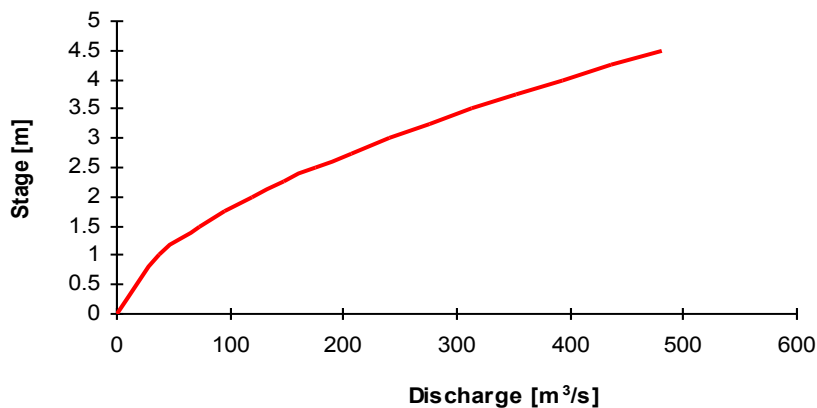


SCALA DI DEFLUSSO

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

Chèzy (moto uniforme):

$$Q = C\sigma\sqrt{Ri}.$$

Gaukler – Strickler (moto uniforme):

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

dove:

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

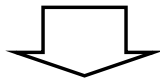
IL DEFLUSSO (2)

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

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

Nel caso di alveo rettangolare molto largo:

$$R \propto h \qquad \sigma \propto bh \qquad e$$



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

IL DEFLUSSO (3)

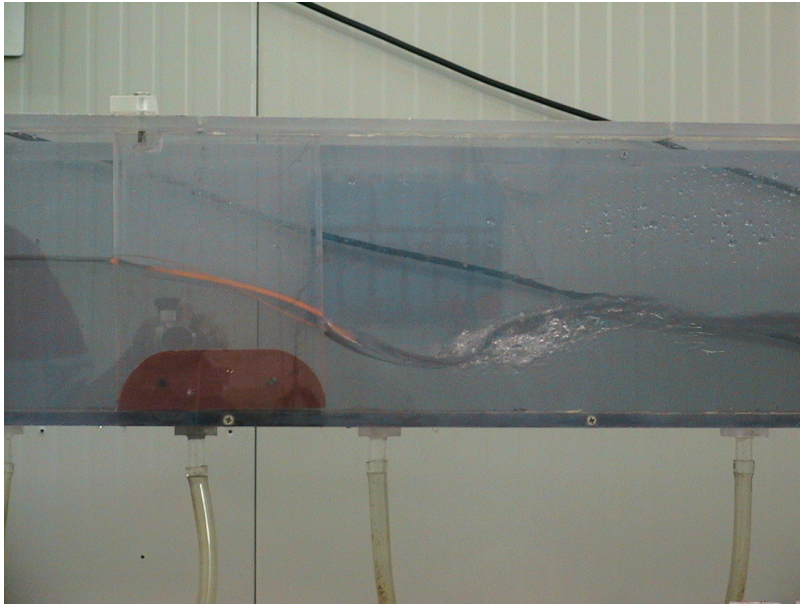
Fonti di incertezza:

- *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.

Condizione di stato critico



Da: <http://www.diiar.polimi.it/fballio/bancodidattico/pagine/PELOLIBERO.HTM>

Nelle sezioni rettangolari:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}}$$

Ne risulta:

$$Q = h_c^{3/2} B \sqrt{g}$$

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

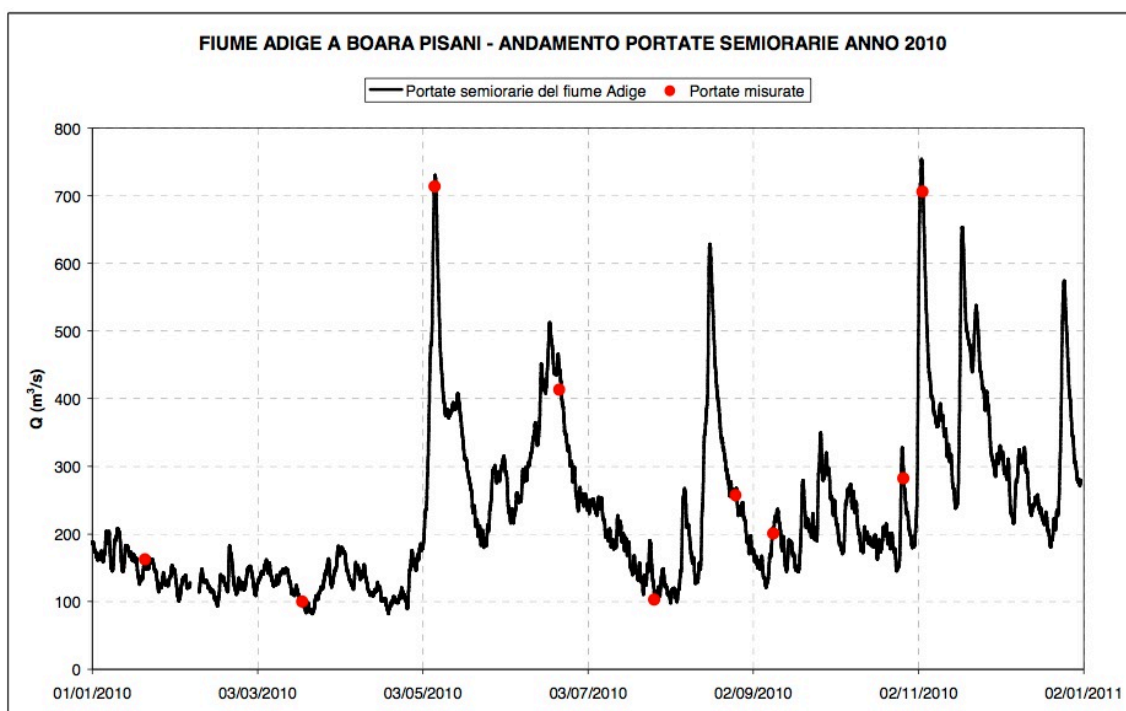


Figura 2 - Andamento delle portate semiorarie del fiume Adige a Boara Pisani, anno 2010.

Fonte: ARPA Veneto

SCALA DI DEFLUSSO ANNUALE: La stima

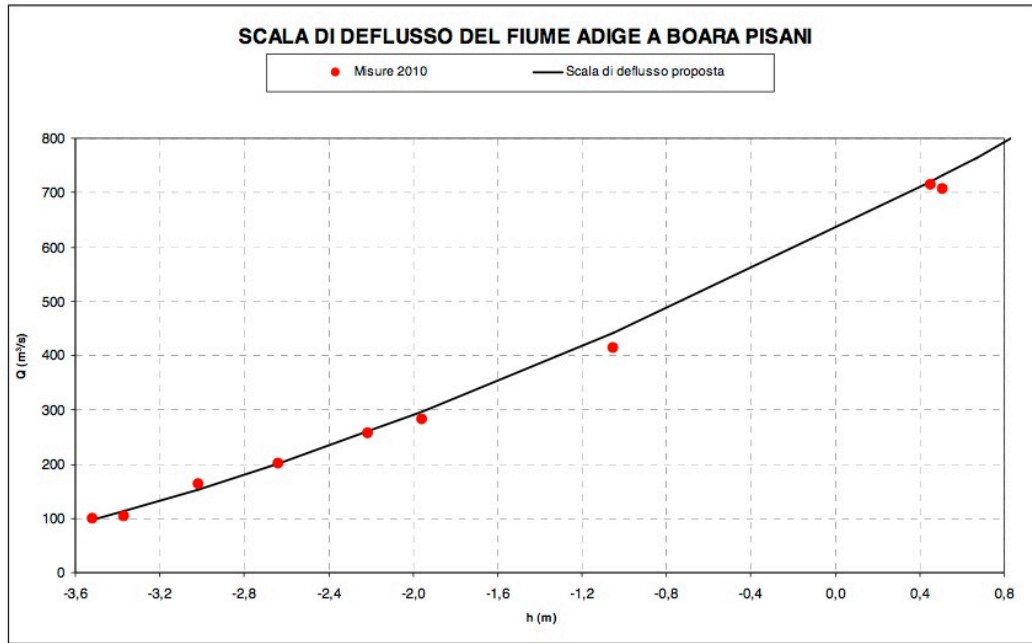


Figura 1 – Scala di deflusso proposta per il teleidrometro sul fiume Adige a Boara Pisani

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

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

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 m	Portata mc/s	Altezza idrometrica m	Portata mc/s	Altezza idrometrica m	Portata mc/s	Altezza idrometrica m	Portata mc/s
-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 $H > 1$ $Q = 15.87 (H - 0.31)^{3/2}$

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

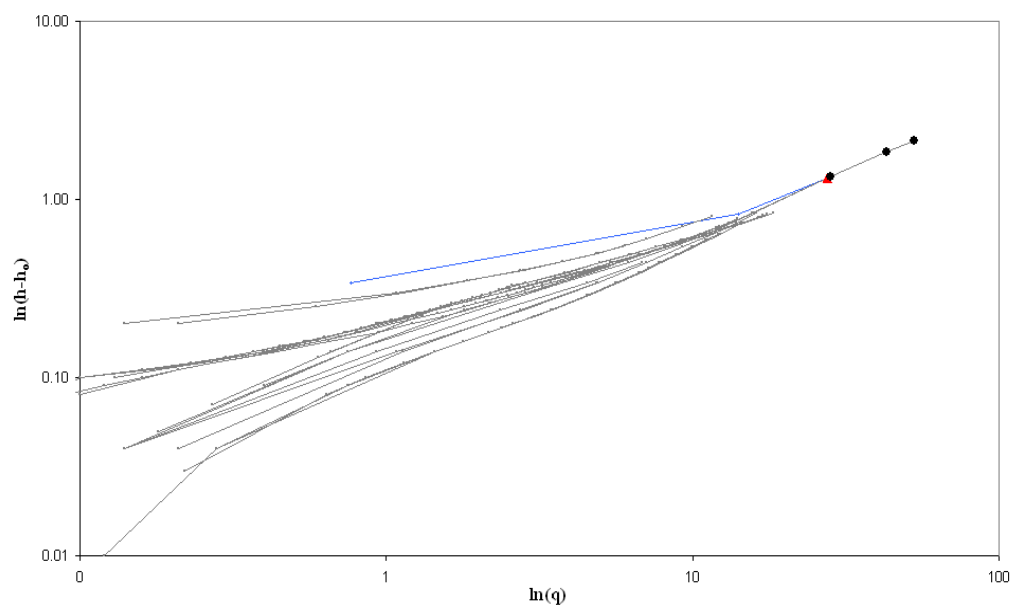
DURATA PORTATE		
Giorni	2010	Periodo precedente
	m^3/s	m^3/s
10	530.0	541.5
30	421.4	389.0
60	331.9	301.0
91	288.4	250.2
135	240.0	202.4
182	194.7	168.0
274	142.4	122.0
355	103.1	78.8

SCALA NUMERICA DELLE PORTATE					
Altezza idrometrica	Portata	Altezza idrometrica	Portata	Altezza idrometrica	Portata
m	m^3/s	m	m^3/s	m	m^3/s
-3.50	99.5	-1.00	451.1	0.60	749.9
-3.00	156.0	-0.50	539.1	0.80	793.0
-2.50	220.2	0.00	632.1	1.00	838.7
-2.00	291.2	0.20	670.6	1.15	874.0
-1.50	368.3	0.40	709.9	1.30	910.1

(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

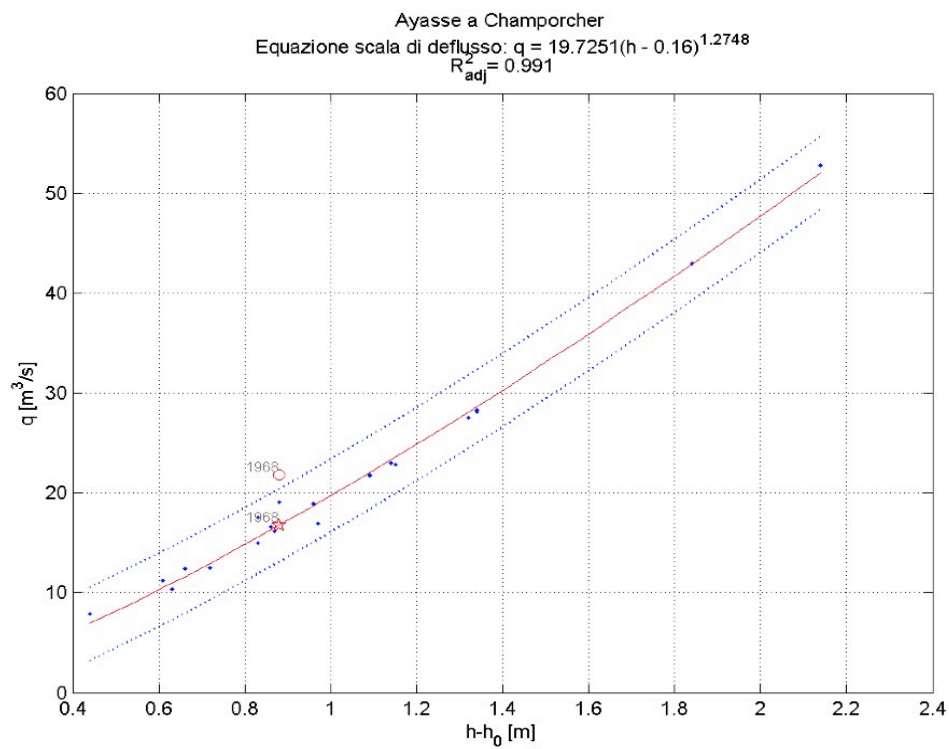
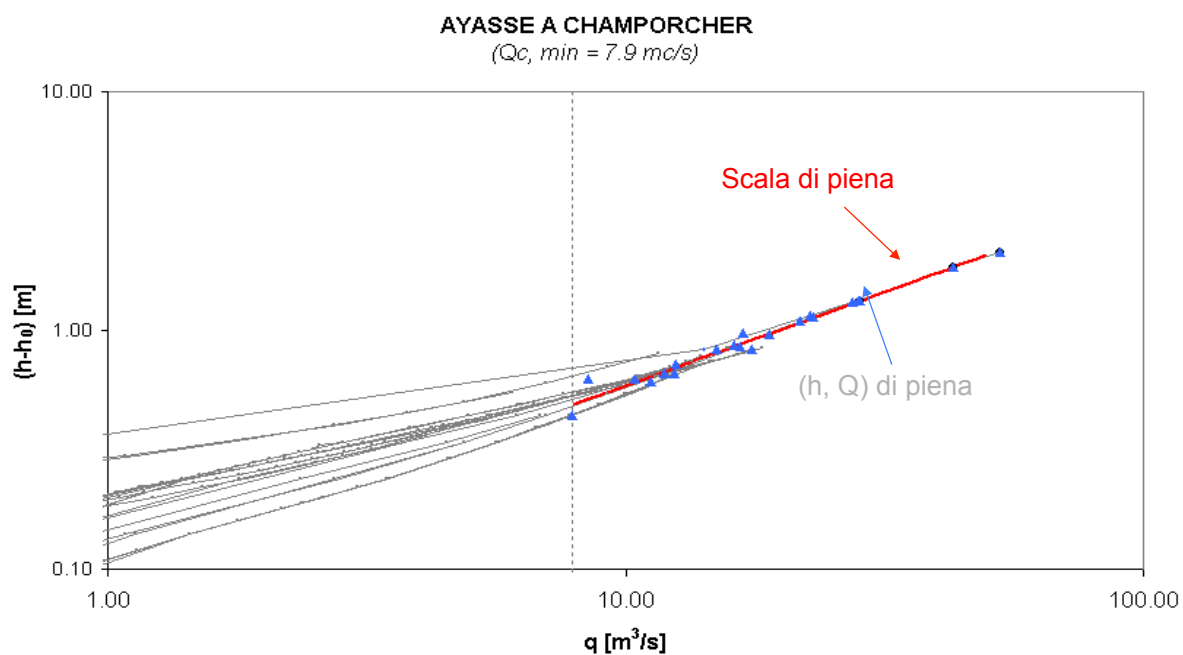
- Ci sono pochi valori misurati \Rightarrow Incertezza di stima
- La determinazione del valore di portata mediante la scala di deflusso risulta tanto più affidabile quanto più tale valore rientra nel campo delle misure sperimentali effettuate
- Negli altri casi la stima delle portate viene effettuata 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

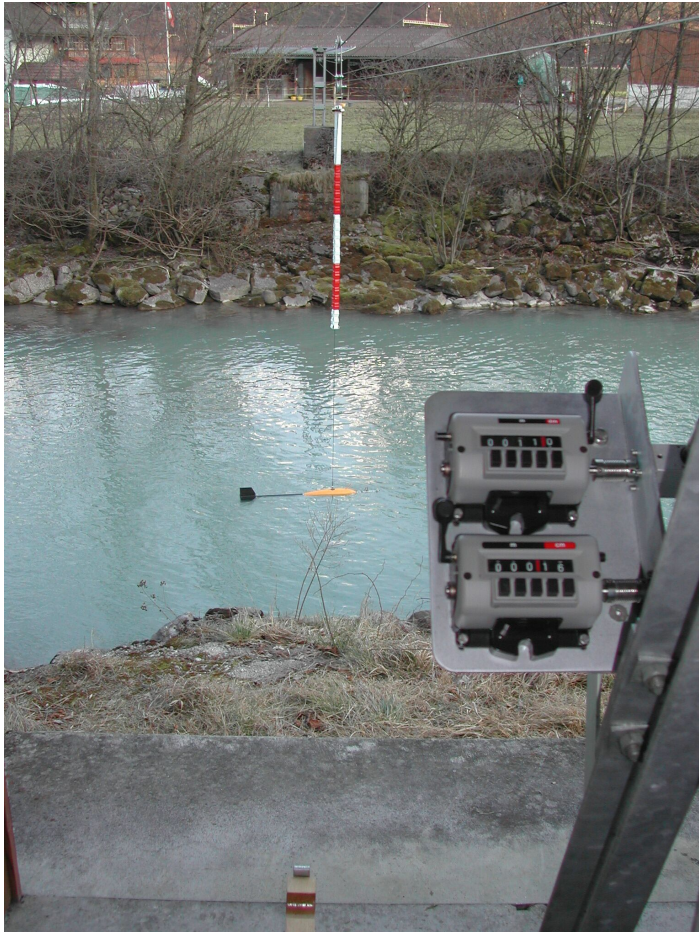
- Record breaking (coppie $h - q$ relative al massimo evento di piena mai registrato fino a quel momento)
- Da osservazioni dirette del Servizio Idrografico (strisce idrometrografiche non pubblicate)
- Sez. F degli Annali: $Q_{\max} - h$ (pochi eventi)

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 939 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: max 6.30 (8 nov. 1962); min m 0.94 (4 set. 1961). Portate: max m^3/s 1600 (8 nov. 1962); min m^3/s 1.90 (4 set. 1961); media m^3/s 39.3 (1942; 1944-1962).



Scala di deflusso di piena con eliminazione di valore anomalo



Misure di portata

- Occasionali
- Sistematiche

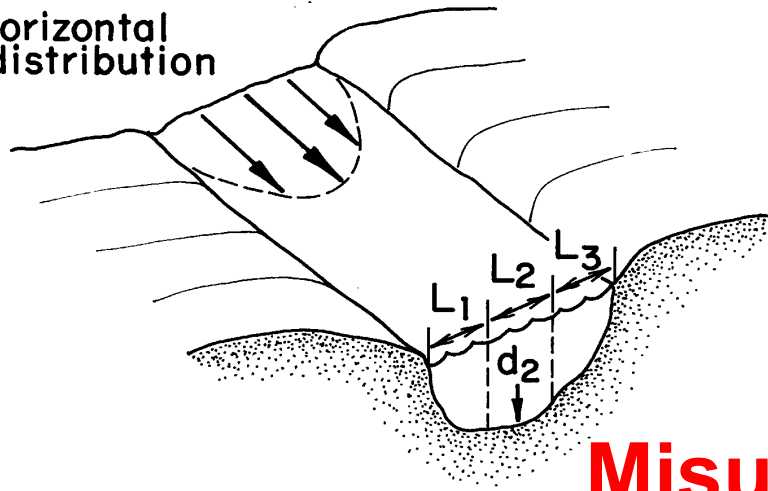
Misure occasionali di portata

- Velocità x area
- Diluizione



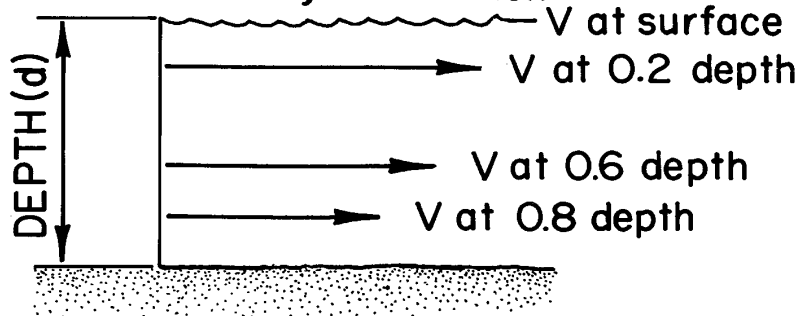
Misura correntometrica a guado

Normal horizontal
velocity distribution



Misure di velocità

Vertical velocity distribution



Variabilità della velocità nella sezione

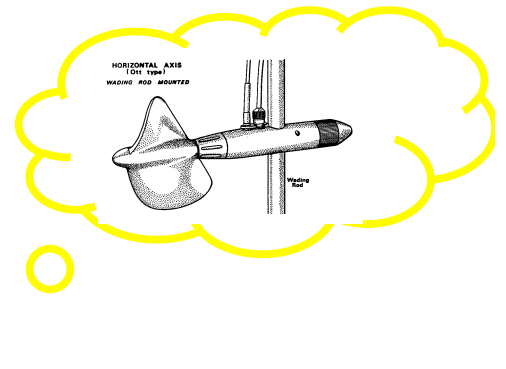
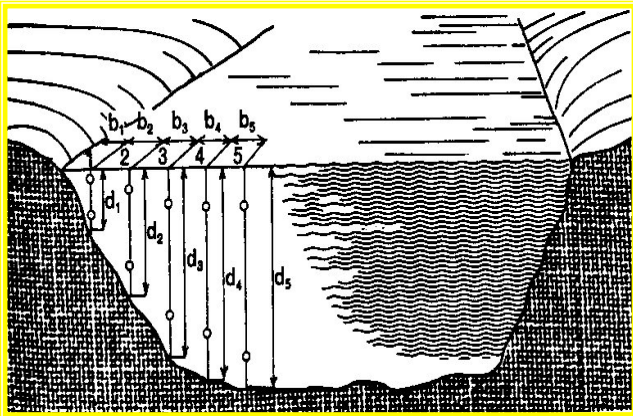
Isotachie: linee che congiungono i punti della sezione aventi uguale velocità



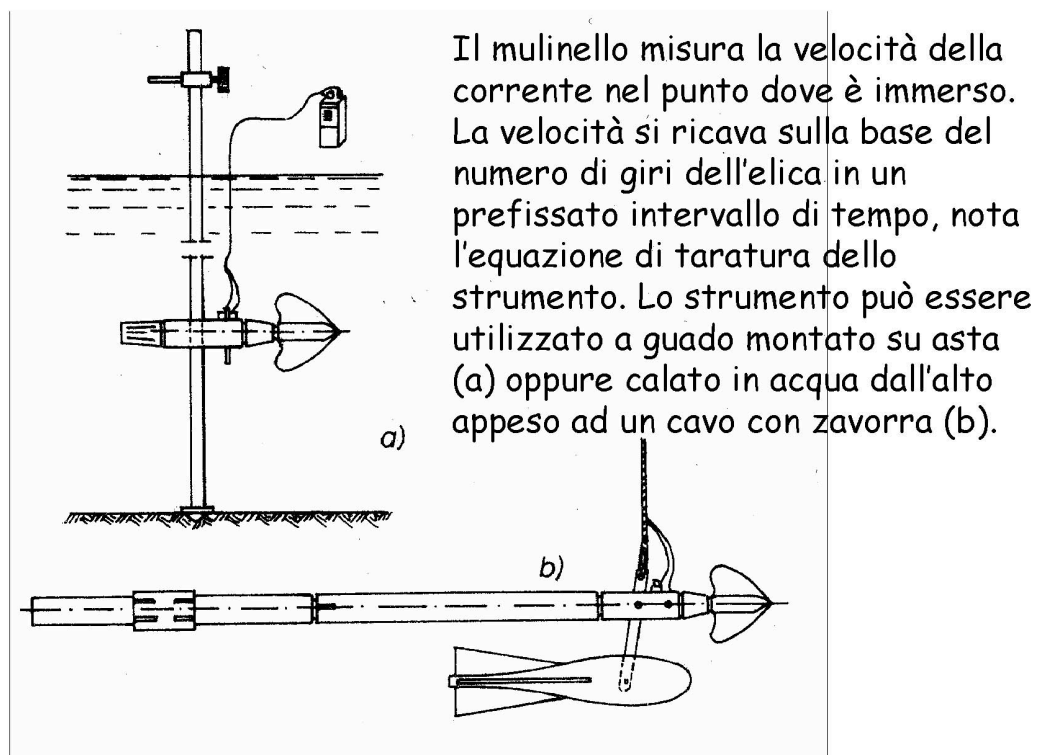
La velocità è inferiore in prossimità del fondo e delle pareti ed è massima al centro della sezione poco sotto il pelo libero

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

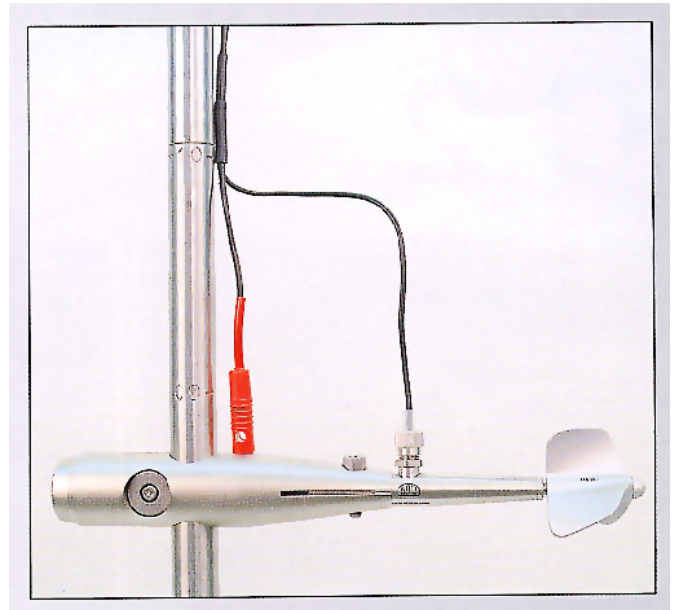
Griglia di misura delle velocità



Mulinello idrometrico



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.

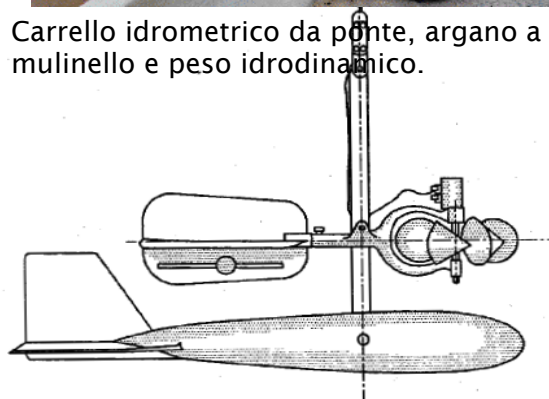


Fig. 5.8 Pesce con mulinello ad asse verticale (Linsley *et al.*, 1949)

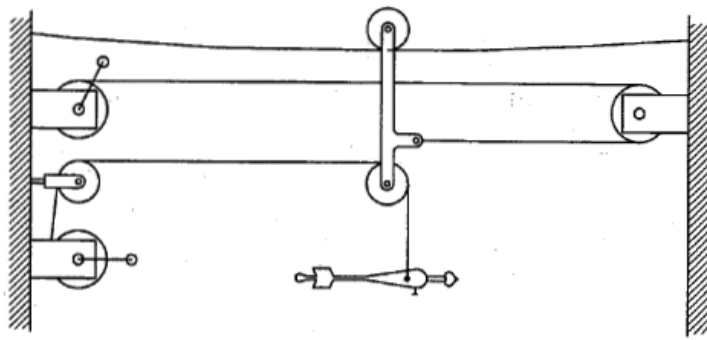
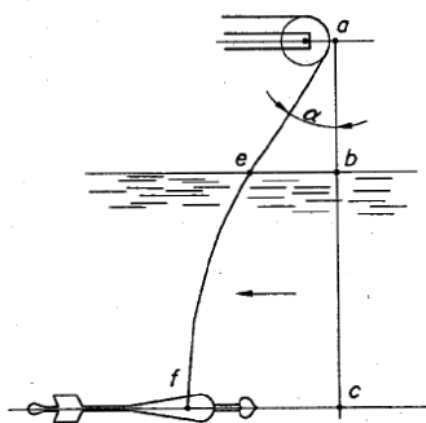
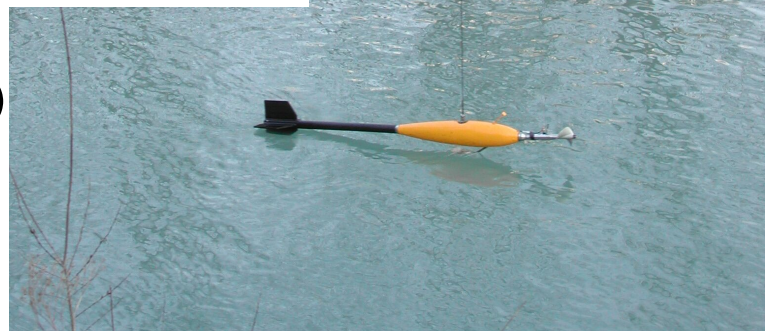
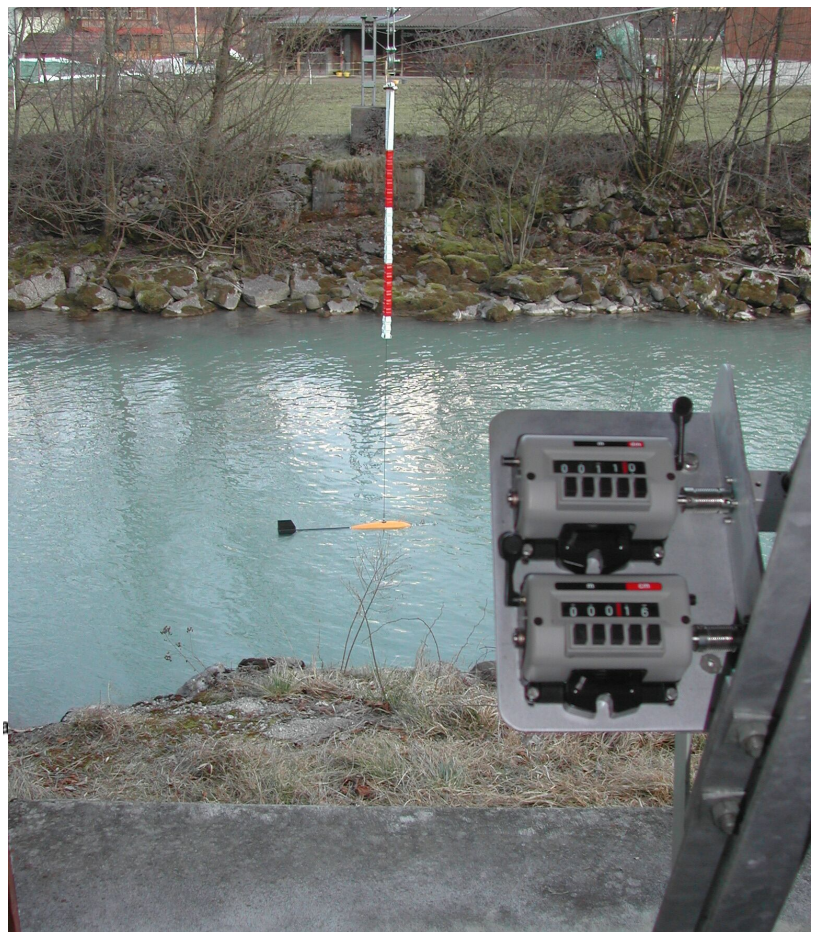


Fig. 5.12 Teleferica per le misure con il mulinello (Roche, 1963)

Misure da teleferica (mulinello zavorrato)



Azione di trascinamento del cavo
esercitata dalla corrente



Misura approssimata di velocità

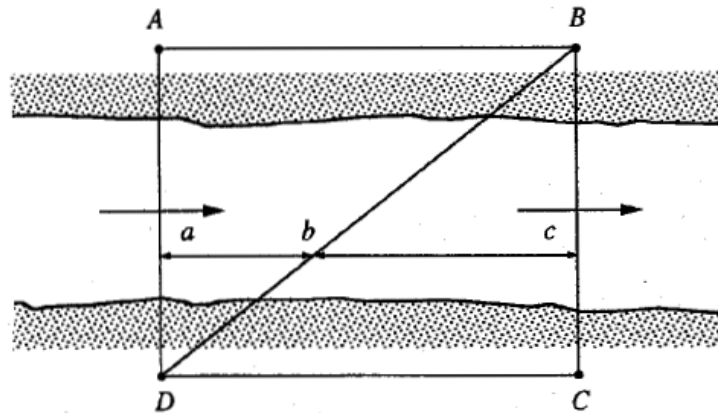
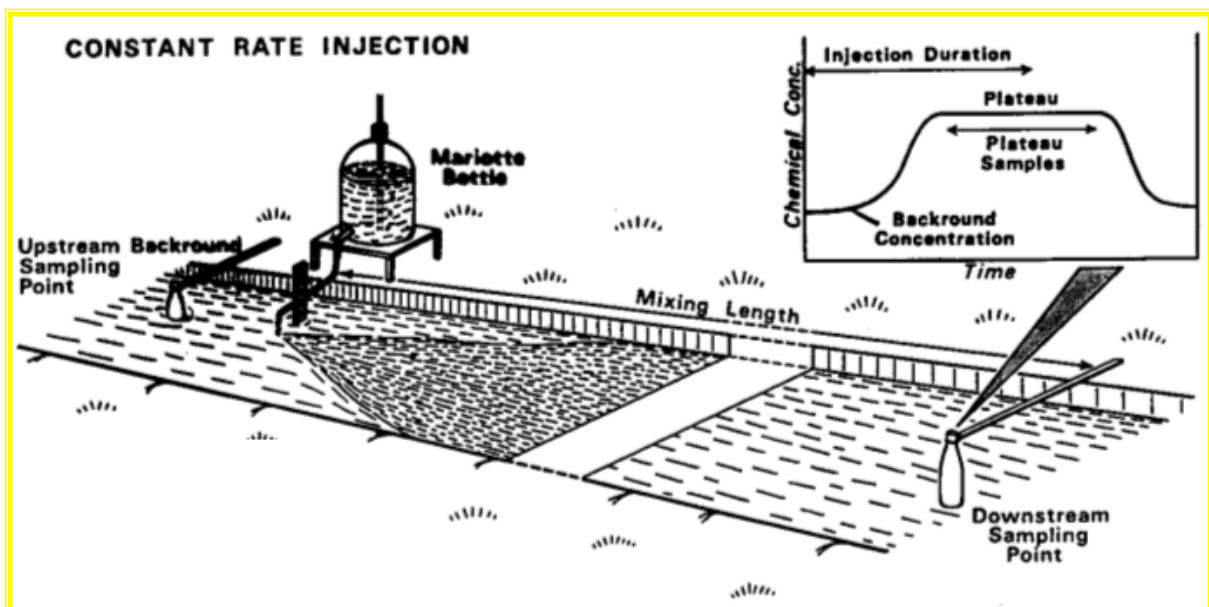


Fig. 5.20 Misura di velocità superficiale con il metodo del galleggiante

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_i = Concentrazione del soluto nel tracciante

C_d = Concentrazione del soluto nella corrente

C_b = 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_d = Concentrazione del soluto nella corrente

C_b = Concentrazione iniziale del soluto nella corrente

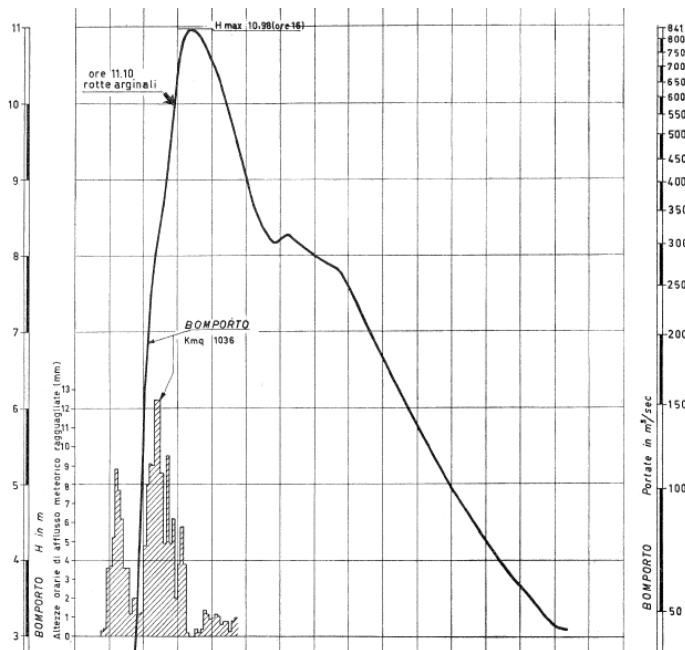
T = durata dell'onda di tracciante rilevata

PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?

- Verifica di bilanci idrologici (medi) pluriennali

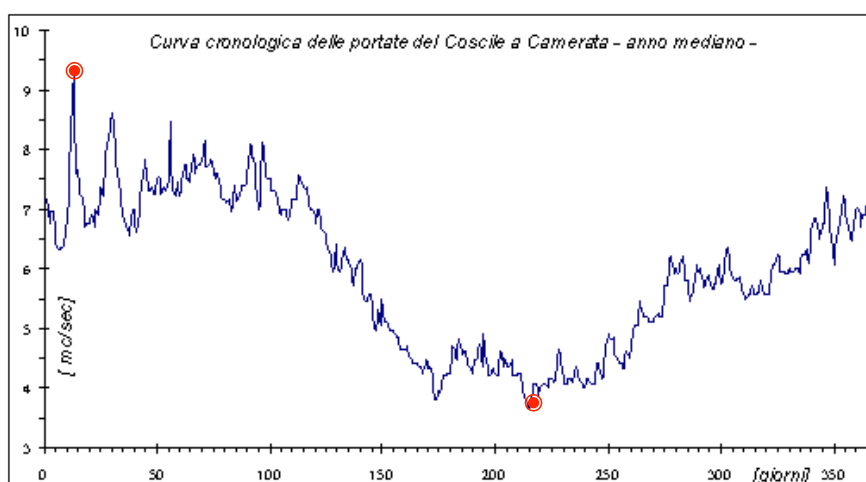
NOME	AREA	H MEDIA	H MAX	H MIN	# OSS	AFF	DEF	AFF-DEF
Ayasse_Champorcher	40.6	2364	3119	1372	24	1179	1258	-79
GrandEyvia_Cretaz	178.6	2583	3902	1476	9	950	1109	-159
Lys_Gressoney	90.5	2637	4427	1398	23	1191	1354	-163
Rutor_Promise	45.6	2554	3414	1508	31	1314	1648	-334
Savara_EauRousse	83.9	2694	3916	1650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

PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?



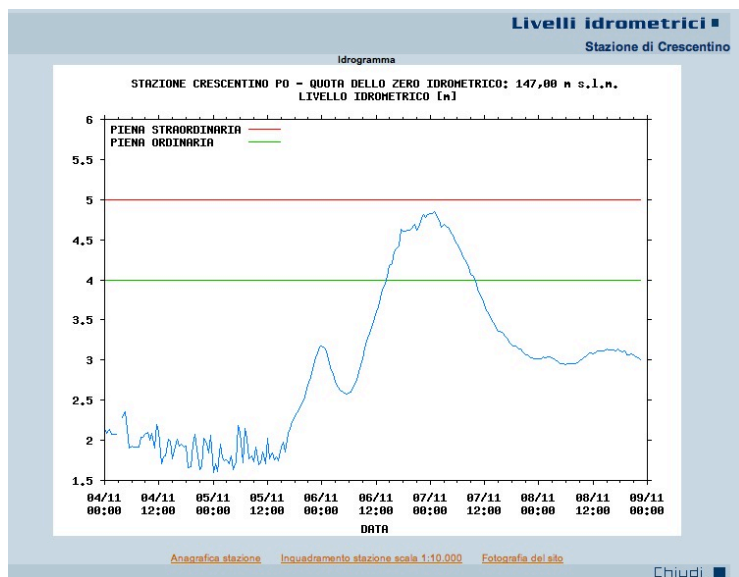
**Verifica di bilanci idrologici
di piena**

PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?



**Costruzione di serie storiche
di estremi massimi e minimi annui**

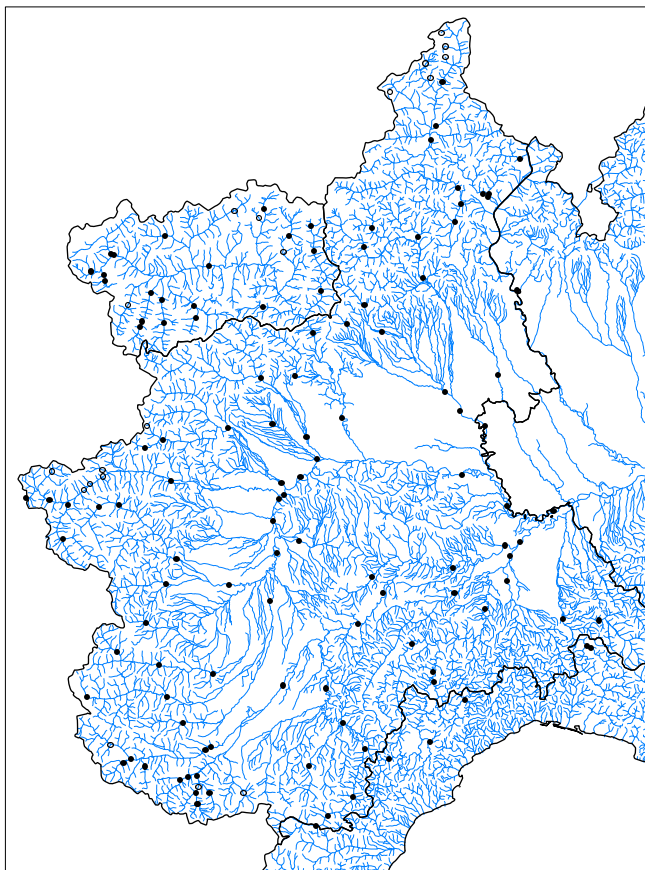
PERCHÉ ACQUISIRE MISURE SISTEMATICHE DI PORTATA?



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

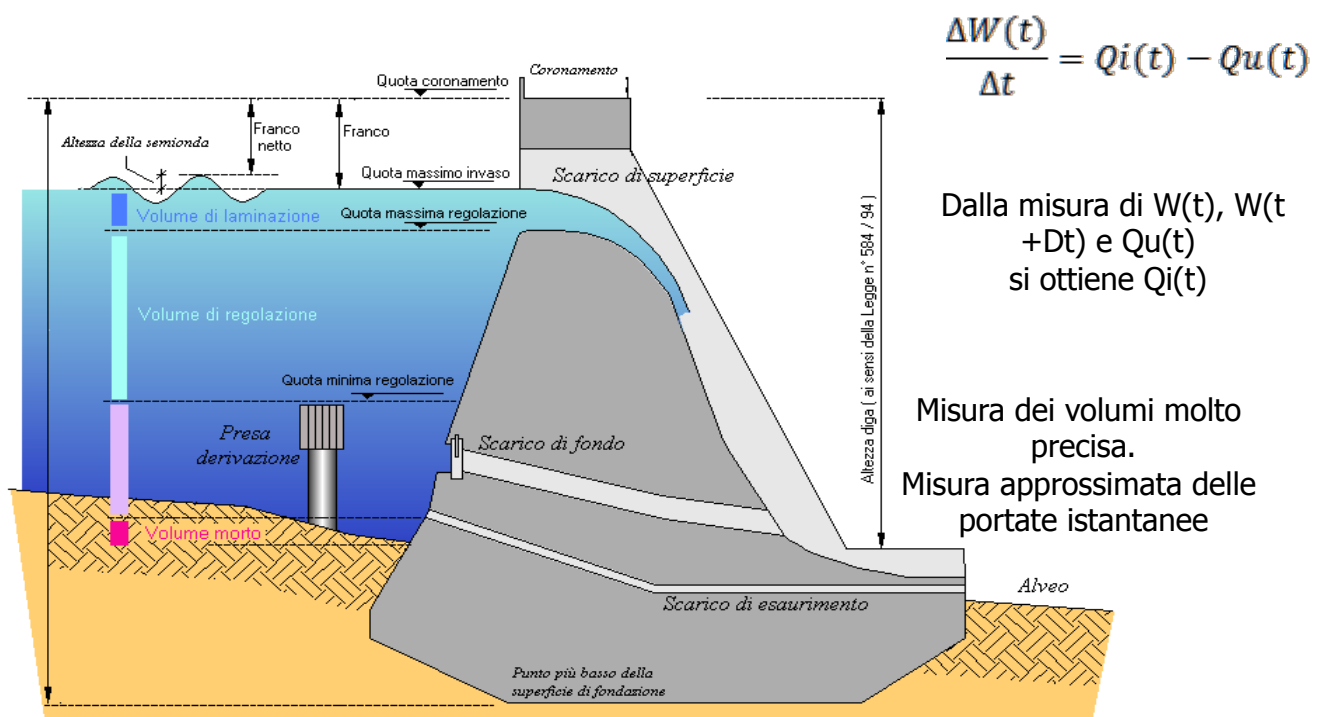


Misure sistematiche per casi particolari

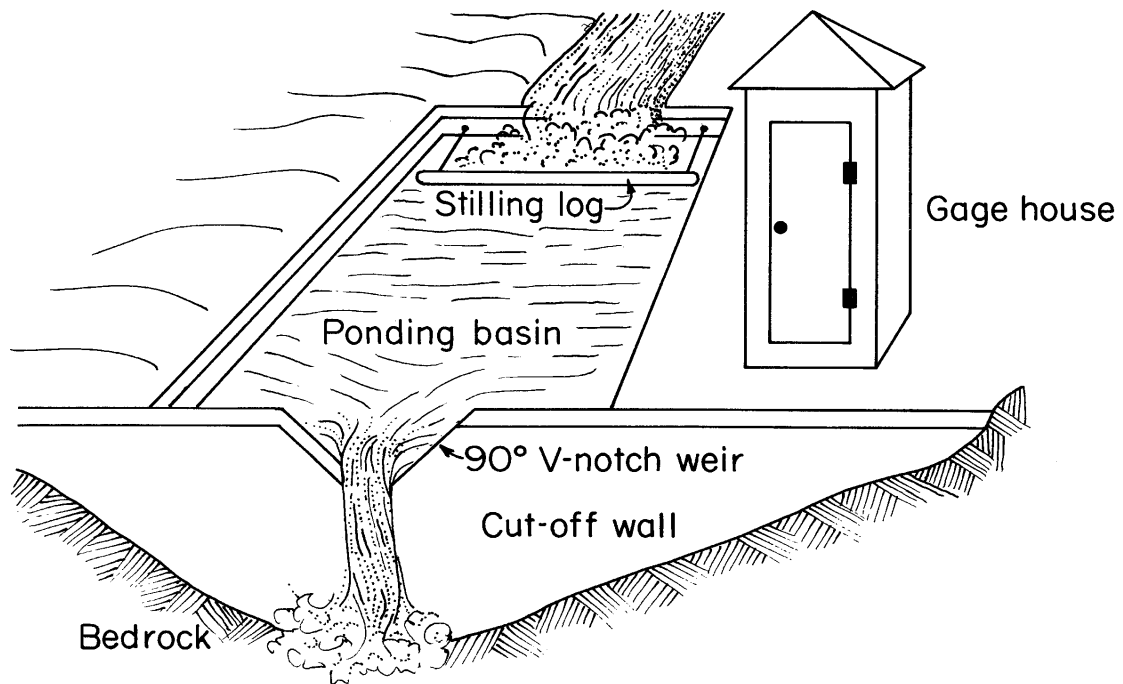
(piccole portate, intervallo temporale limitato)

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

Metodo volumetrico (bilancio dei volumi)

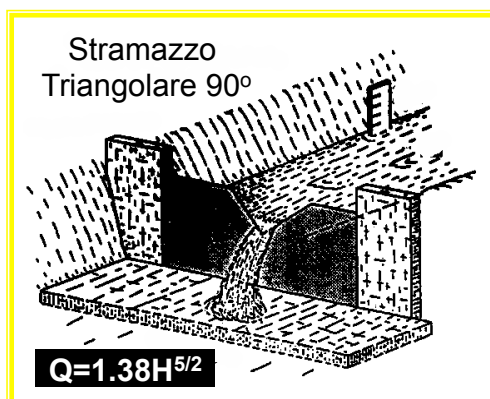


Metodi Strutturali (livello → portata con relazione analitica)



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 sito per la calibrazione
- Meno problemi di innalzamento di livello e sedimentazione a monte
- Non adatto per misure in piena



Stato critico per restringimento

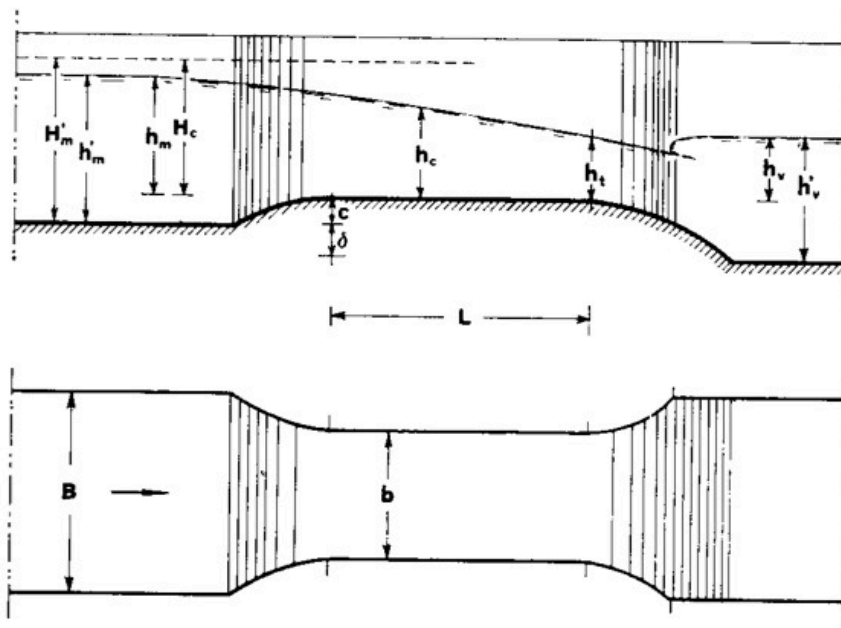
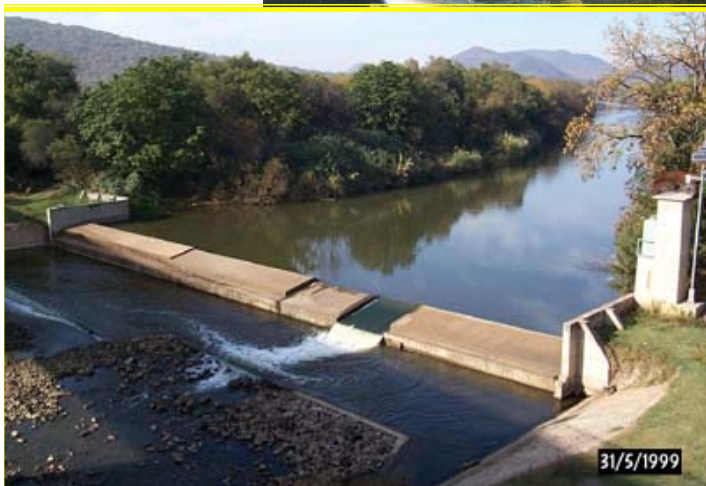
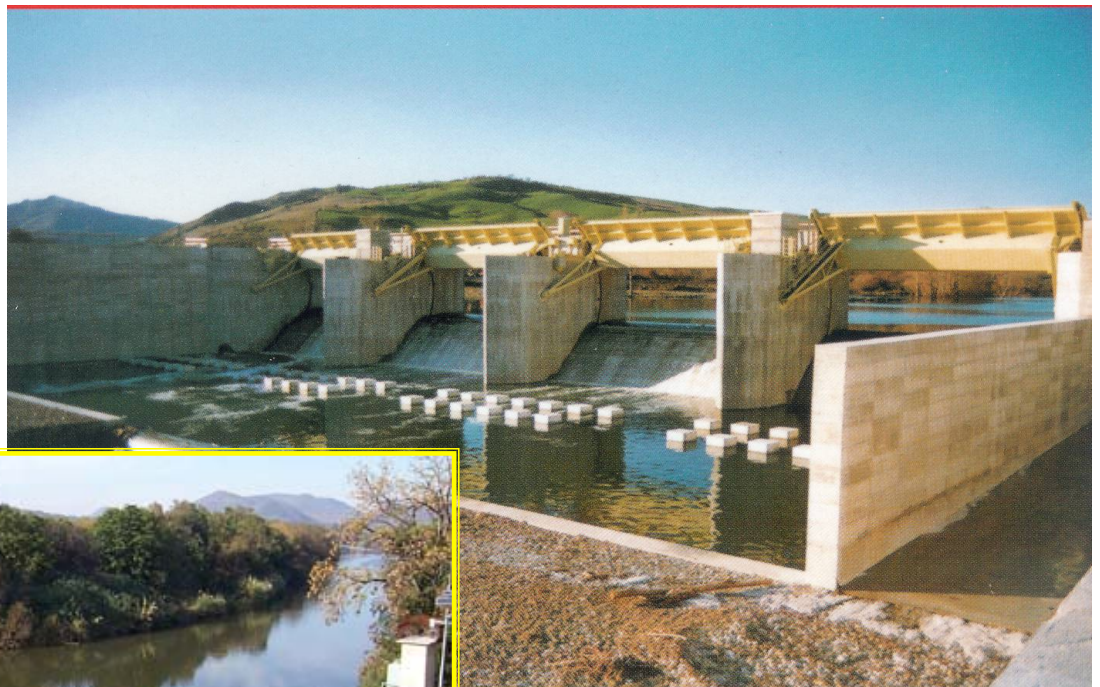


Fig. 2. — Schema di funzionamento di un venturimetro per canali.

Da: Biggiero, 1970

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 “PERMANENTI” (su alvei fluviali)



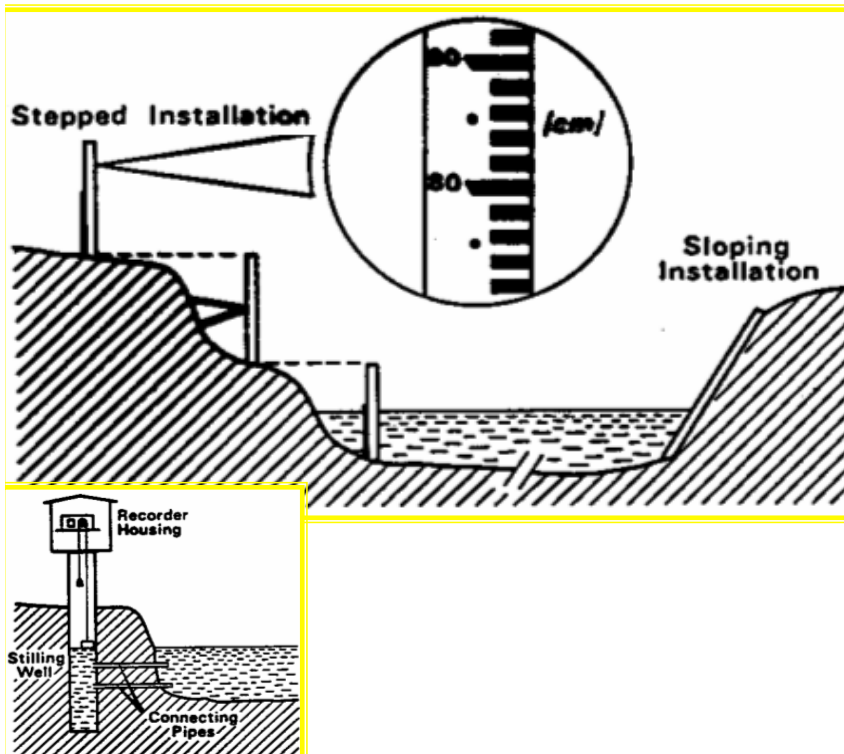
Livello idrometrico:

L'altezza assoluta della superficie liquida

Scala delle portate (scala di deflusso)

Relazione tra livello idrico in alveo e portata corrispondente

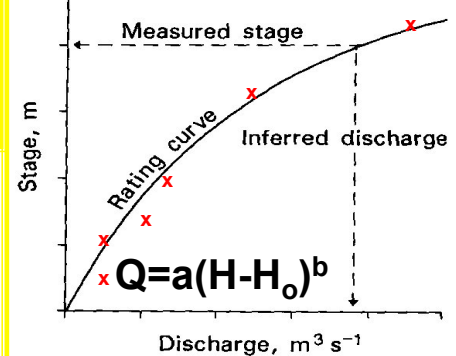
Stazione Idrometrica (relazione livello-portata)



Ingredienti

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

• Scala di deflusso



Livello idrometrico

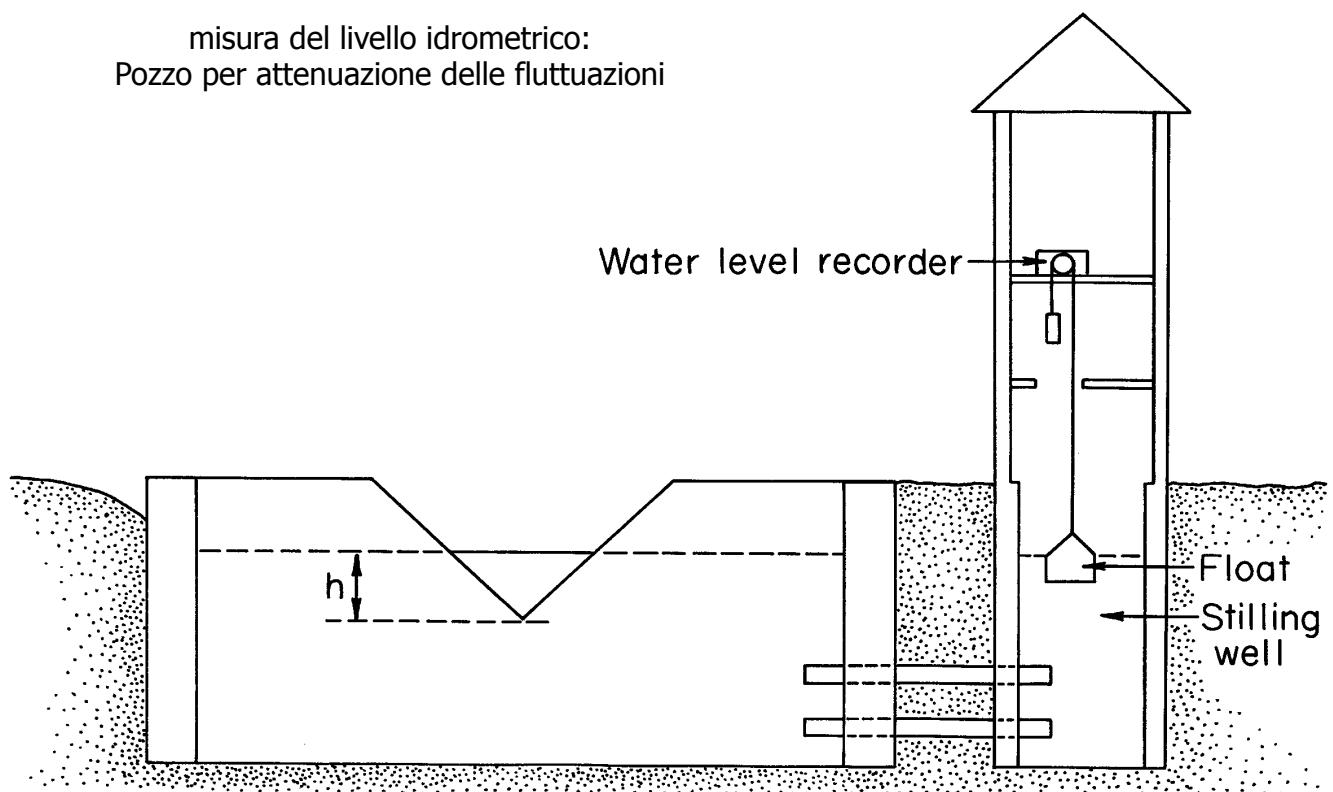
Si misura rispetto allo zero idrometrico della stazione. Lo zero è fissato dall'asta idrometrica che costituisce il punto di riferimento per tutte le misure di livello. Per la misura in continuo del livello esistono diversi tipi di sensore.



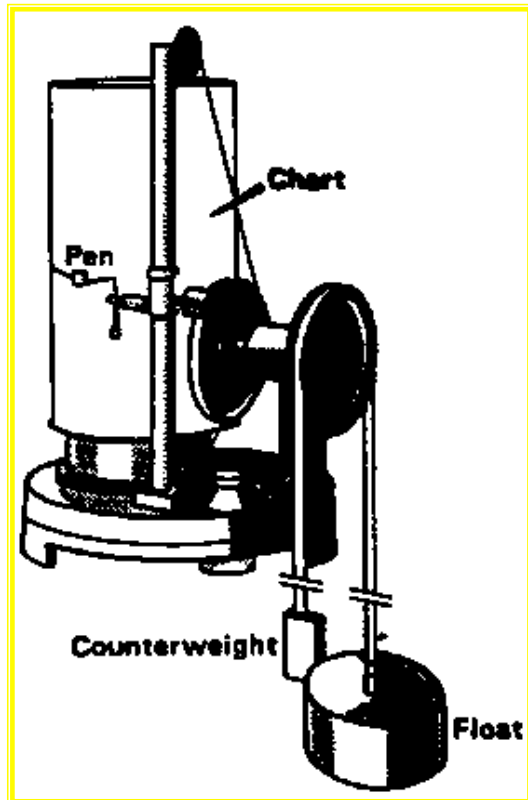
Variazioni del livello idrometrico



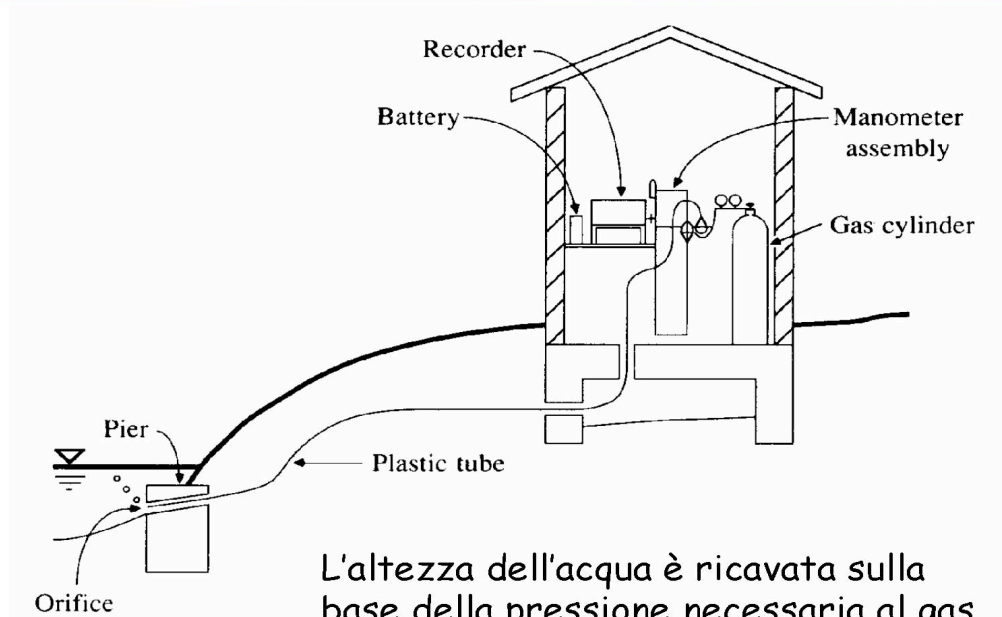
misura del livello idrometrico:
Pozzo per attenuazione delle fluttuazioni



Idrometrografo meccanico a galleggiante



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

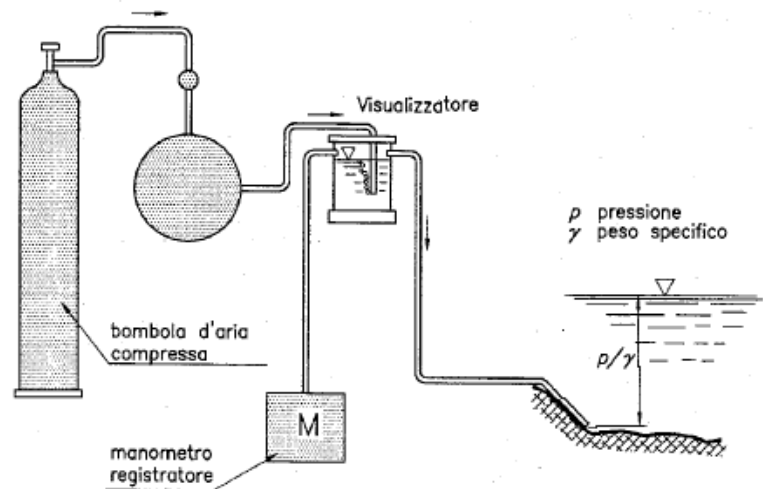
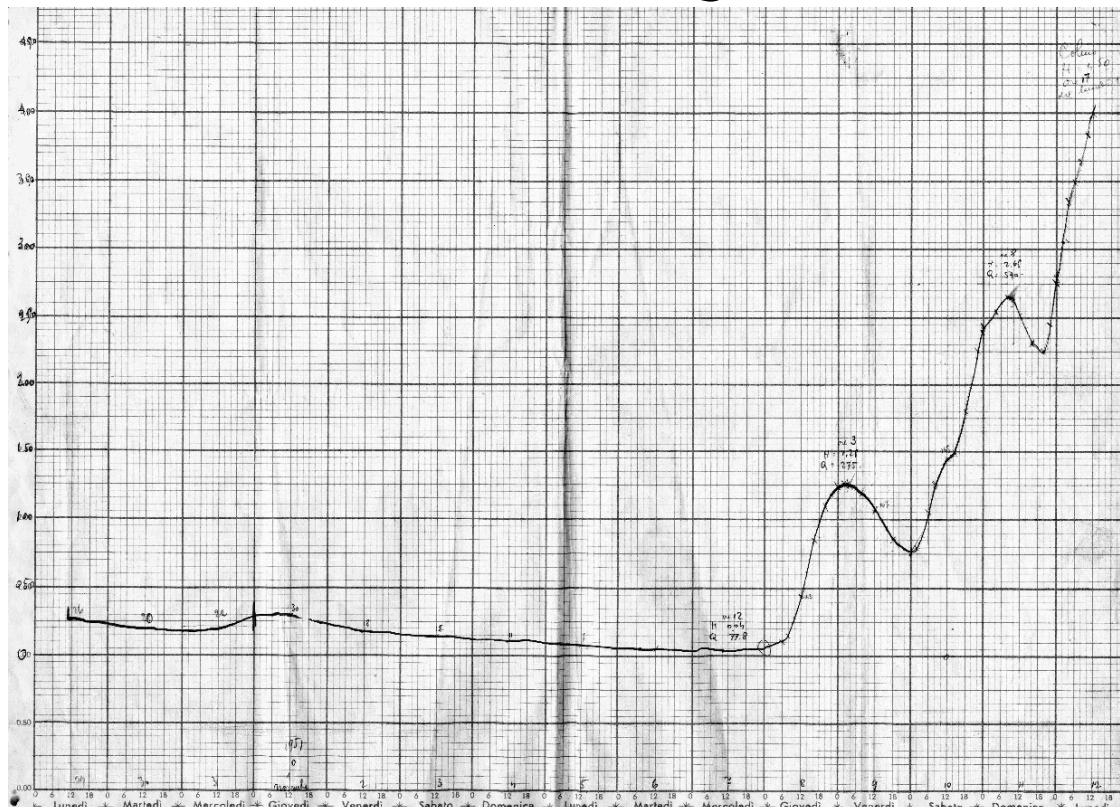
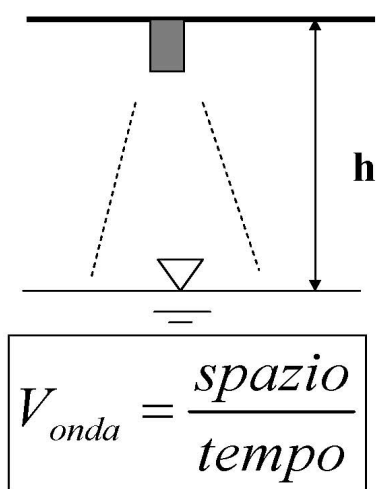


Fig. 5.2 Idrometrografo a bolle (Roche, 1963)

Strisce idrometrografiche



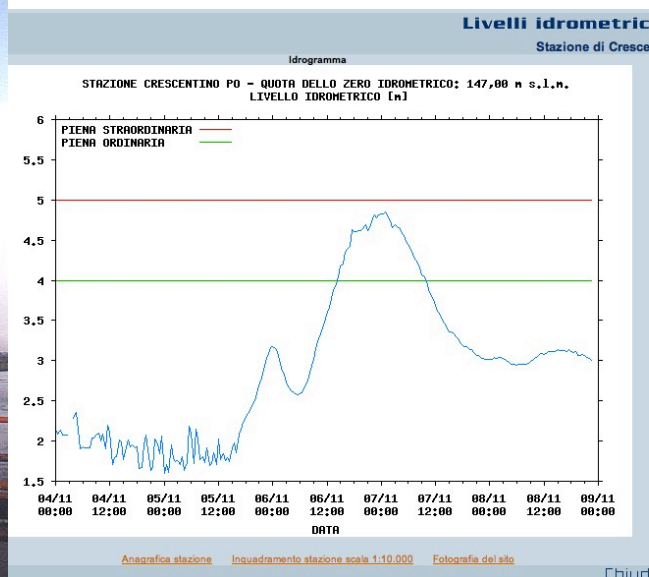


Sensore
installato su
un ponte



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

STAZIONE IDROMETRICA IN TELEMISURA (ARPA Piemonte)



Metodi per la misura delle portate

