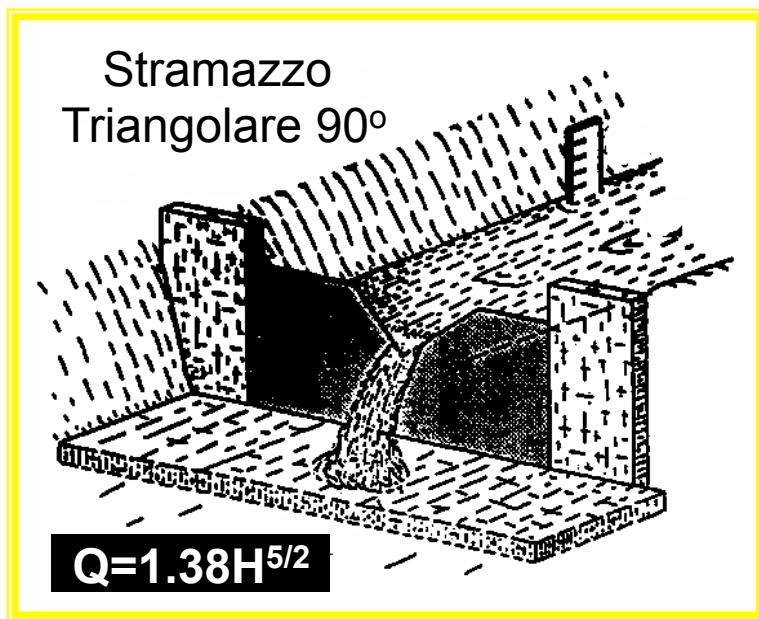
# Metodi Strutturali

(livello → portata con relazione analitica)



# Metodi Strutturali

(es. misure su corrente in stato critico)



## Stramazzi in parete sottile

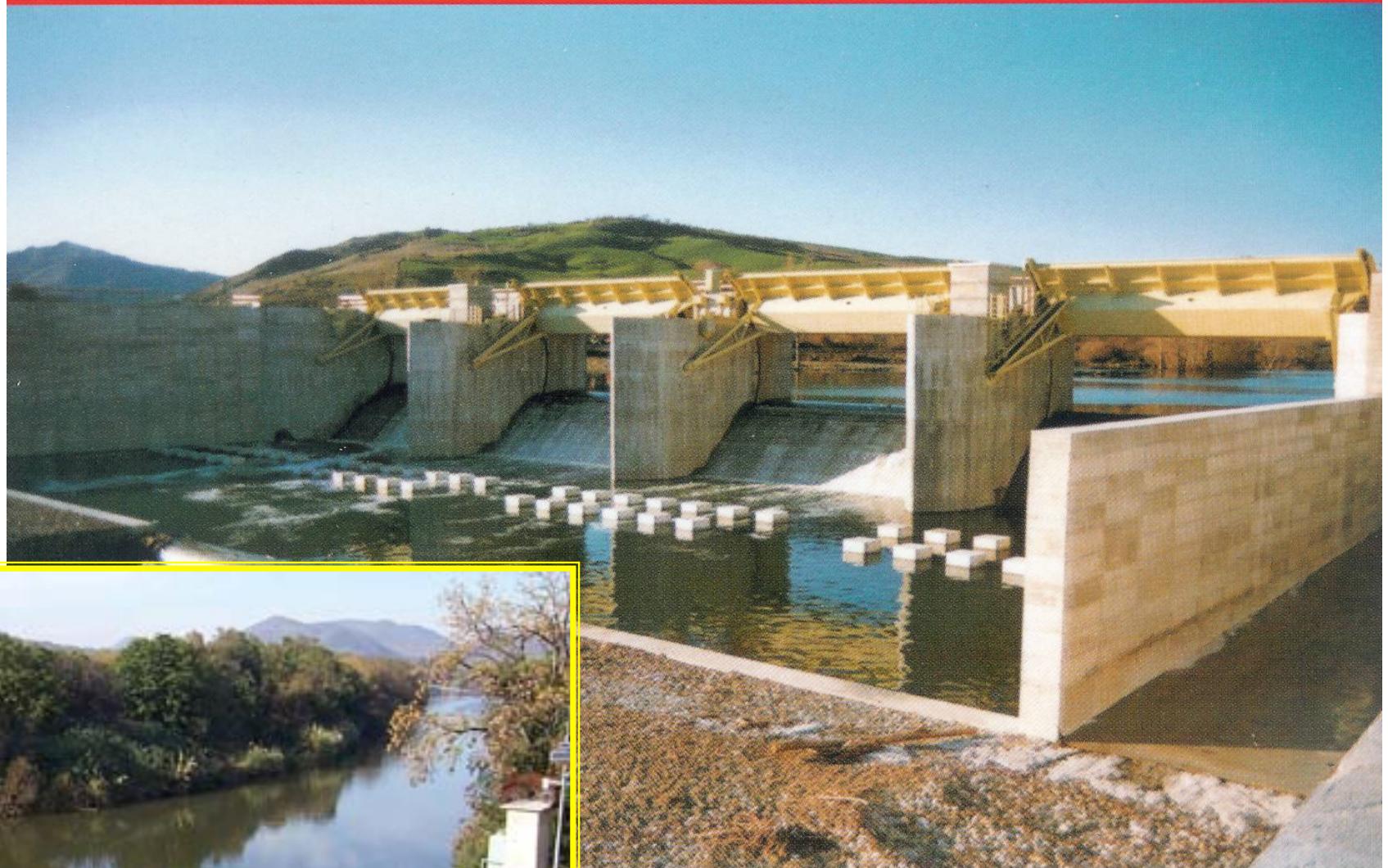
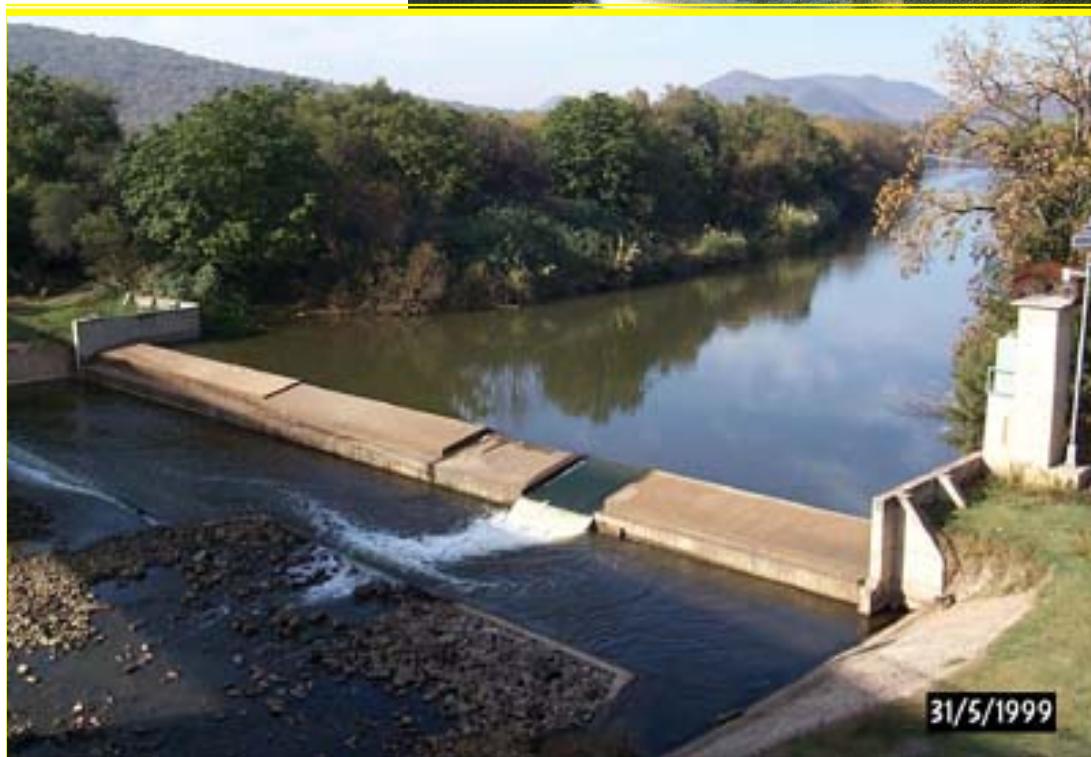
- Stato critico per ostacolo verticale
- calibrazione teorica accurata se la parete rimane sottile
- Adatto per piccoli canali con diversa geometria
- Determina innalzamento del livello a monte
- Determina accumulo di sedimenti a monte
- Non adatto per misure in piena

## Tronco Venturimetrico

- Stato critico per contrazione laterale
- Necessari test in situ per la calibrazione
- Meno problemi di innalzamento di livello e sedimentazione a monte
- Non adatto per misure in piena



## Stramazzi a larga soglia

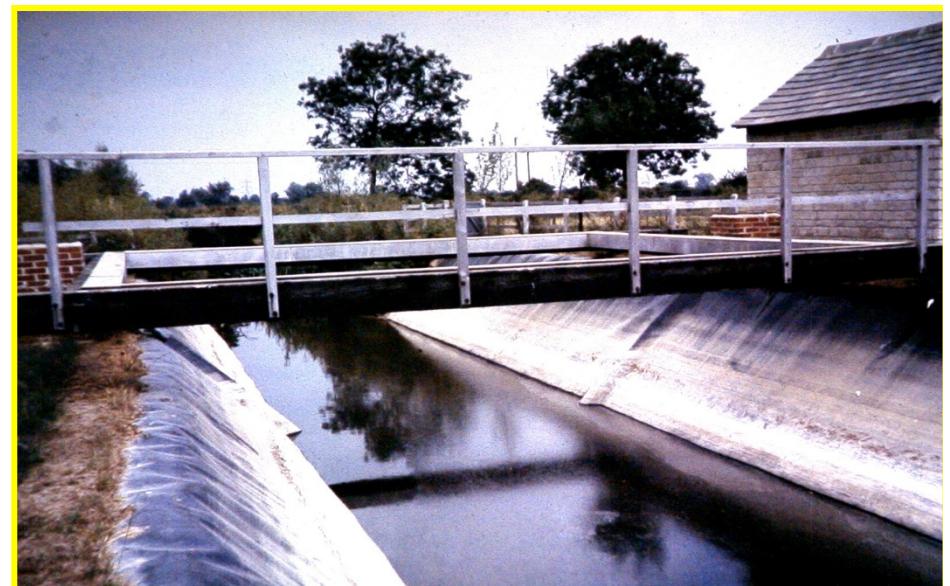


- **Strutture robuste**
- **Largamente diffusi (soglie dei ponti, traverse fluviali)**
- **Misure accurate per alte portate**

# Metodi non convenzionali

## Misure di velocità a Ultrasuoni

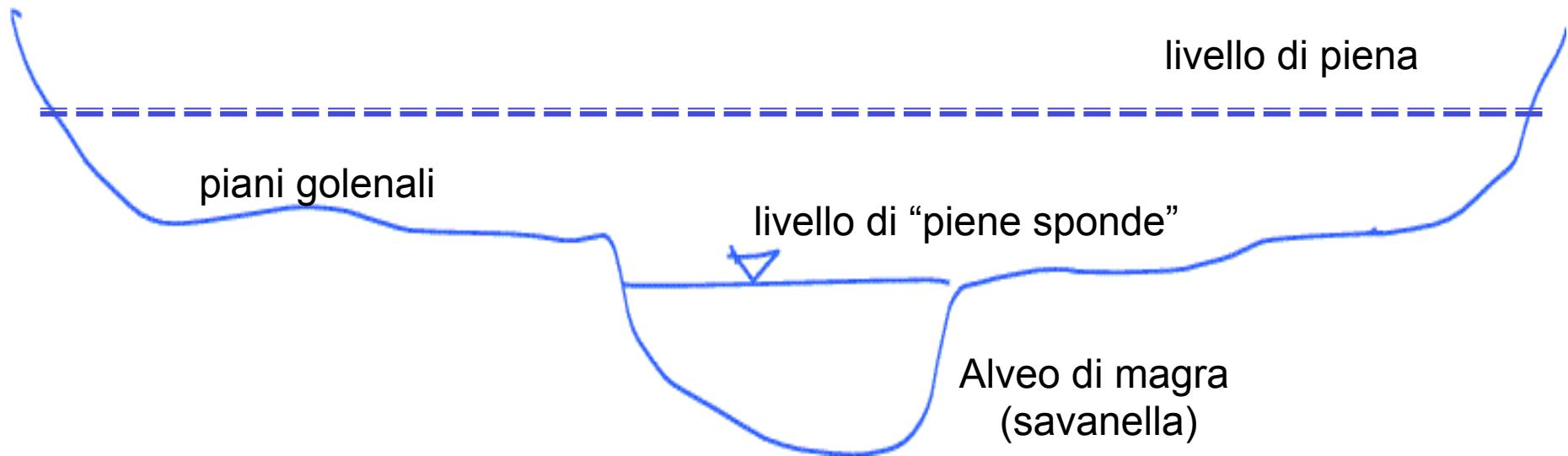
- Impulsi ad Ultrasuoni trasmessi diagonalmente, riflessi e rilevati al punto di partenza
- Non interferenza con la corrente (campo di moto indisturbato)
- Possibilità di rilevare velocità nelle 2 direzioni (correnti di marea)



## Misure di velocità con metodo Elettromagnetico

- Bobina collocata sopra o sotto il canale
- Il flusso induce corrente nella bobina proporzionale alla velocità

# Misure sistematiche su alvei fluviali



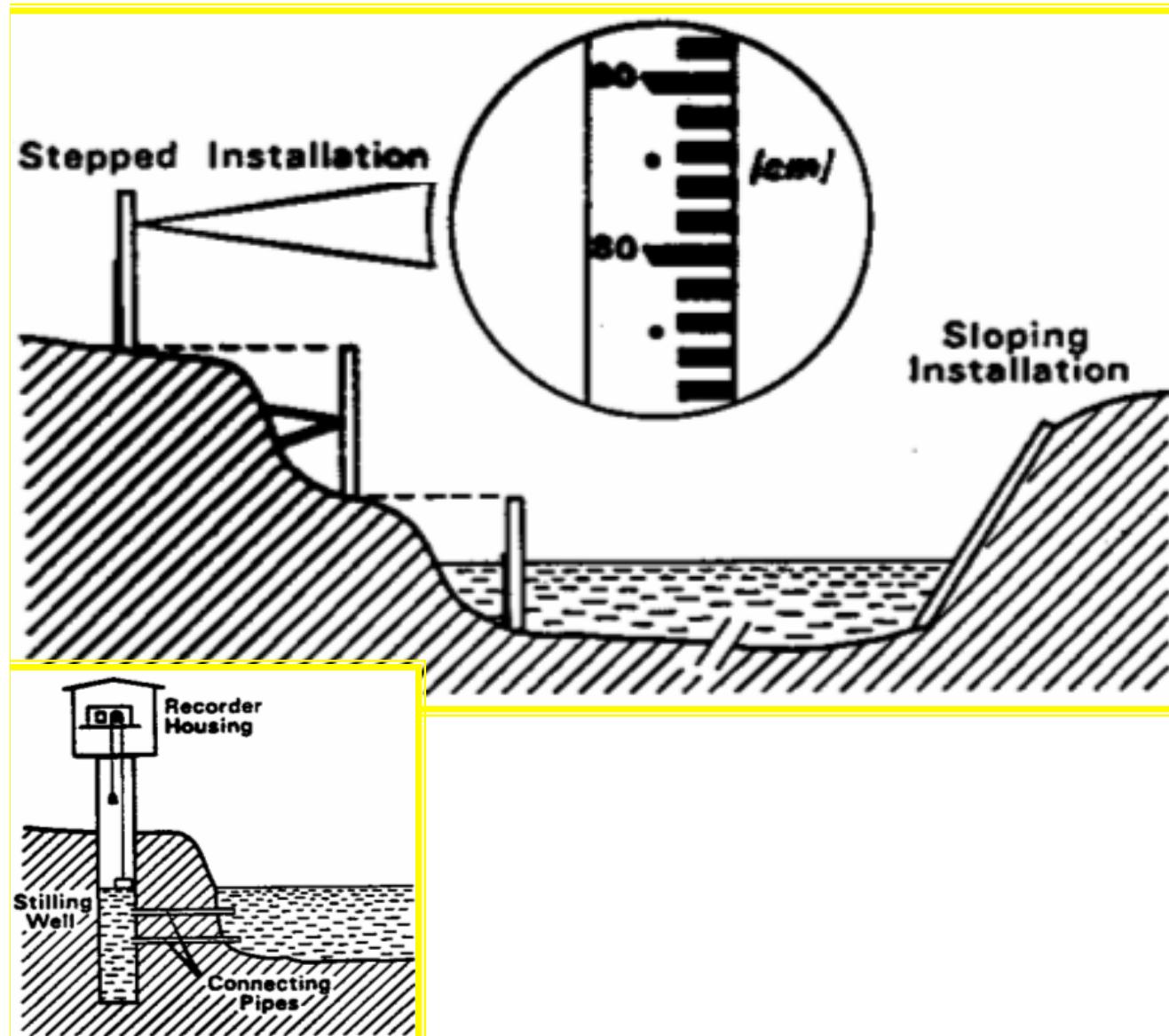
**Livello idrometrico:**

L'altezza assoluta della superficie liquida

**Scala delle portate (scala di deflusso)**

Relazione tra livello idrico in alveo e portata corrispondente

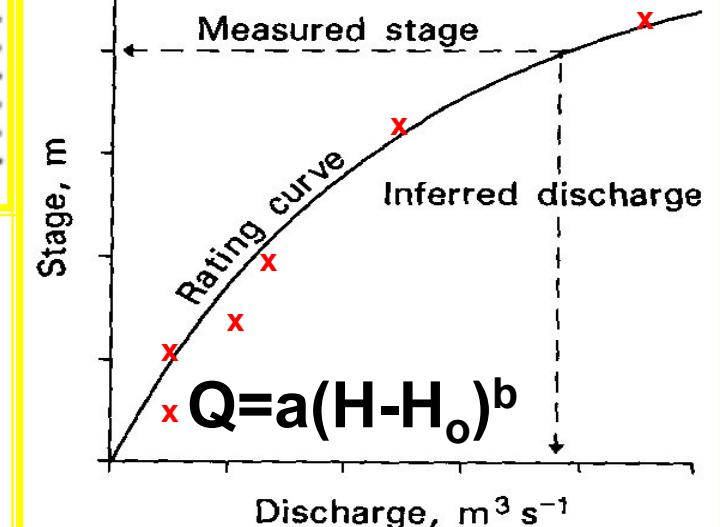
# Stazione Idrometrica (relazione livello-portata)



## Ingredienti

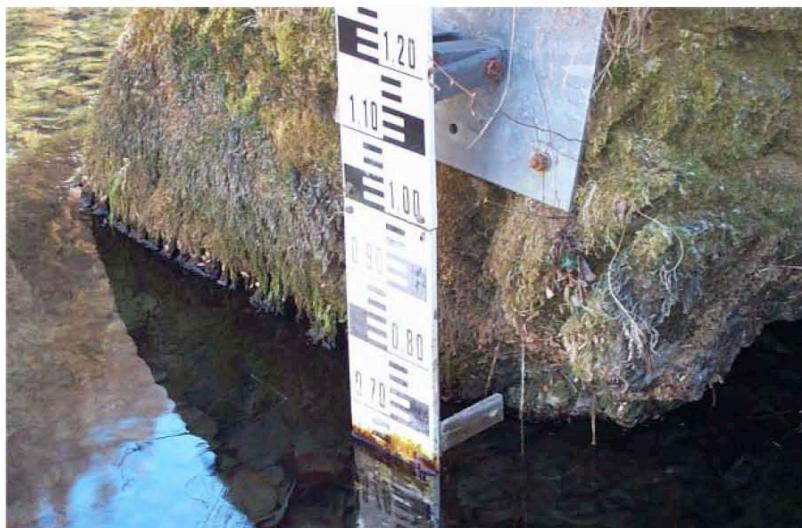
- Tronco di misura:  
Rettilineo e stabile  
Assenza di rigurgito da valle
- Asta Idrometrica
- Misura di livello idrometrico

## Scala di deflusso



# Livello idrometrico

Si misura rispetto allo zero idrometrico della stazione. Lo zero è fissato dall'asta idrometrica che costituisce il punto di riferimento per tutte le misure di livello. Per la misura in continuo del livello esistono diversi tipi di sensore.

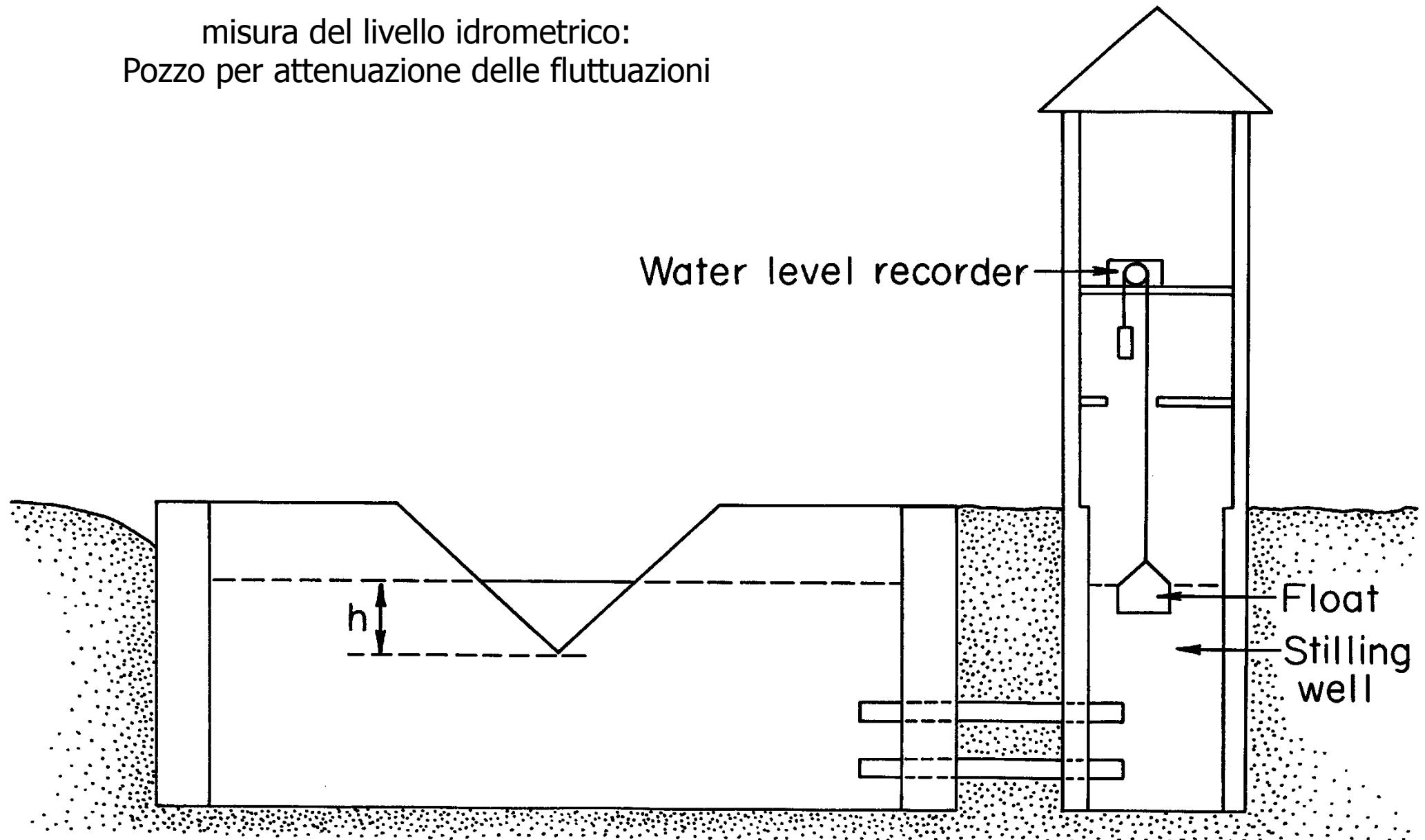


# Variazioni del livello idrometrico

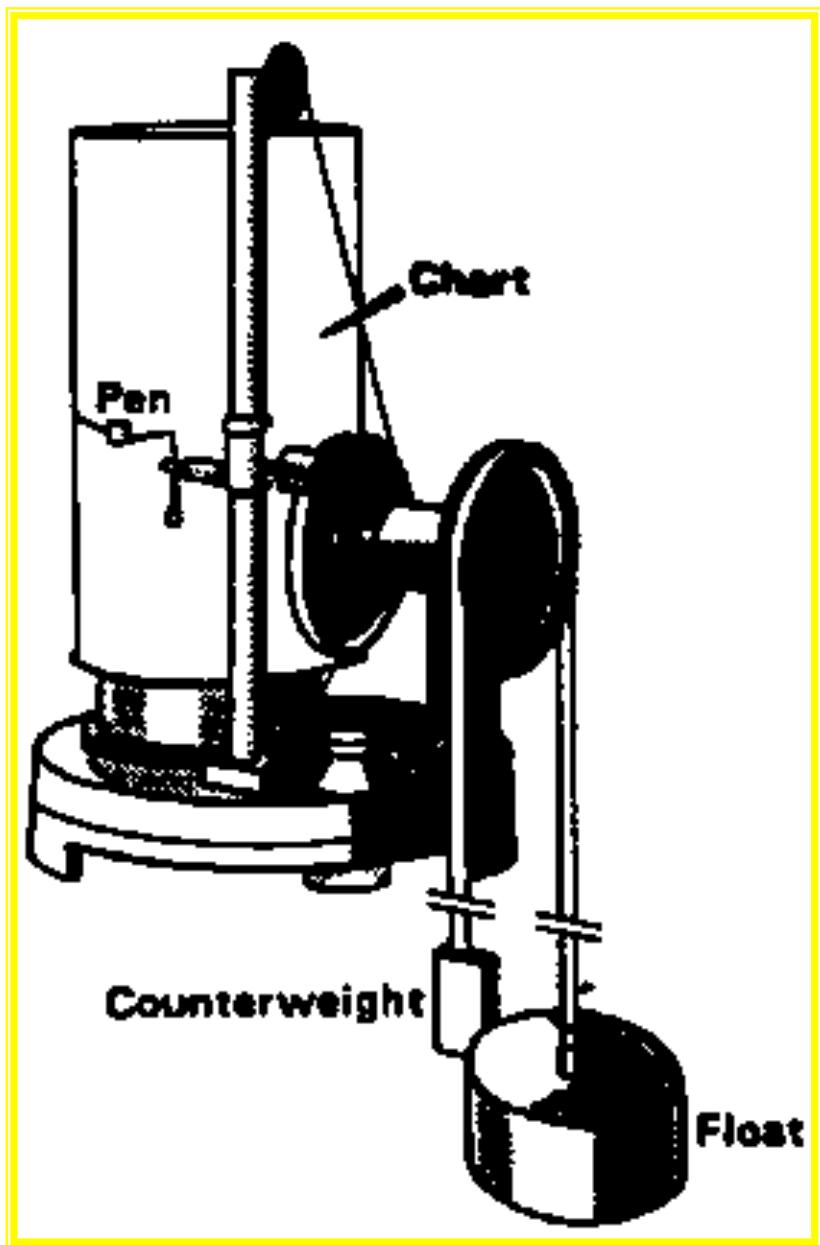
---



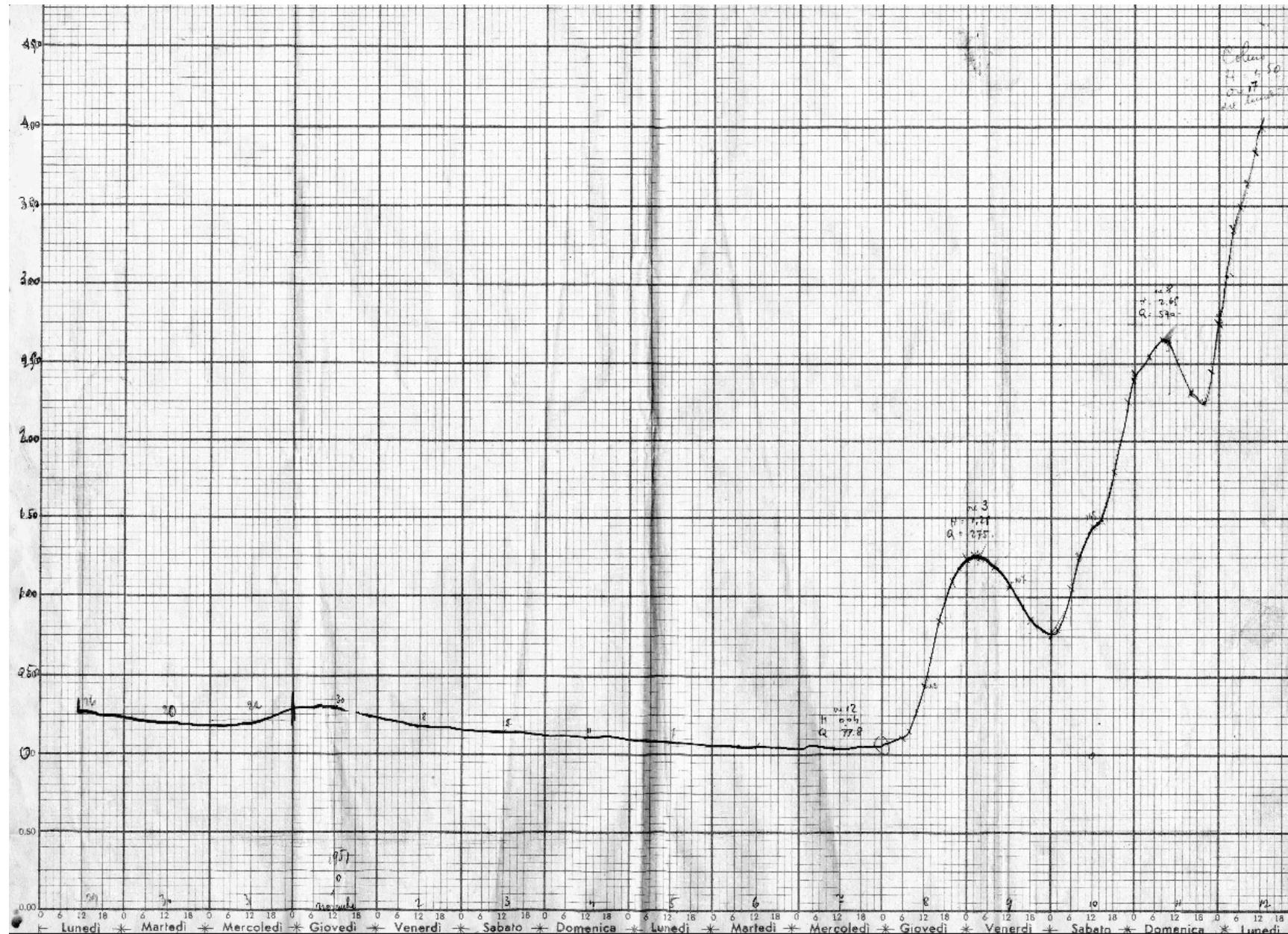
misura del livello idrometrico:  
Pozzo per attenuazione delle fluttuazioni



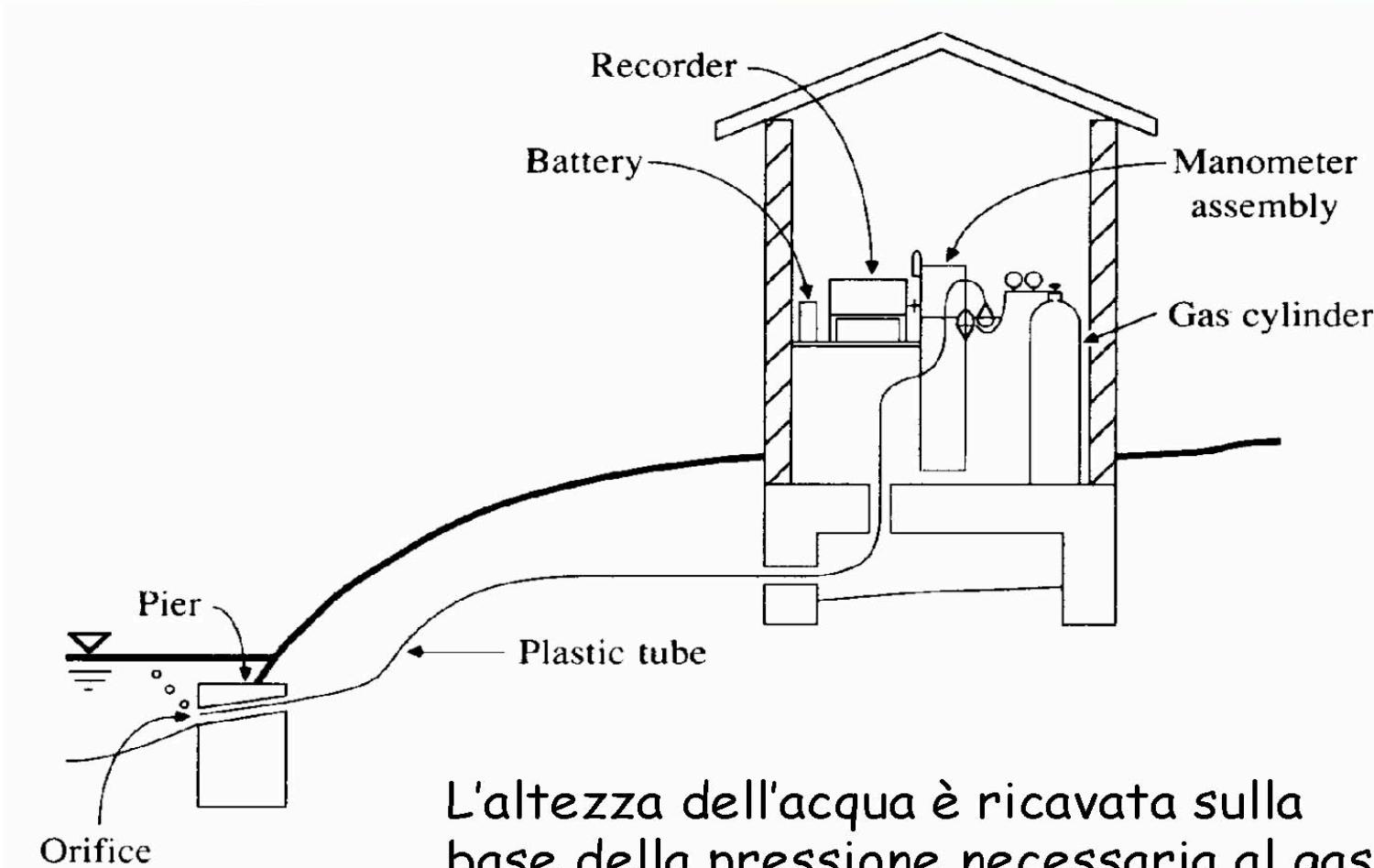
# Idrometrografo meccanico a galleggiante



# Strisce idrometriche



## Idrometri a gorgogliamento (o a bolle)



L'altezza dell'acqua è ricavata sulla base della pressione necessaria al gas per gorgogliare dall'estremità del tubo collocato sott'acqua

# Idrometrografo a bolle

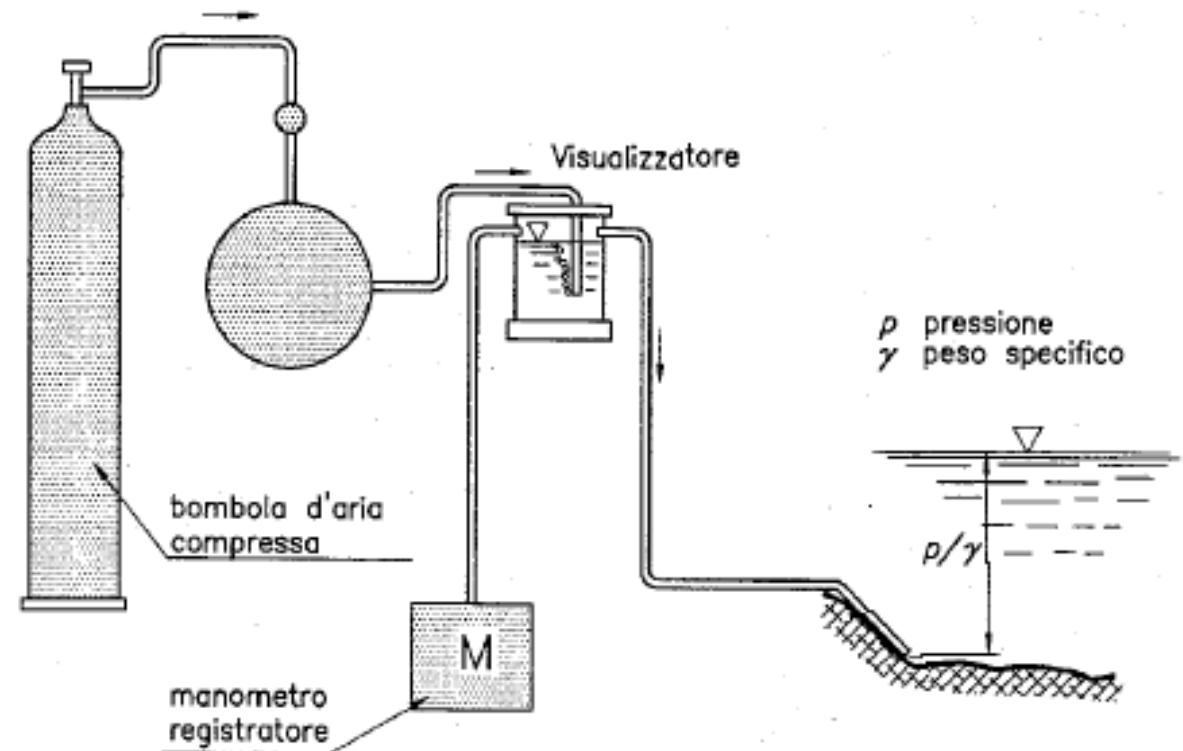
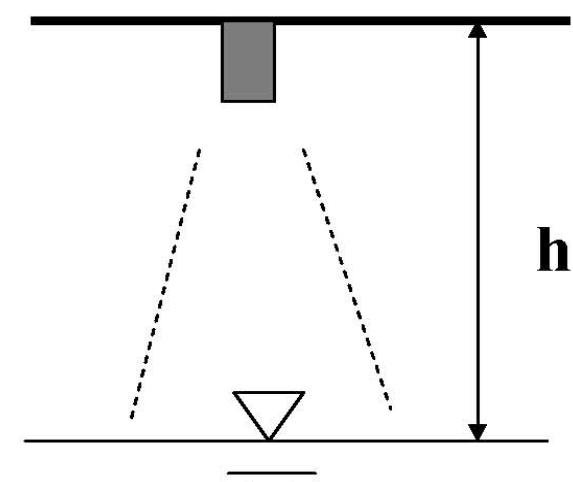


Fig. 5.2 Idrometrografo a bolle (Roche, 1963)

## Idrometri a ultrasuoni



$$V_{onda} = \frac{\text{spazio}}{\text{tempo}}$$

Sensore  
installato su  
un ponte

→  $h$

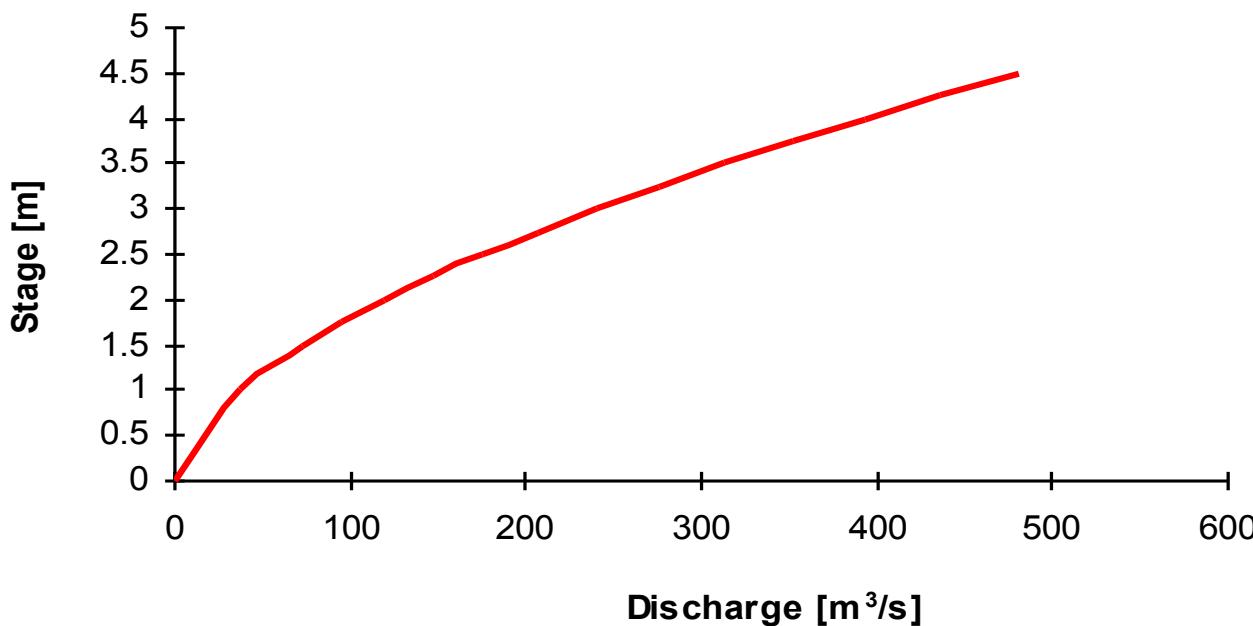


- Necessaria compensazione della temperatura
- Tenere conto dell'ampiezza del cono e della superficie di lettura

## SCALA DI DEFLUSSO

La scala di deflusso, o “scala delle portate”, esprime per una data sezione la relazione tra la portata defluente  $Q$  e il tirante idrico  $h$ :

$$Q = f(h).$$



Questa relazione viene utilizzata per determinare la portata defluente nella sezione a partire dalle misure di altezza idrometrica.

## IL DEFLUSSO (1)

Il deflusso della corrente in un corso d'acqua generalmente avviene in condizioni di moto permanente, cioè in condizioni idrodinamiche costanti nel tempo ma variabili da sezione a sezione



*Ipotesi di moto uniforme a tratti*

Gaukler – Strickler (moto uniforme):

$$Q = kR^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}} \cdot \sigma$$

dove:

- $k$  = coefficiente di scabrezza;
- $i$  = linea dei carichi totali;
- $R = \sigma/\chi$ , raggio idraulico ( $\sigma$  e  $\chi$  indicano, rispettivamente l'area della sezione idrica e il perimetro bagnato).

## IL DEFLUSSO (2)

La portata è una funzione del tirante idrico nella sezione considerata:

$$Q = \sigma c \sqrt{R i} \quad \text{(Chézy)}$$

Nel caso di alveo rettangolare molto largo:

$$R \propto h \quad \sigma \propto b h \quad \text{e}$$

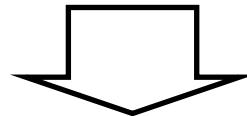


$$Q = ah^b \quad \left\{ \begin{array}{ll} b = 3/2 & \text{Chézy} \\ b = 5/3 & \text{Gaukler} \end{array} \right.$$

## ***IL DEFLUSSO (3)***

**Fonti di incertezza:**

- *Coefficiente di scabrezza;*
- *Valore dell'esponente.*



In sezioni naturali la ricostruzione della scala di deflusso effettiva è determinata a partire da misure contemporanee di portata e altezza idrometrica.

# ***RICOSTRUZIONE SCALA DI DEFLUSSO (1)***

1. Formule monomie: sono basate sul fatto che lo zero idrometrico sia effettivamente uno zero numerico .

1.A)  $Q_{\max} = ah_{\max}^{5/3}$  Esponente  $b = 5/3$ . Il deflusso avviene in condizioni di moto uniforme.

1.B)  $Q_{\max} = ah_{\max}^{3/2}$  Esponente  $b = 3/2$ . Compatibile con il passaggio attraverso le condizioni di stato critico.

1.C)  $Q_{\max} = ah_{\max}^b$  E' un modello a due parametri in cui non si fissa a priori il valore dell' esponente.

## ***RICOSTRUZIONE SCALA DI DEFLUSSO (2)***

2. Formule binomie: implicano la valutazione dello zero idrometrico.

2.A)  $Q_{\max} = a(h_{\max} - h_0)^{5/3}$  Modello a due parametri (ipotesi di moto uniforme).

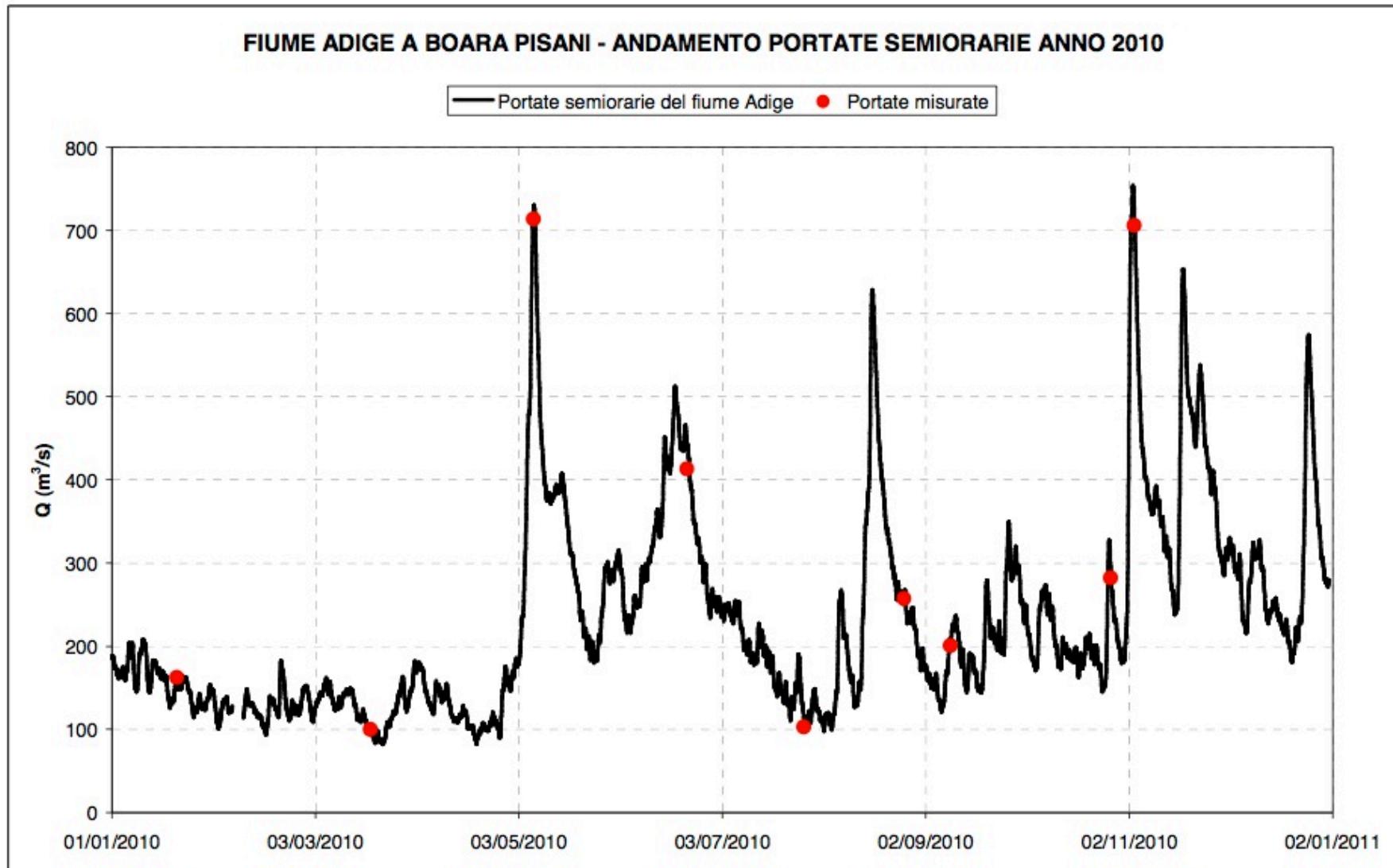
2.B)  $Q_{\max} = a(h_{\max} - h_0)^b$  Modello a tre parametri. Il valore dell' esponente non è fissato a priori (Herschy, 1985).

*La scala di deflusso è variabile di anno in anno*



*Problemi nell' individuazione dello zero idrometrico*

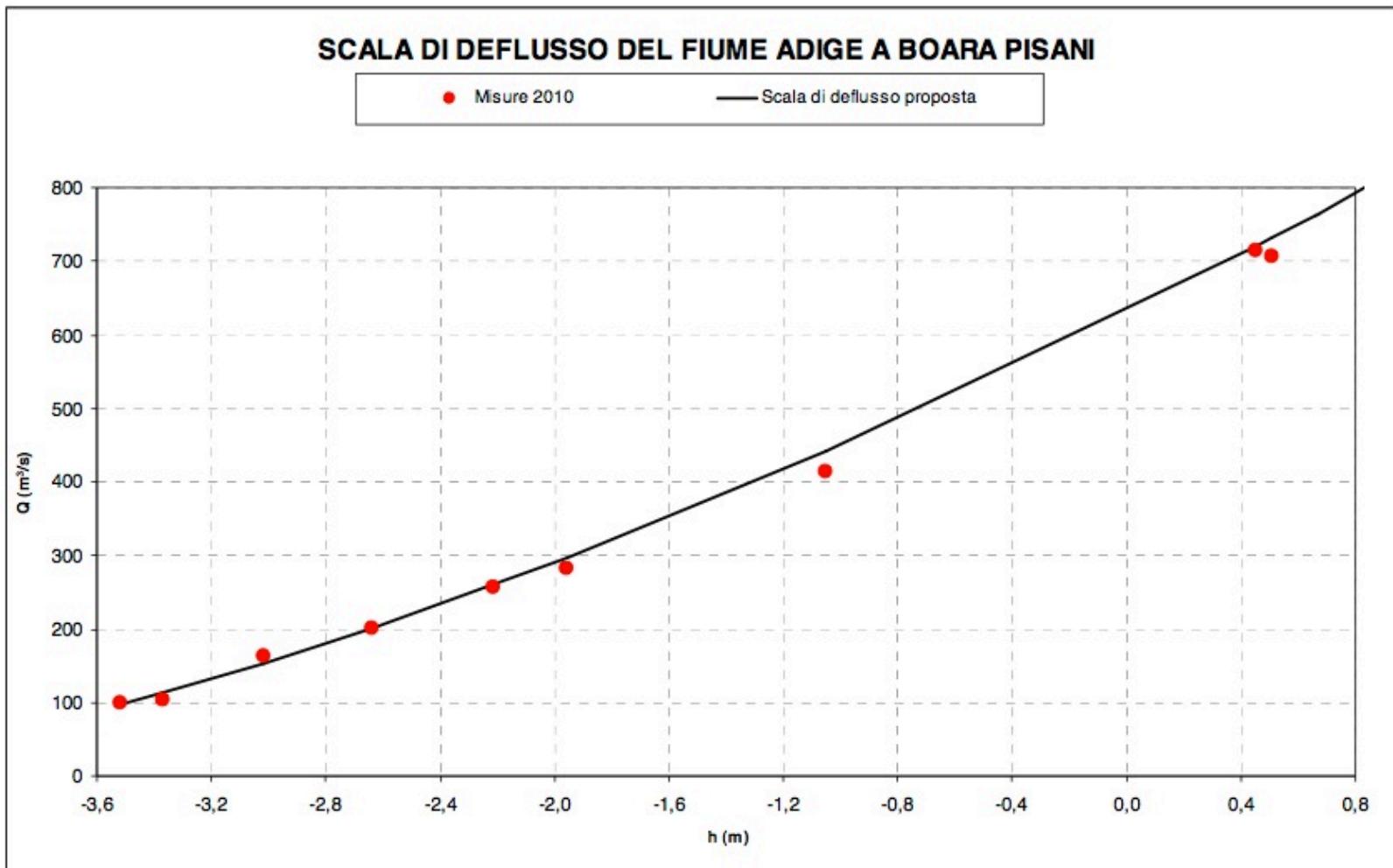
# SCALA DI DEFLUSSO ANNUALE: Le misure



**Figura 2** - Andamento delle portate semiorarie del fiume Adige a Boara Pisani, anno 2010.

Fonte: ARPA Veneto

# SCALA DI DEFLUSSO ANNUALE: *La stima*



**Figura 1** – Scala di deflusso proposta per il teleidrometro sul fiume Adige a Boara Pisani

$$Q = 59,803 * (h + 4,91) 1.4818 \quad \text{per } h < +0,66\text{m}$$

$$Q = +(0,123 * h + 1,43) * A \quad \text{per } h > +0,66\text{m}$$

Fonte: ARPA Veneto

# ANNALI IDROLOGICI SIMN

## Parte II, Sezione C degli Annali Idrologici

- Coppie di valori misurati di altezza idrometrica e portata
- Relazione analitica per valori superiori alla massima Q misurata

SCALA NUMERICA DELLE PORTATE							
Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata <i>mc/s</i>	Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata <i>mc/s</i>	Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata <i>mc/s</i>	Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata <i>mc/s</i>
-0.02	0.000	0.24	0.128	0.40	0.705	0.62	2.829
0.00	0.001	0.26	0.169	0.42	0.815	0.70	3.988
0.02	0.002	0.28	0.210	0.44	0.933	0.78	5.147
0.04	0.004	0.30	0.270	0.46	1.061	0.86	6.531
0.16	0.018	0.32	0.340	0.48	1.210	0.94	7.990
0.18	0.034	0.34	0.419	0.50	1.380	1.00	9.085
0.20	0.059	0.36	0.507	0.52	1.550		
0.22	0.087	0.38	0.595	0.54	1.783		

Per  $H > 1$   $Q = 15.87 (11 - 0.31)^{3/2}$

## ANNALI IDROLOGICI (ARPA Veneto)

ELEMENTI CARATTERISTICI PER L'ANNO 2010													
	Anno	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.
Portata massima ( $m^3/s$ )	717.8	204.7	160.0	153.1	175.7	710.9	487.0	250.8	588.9	317.7	291.4	717.8	552.8
Portata media ( $m^3/s$ )	230.5	158.2	129.4	124.3	128.3	326.9	333.6	181.9	254.2	203.0	207.2	423.4	291.7
Portata minima ( $m^3/s$ )	85.7	120.8	102.6	85.7	88.5	169.8	226.4	111.0	105.8	127.6	152.7	247.6	189.9

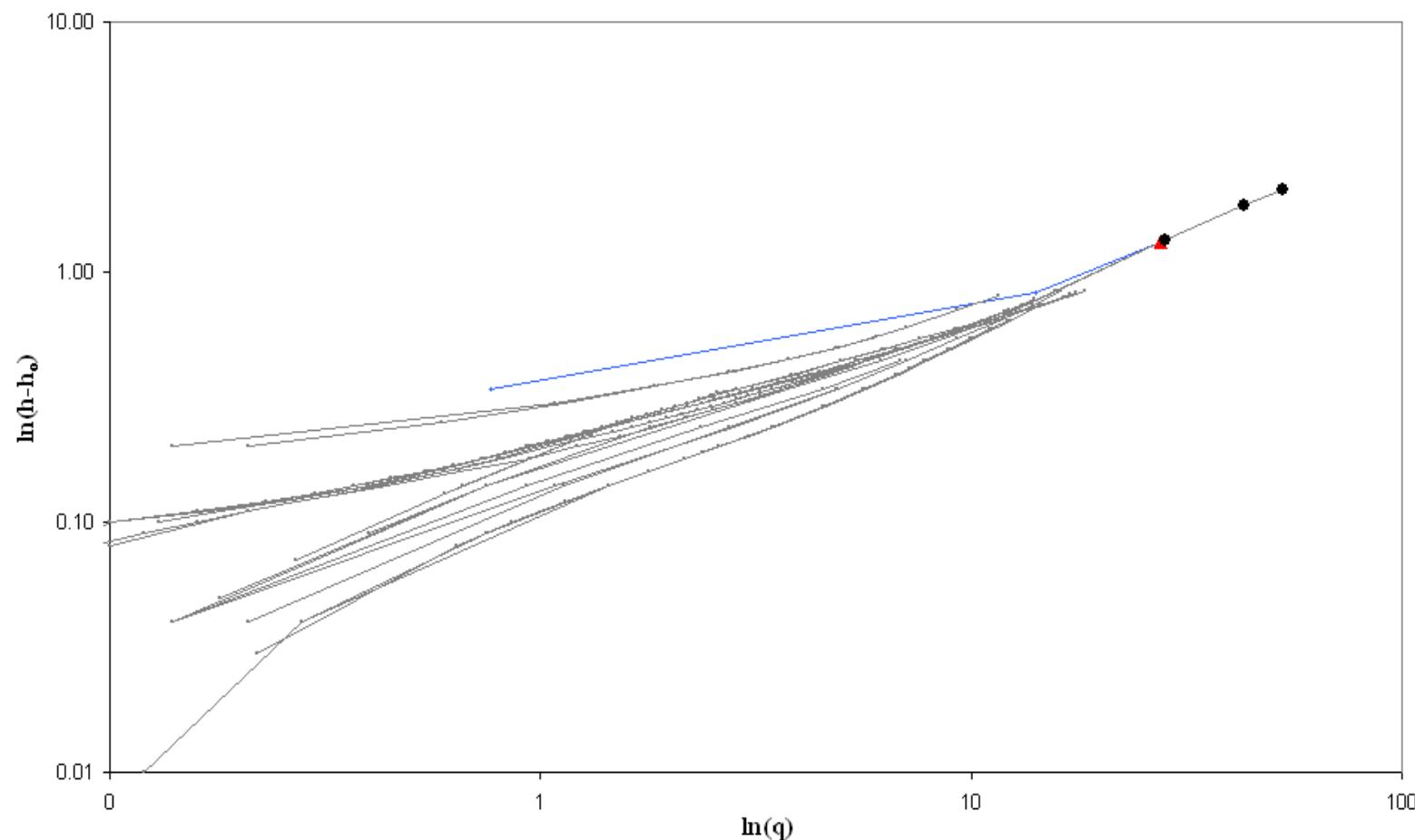
  

DURATA PORTATE			SCALA NUMERICA DELLE PORTATE					
Giorni	2010	Periodo precedente	Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata $m^3/s$	Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata $m^3/s$	Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata $m^3/s$
	$m^3/s$	$m^3/s$						
10	530.0	541.5	-3.50	99.5	-1.00	451.1	0.60	749.9
30	421.4	389.0	-3.00	156.0	-0.50	539.1	0.80	793.0
60	331.9	301.0	-2.50	220.2	0.00	632.1	1.00	838.7
91	288.4	250.2	-2.00	291.2	0.20	670.6	1.15	874.0
135	240.0	202.4	-1.50	368.3	0.40	709.9	1.30	910.1
182	194.7	168.0						
274	142.4	122.0						
355	103.1	78.8						

(1) I valori esposti sia per l'anno 2010 che per il periodo sono quelli delle portate effettivamente defluite alla sezione di misura; essi sono alterati dall'azione dei serbatoi esistenti a monte e prescindono dalle cospicue portate, non valutate esattamente, derivate per uso irriguo.

## VARIABILITA' INTERANNUALE

Riportando le scale di deflusso disponibili anni per anno nel piano  $\ln(q) - \ln(h-h_0)$  si ottiene un andamento a fuso.



## **STIMA DELLA SCALA DI DEFLUSSO**

- Ci sono pochi valori misurati     $\Rightarrow$    Incertezza di stima
- La determinazione del valore di portata mediante la scala di deflusso risulta tanto più affidabile quanto più tale valore rientra nel campo delle misure sperimentali effettuate
- Negli altri casi la stima delle portate viene effettuata tramite estrapolazione dai valori alti della curva
- Qualora si considerino le portate di piena è possibile assumere una scala di deflusso unica per la sezione in esame (Scala di deflusso di piena)

## **Coppie $h$ - $q$ al colmo di piena**

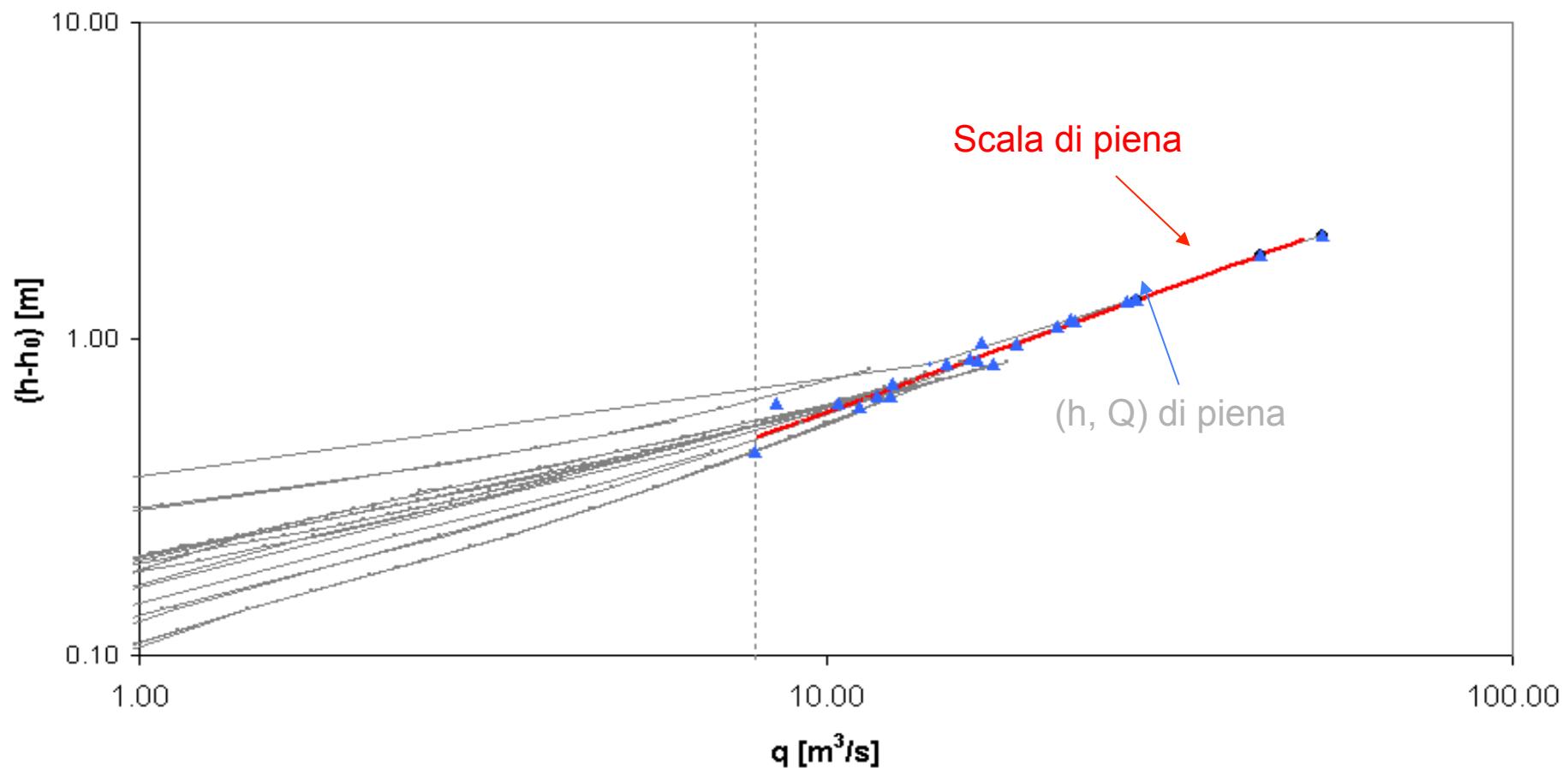
- Record breaking (coppie  $h$  –  $q$  relative al massimo evento di piena mai registrato fino a quel momento)
- Da osservazioni dirette del Servizio Idrografico (strisce idrometrografiche non pubblicate)
- Sez. F degli Annali:  $Q_{max}$  –  $h$  (pochi eventi)

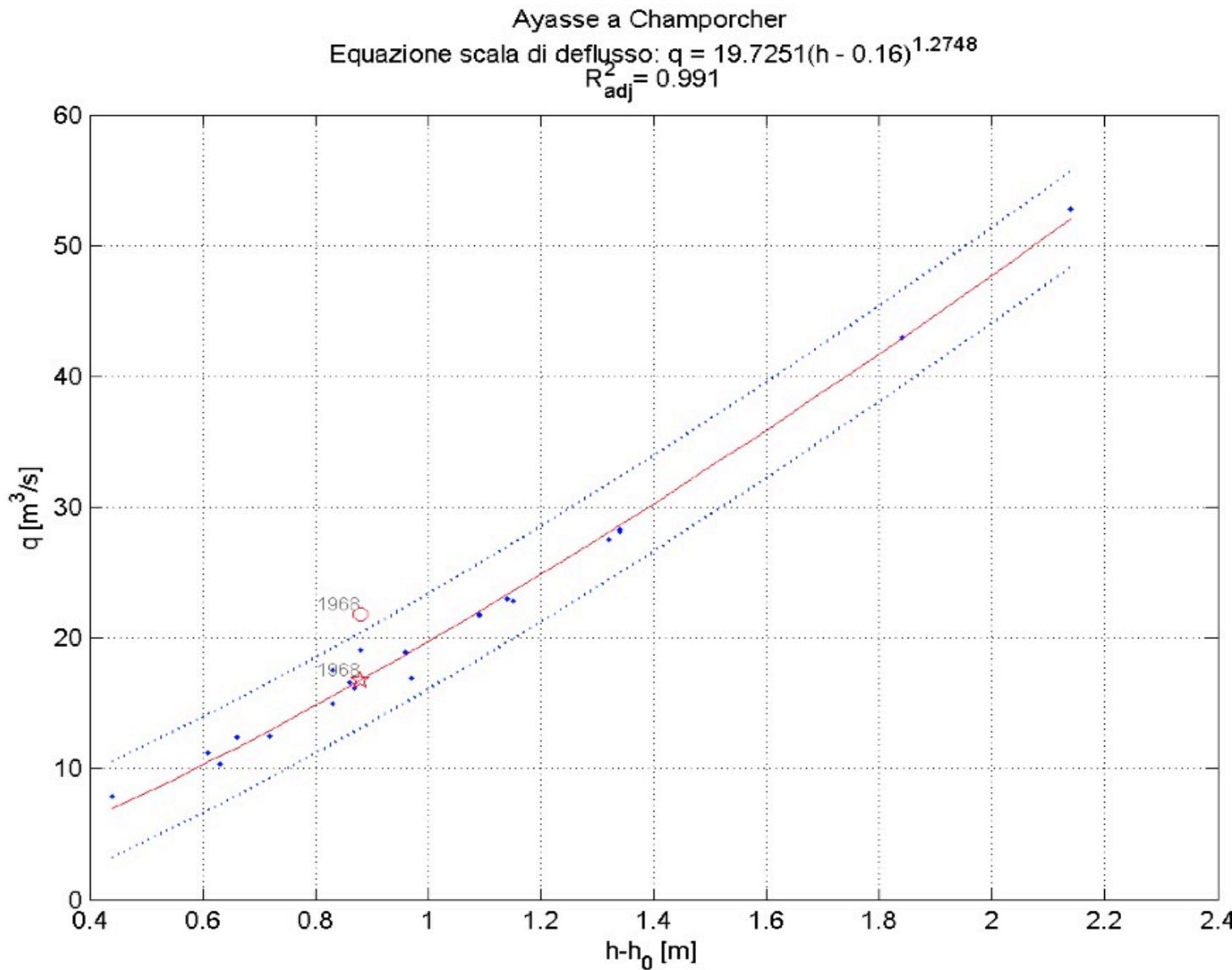
### **TANARO a FARIGLIANO**

**CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE:** Bacino di dominio  $km^2$  1522 (permeabile per il 38%). Altitudini: massima 2651 m s.m. (Punta Marguareis); media 938 m s.m. Distanza dalla confluenza con il Po  $km$  134. Inizio osservazioni gennaio 1942; inizio misure gennaio 1942. Quota zero idrometrico 235 circa m s.m. Altezze idrometriche:  $q_{max}$  6.30 (8 nov. 1962);  $q_{min}$  0.94 (4 set. 1961). Portate: max  $m^3/s$  1600 (8 nov. 1962);  $q_{min}$   $m^3/s$  1.90 (4 set. 1961); media  $m^3/s$  39.3 (1942; 1944-1962).

### AYASSE A CHAMPORCHER

( $Q_c, \text{min} = 7.9 \text{ m}^3/\text{s}$ )





### Scala di deflusso di piena con eliminazione di valore anomalo

# Metodi per la misura delle portate

