

Fondamenti di idraulica

stramazzi e idrometria

Giancarlo Dalla Fontana
Università di Padova

A.A. 2013/2014

Misure idrometriche

Misure idrometriche su sezioni tarate

Misure idrometriche su sezioni naturali

altre sezioni

stramazzi

a parete sottile

a parete grossa

Bazin (—),
Thomson (▼),
Cipolletti (▼),
ecc.

Belangér,
ecc.

asta idrometrica,
idrometri:
a galleggiante,
a gorgogliamento,
piezoelettrico,
a ultrasuoni, ecc.

mulinello
idrometrico,
misure a
diluizione,
ecc.

tirante

+

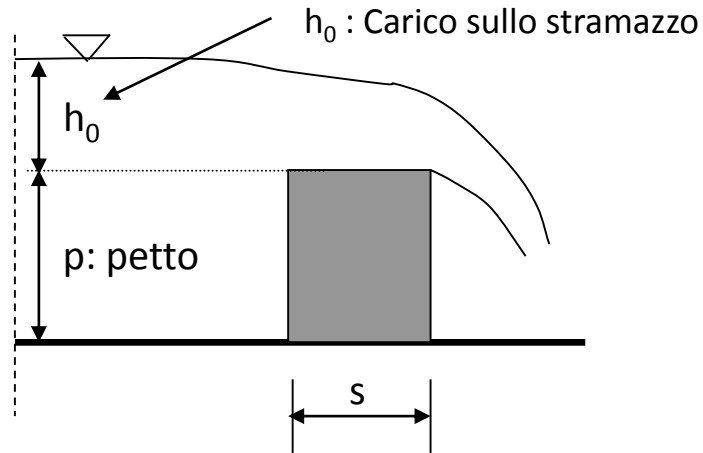
velocità

PORTATA

scala delle portate

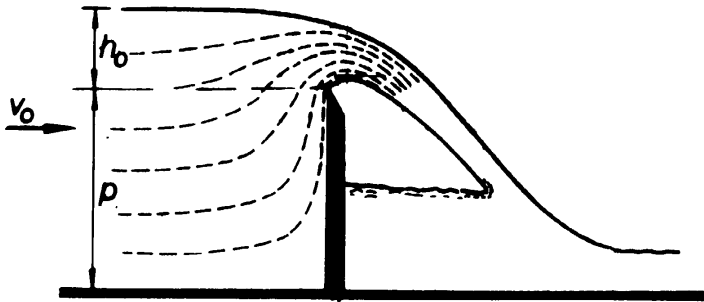
Misure idrometriche sui sezioni tarate - Stramazzi

Sono molto utilizzati per la misura delle portate in quanto impongono il passaggio della corrente per una sezione il cui comportamento idraulico è noto sulla base di considerazioni teoriche e prove di laboratorio.



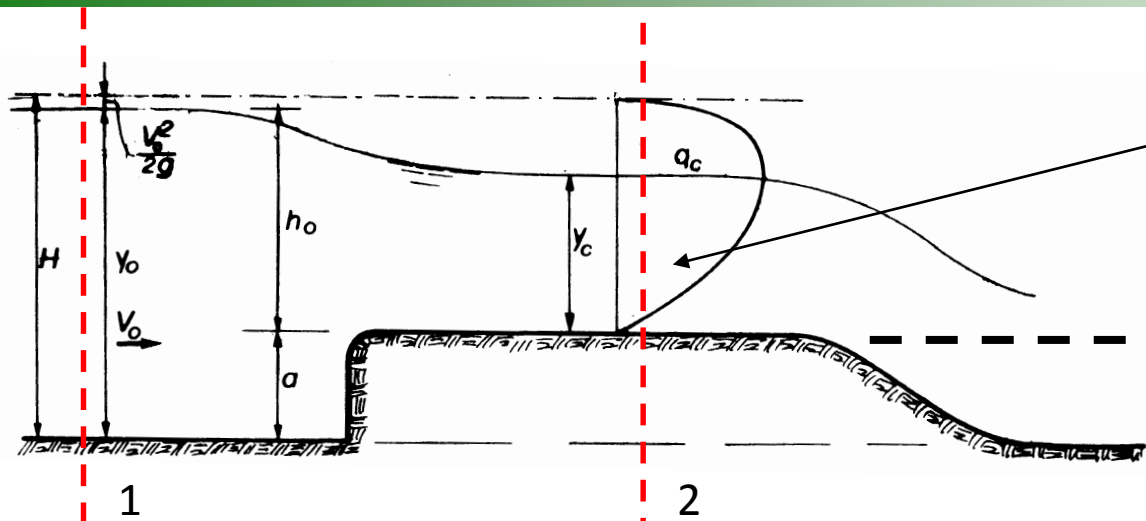
Stramazzo in parete grossa:

$$h_0 < 0.5 s$$



Stramazzo in parete sottile

Stramazzo in parete grossa - Bélanger



$$y_c \cong \frac{2}{3} h_0$$

Piano di riferimento

Si applica il principio di Bernoulli tra le sezioni 1 e 2 con piano di riferimento sul livello superiore del gradino

$$\frac{v_0^2}{2g} + h_0 = \frac{v^2}{2g} + y_c$$

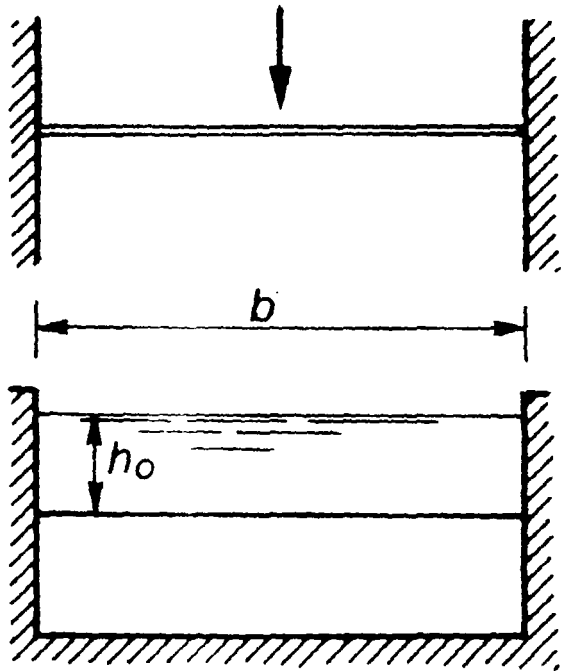
Trascurando il termine cinetico per la corrente (v_0) in arrivo e considerando che la corrente tende a passare sopra l'ostacolo in stato critico si ottiene l'equazione:

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{1}{3} h_0 \rightarrow v = \frac{1}{\sqrt{3}} h_0^{1/2} \sqrt{2g} \quad Q = Av = \frac{2}{3} h_0 b \frac{1}{\sqrt{3}} h_0^{1/2} \sqrt{2g}$$

$$Q = \frac{2}{3} \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{2g} h_0 h_0^{1/2} b$$

$$Q = 0.385 \sqrt{2g} h_0^{3/2} b \cong 1.705 h_0^{3/2} b$$

Stramazzo rettangolare a parete sottile



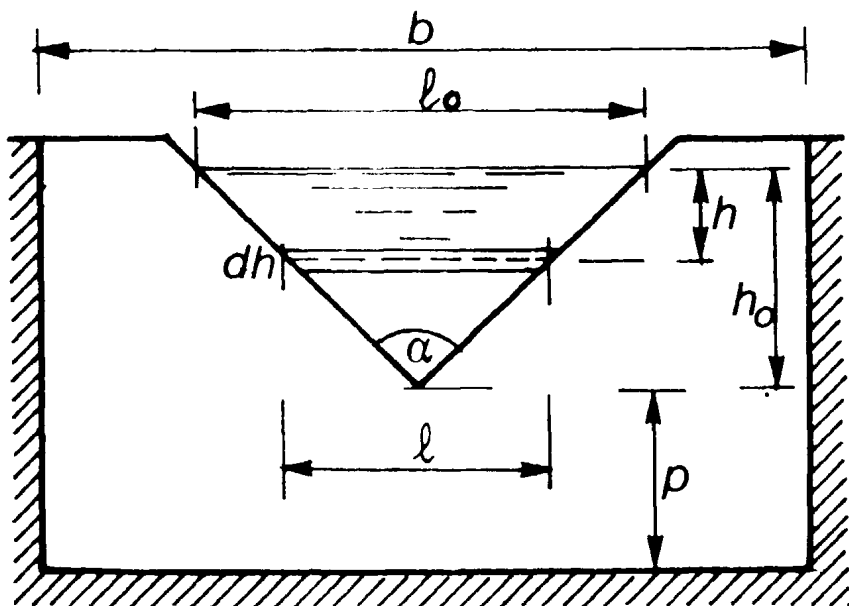
In prima approssimazione:

$$Q = C_q \sqrt{2g} h_0^{3/2} b \cong 1.81 h_0^{3/2} b$$

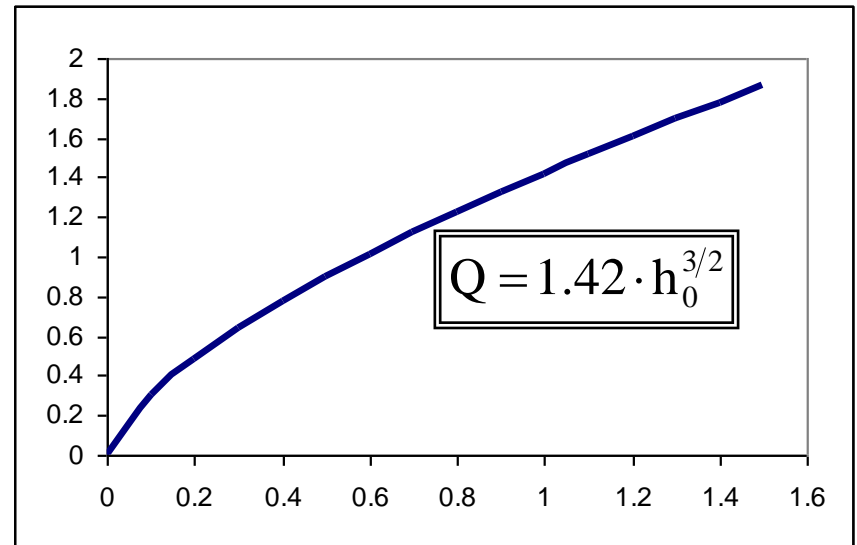
C_q = coefficiente di efflusso pari a 0.41



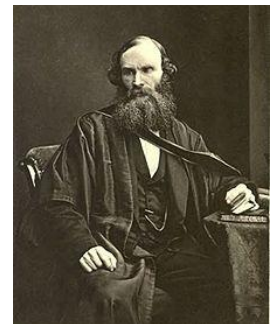
Stramazzo triangolare a p. s. a 90° - Thomson



Indicato per la misura di piccole portate



James Thomson
(1822 - 1892)
fratello di Lord Kelvin



Esempio di stramazzo triangolare utilizzato per la misura dei deflussi in un piccolo corso d'acqua montano

Equazione generale degli stramazzi

$$Q = A \cdot V = C_q h_0^{3/2} b \sqrt{2g}$$

Q – portata ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

A – sezione liquida (m^2)

V – velocità della corrente (m s^{-1})

C_q – coefficiente di efflusso, dipende dalla geometria dello stramazzo (adim)

h_0 – carico sullo stramazzo (m)

b – larghezza dello stramazzo (m)

g – accelerazione di gravità (9.81 m s^{-2})

Alcuni esempi di coefficiente di efflusso:

Rettangolare a parete sottile

$$Q = 0.410 h_0^{3/2} b \sqrt{2g} = 1.810 h_0^{3/2} b$$

Bélanger a parete grossa

$$Q = 0.385 h_0^{3/2} b \sqrt{2g} = 1.705 h_0^{3/2} b$$

Thomson – V 90°

$$Q = 0.320 h_0^{3/2} b \sqrt{2g} = 1.420 h_0^{3/2} b$$

Stramazzo triangolare Thompson



Impiego di un piccolo stramazzo triangolare per una campagna stagionale di rilievi idrometrici in un corso d'acqua effimero

Misure idrometriche su sezioni naturali

le grandezze più comunemente oggetto di misura nei corsi d'acqua sono:

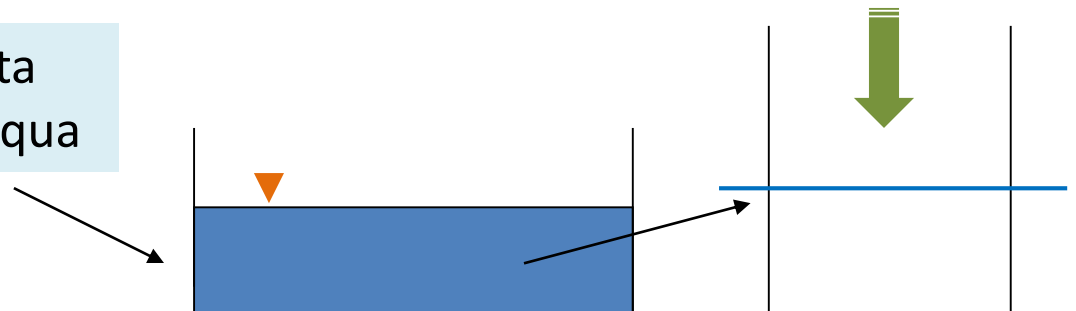
- Il livello dell'acqua (m) \longrightarrow h
- La velocità della corrente (m/s) \longrightarrow v
- La portata (m³/s) \longrightarrow Q

$$Q = VA$$

La portata in una sezione trasversale di un corso d'acqua è ricavabile nota la velocità media nella sezione e l'area della sezione liquida

Nota la geometria della sezione, l'area della sezione liquida dipende dall'altezza dell'acqua (tirante)

Le misure sono riferite ad una data sezione trasversale del corso d'acqua



Livello idrometrico

Si misura rispetto allo zero idrometrico della stazione. Lo zero (arbitrario) 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

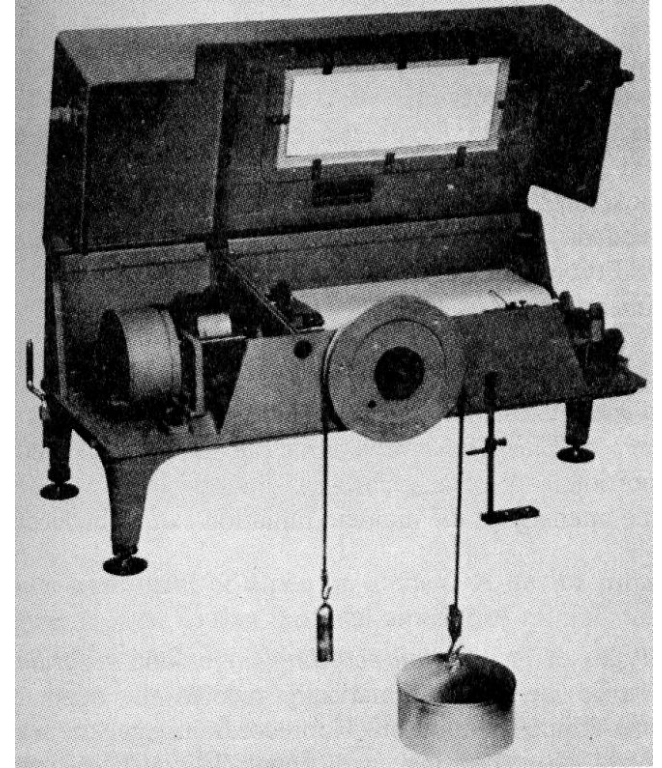
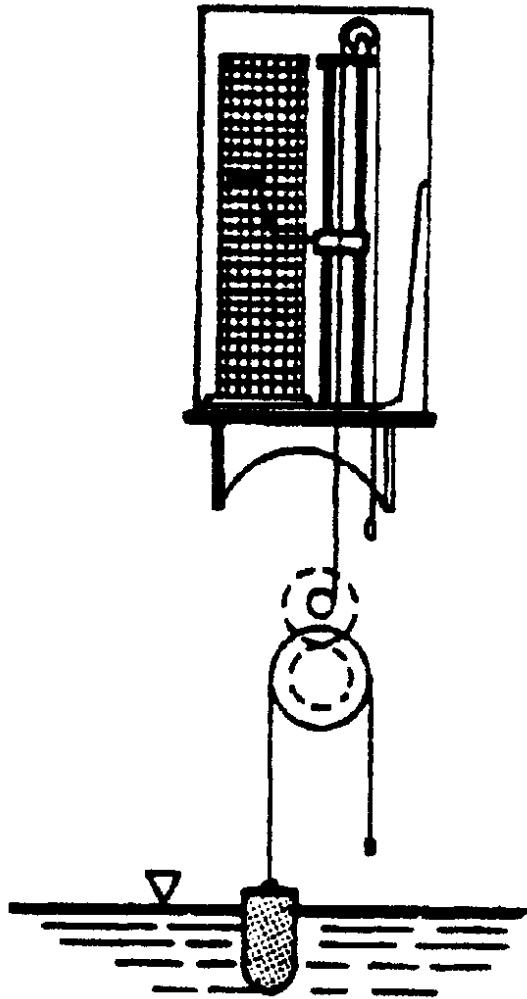
17 settembre 2002



26 novembre 2002

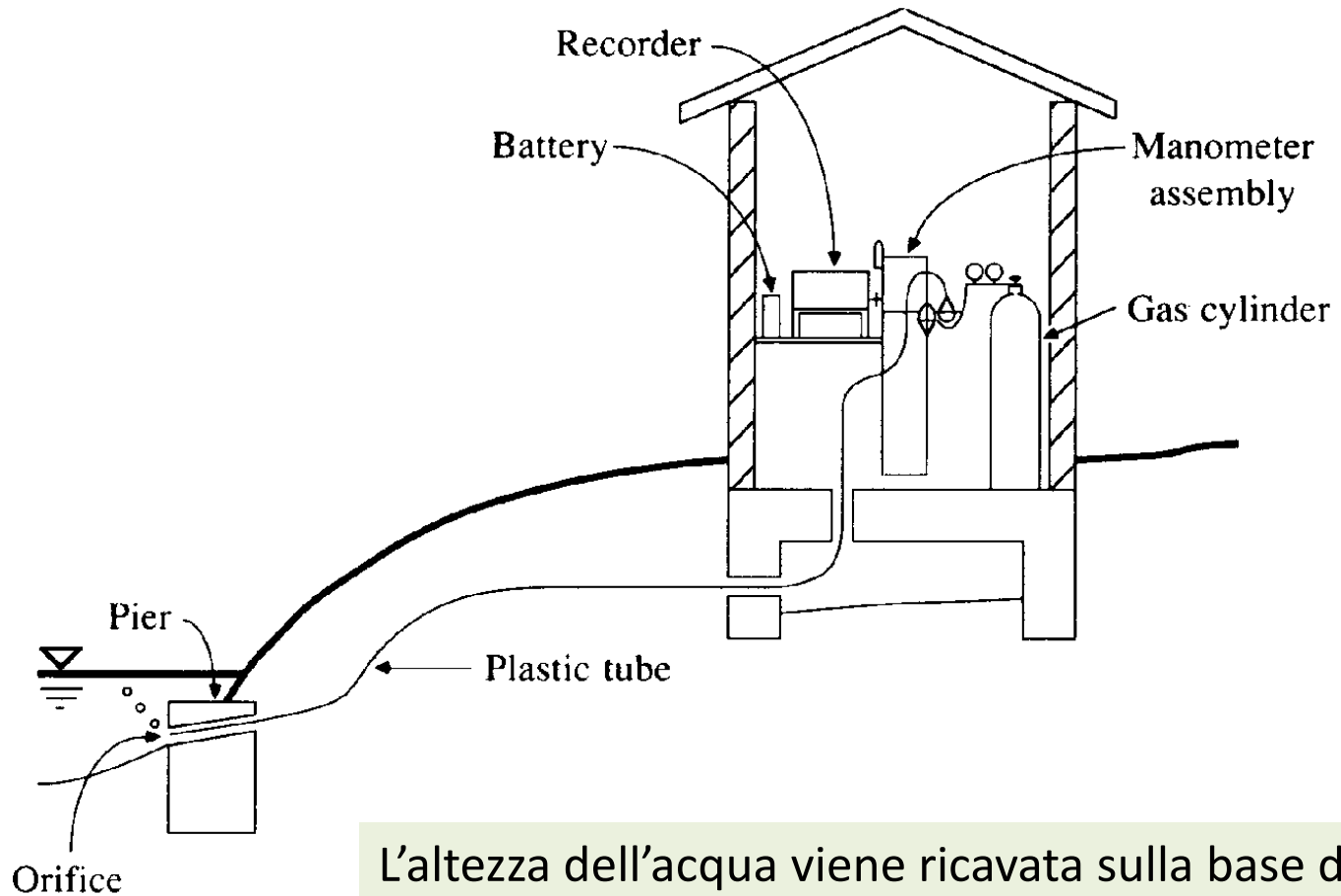


Misura del livello - Idrometri a galleggiante



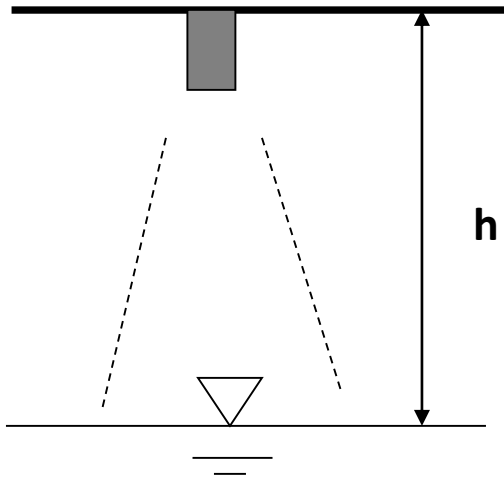
È il sensore più classico. L'altezza dell'acqua è misurata da un galleggiante posto in un pozzetto di calma a lato del corso d'acqua.

Idrometri a gorgogliamento (o a bolle)



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

Idrometri a ultrasuoni



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

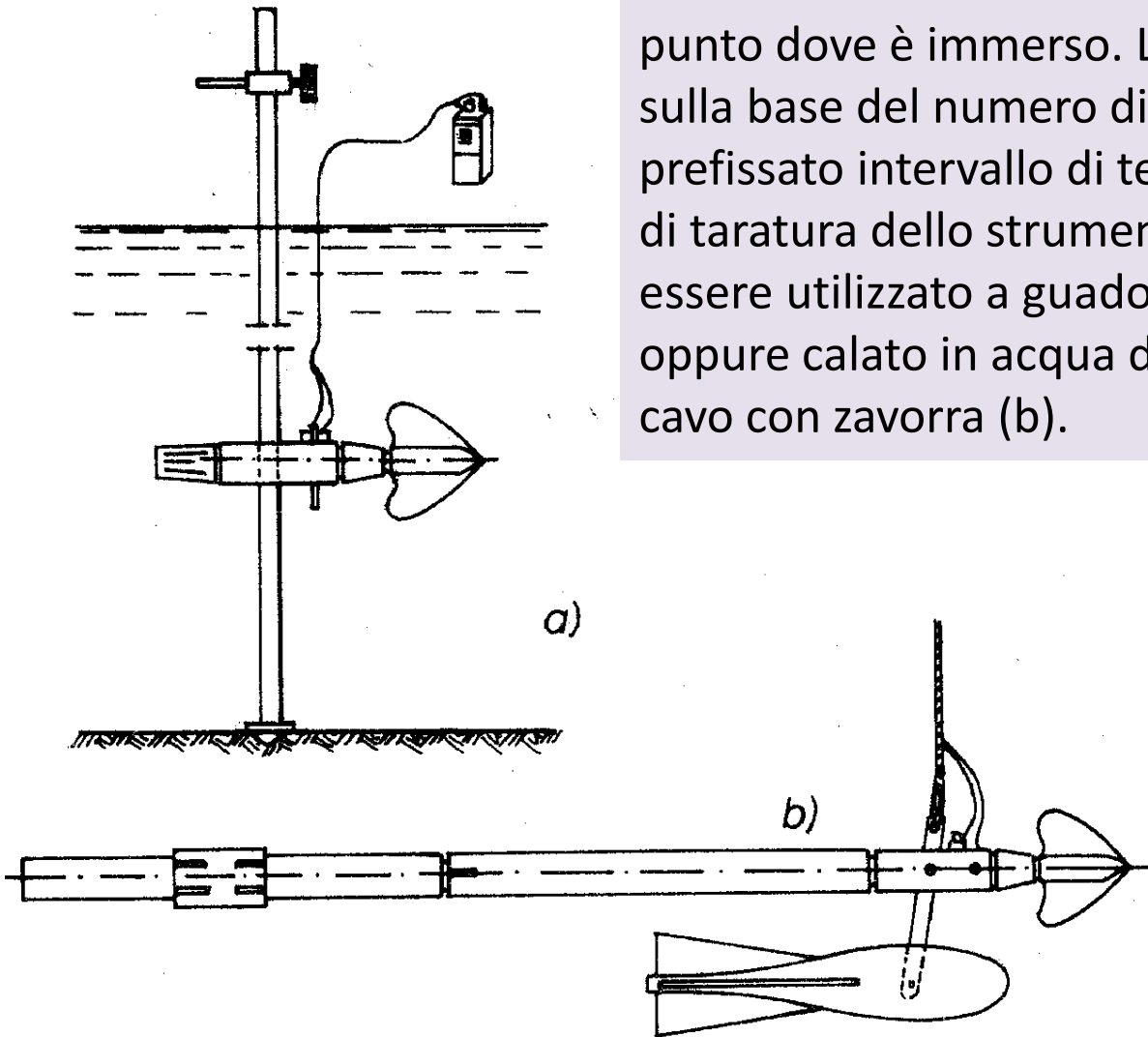
Sensore
installato su
un ponte



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

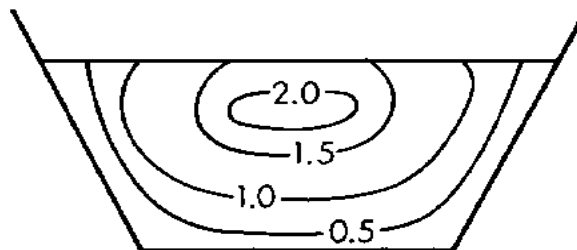
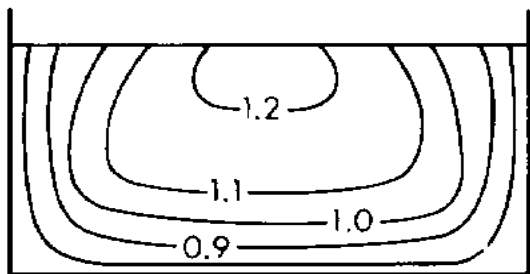
Misura della velocità - Mulinello idrometrico

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).

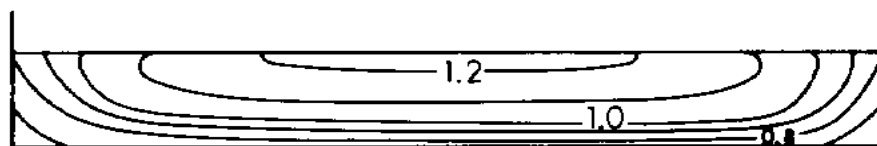
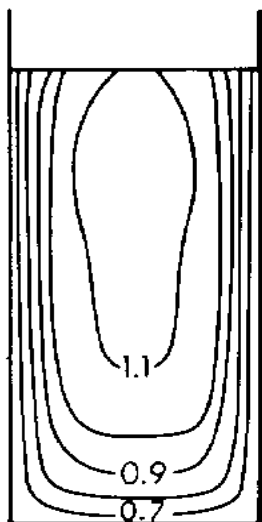


Variabilità della velocità nella sezione

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



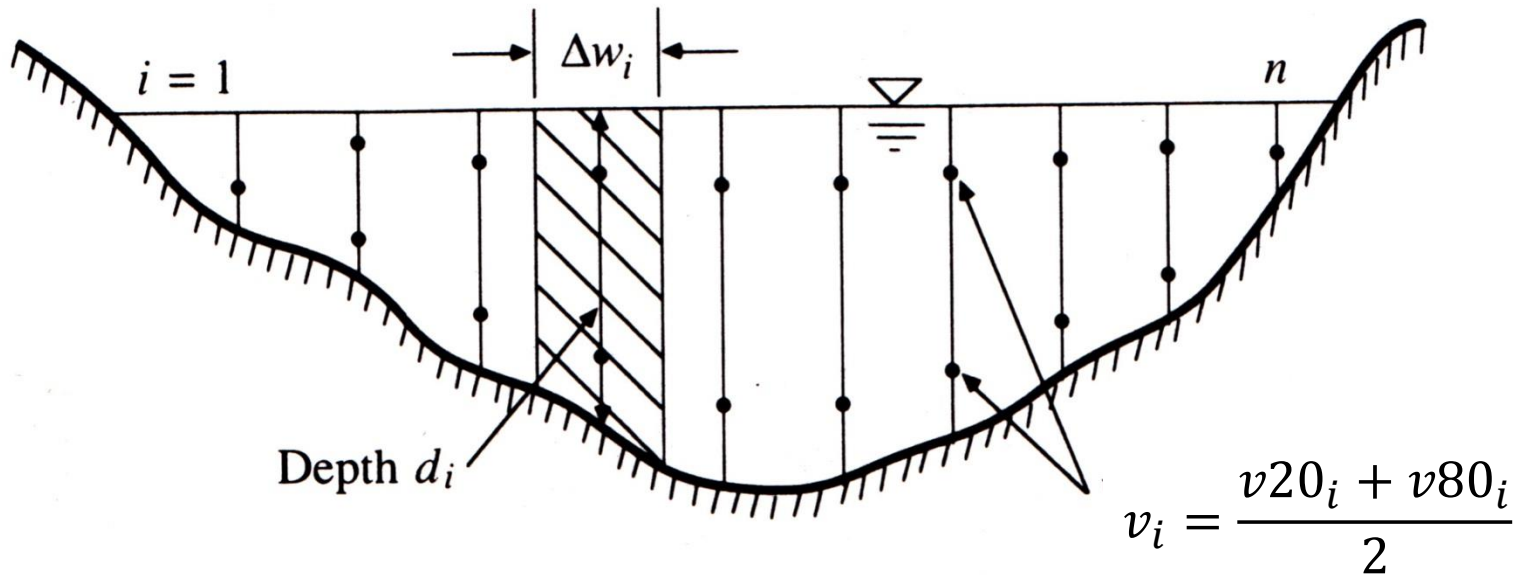
La velocità è inferiore in prossimità del fondo e delle pareti ed è massima al centro della sezione poco sotto il pelo libero



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

Misura della velocità e calcolo della portata nella sezione

La sezione trasversale viene divisa in $[n]$ segmenti di larghezza uniforme $[\Delta w_i]$. Al centro di ciascun segmento si individuano i punti posti al 20% e all'80% della profondità $[d_i]$. Il mulinello viene posizionato in ciascun punto (in successione) misurando le velocità $[v_{20_i}$ e $v_{80_i}]$.



$$Q = \sum_{i=1}^n v_i d_i \Delta w_i$$

Scala delle portate

Esprime per una data sezione idrometrica la relazione (crescente) tra portata defluente e altezza d'acqua in alveo (tirante):

$$Q = f(h)$$

Consente di passare dal dato di livello idrometrico (misurato in continuo) al corrispondente valore di portata che è poi il dato che più interessa per le applicazioni idrologiche.

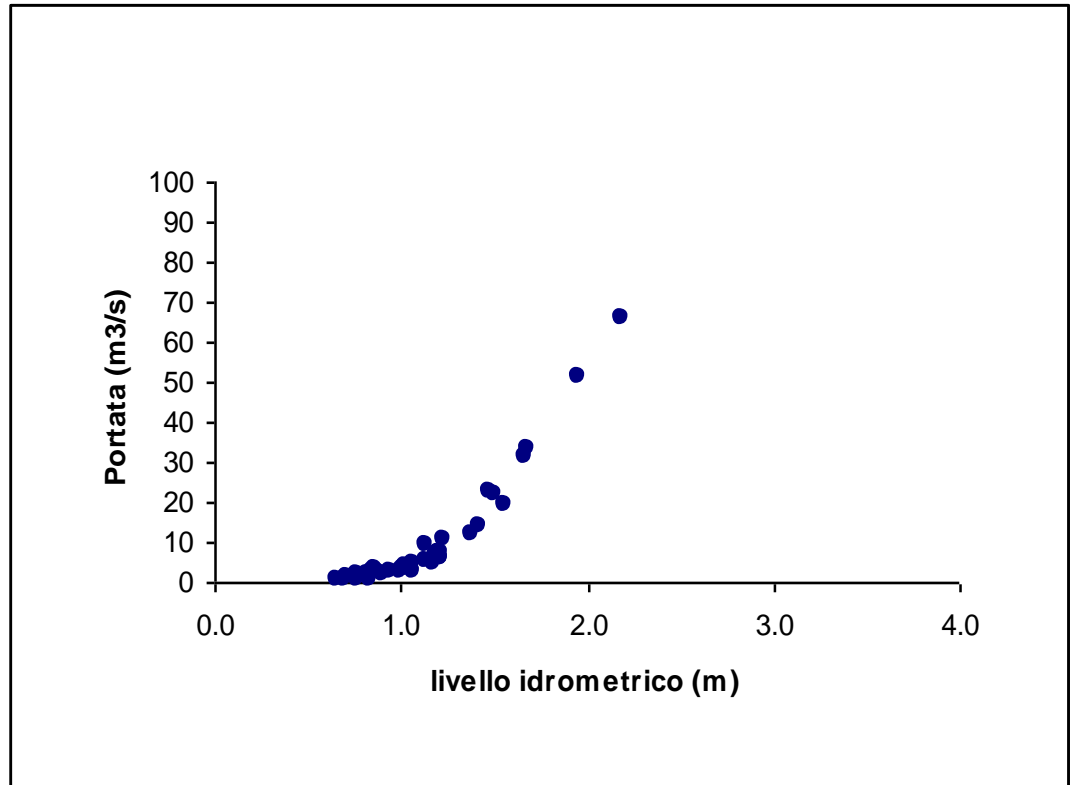
La realizzazione e il mantenimento delle scale delle portate è un'attività molto onerosa in termini di tempo e costi.

Va realizzata a mano da personale specializzato.

Sulla scala delle portate sono finora naufragati quasi tutti i tentativi di monitoraggio idrometrico sistematico di lungo periodo !

Rappresentazione analitica

La scala delle portate si individua interpolando con una curva i punti che rappresentano in un diagramma cartesiano, con Q in ordinata ed h in ascissa, le osservazioni di livello e portata. Ciascuna osservazione della coppia di valori viene effettuata in condizioni di portata diverse.



$$Q = a(h - h_0)^b$$

Sezione idrometria degli annali idrologici

PORTATE MEDIE GIORNALIERE in mc/s												
GIORNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	0.874	0.933	1.061	0.815	0.595	0.169	0.087	0.034	0.034	0.034	0.148	0.189
2	0.815	0.815	0.997	0.815	0.551	0.128	0.087	0.034	0.034	0.026	0.128	0.189
3	0.760	0.705	0.874	0.705	0.507	0.189	0.087	0.034	0.059	0.026	0.107	0.189
4	0.705	0.705	0.815	0.595	0.507	0.148	0.087	0.034	0.059	0.026	0.107	0.189
5	0.650	0.705	0.815	0.963	0.463	0.148	0.087	0.034	0.059	0.026	0.087	1.015
6	0.923	0.650	0.760	0.997	0.419	0.148	0.087	0.018	0.046	0.026	0.137	0.630
7	0.705	0.650	0.705	0.933	0.379	0.128	0.087	0.018	0.046	0.026	0.107	0.848
8	0.463	0.815	0.595	0.815	0.379	0.107	0.087	0.018	0.034	0.026	0.176	0.595
9	0.463	0.815	0.595	0.705	0.340	0.107	0.087	0.018	0.034	0.026	0.189	0.551
10	0.419	0.705	1.438	0.650	0.340	0.087	0.087	0.018	0.034	0.026	0.148	0.551
11	0.419	0.595	1.380	0.595	0.340	0.087	0.087	0.018	0.046	0.026	0.107	0.551
12	0.379	1.857	0.997	0.595	0.340	0.087	0.087	0.018	0.046	0.034	0.087	0.551
13	0.340	1.061	0.874	0.595	0.305	0.087	0.087	0.018	0.046	0.247	0.073	0.551
14	1.040	2.390	0.815	0.595	0.305	0.059	0.087	0.018	0.059	0.073	0.073	0.551
15	0.997	1.925	0.705	0.595	0.463	0.046	0.087	0.089	0.073	0.059	0.059	0.379
16	0.933	1.530	0.815	0.650	0.419	0.046	0.107	0.034	0.073	0.073	0.046	0.340
17	1.061	1.666	0.997	0.595	0.419	0.046	0.087	0.034	0.073	0.128	0.131	0.379
18	0.997	1.914	0.760	0.507	0.379	0.046	0.087	0.034	0.073	0.073	0.851	0.576
19	0.815	1.666	1.371	0.507	0.379	0.046	0.087	0.034	0.059	0.046	0.419	2.276
20	0.705	3.384	1.135	0.507	0.463	0.046	0.073	0.026	0.059	0.073	0.240	1.509
21	0.650	9.090	0.933	0.507	0.419	0.059	0.073	0.026	0.046	0.535	0.189	1.194
22	0.595	3.807	0.874	0.507	0.340	0.073	0.046	0.034	0.026	0.270	0.169	1.862
23	0.595	2.727	0.815	0.507	0.340	0.073	0.034	0.034	0.034	0.128	0.270	4.879
24	0.595	2.044	0.705	0.705	0.270	0.059	0.034	0.034	0.034	0.087	2.487	2.892
25	0.551	1.465	0.650	0.595	0.270	0.046	0.034	0.034	0.034	0.073	0.574	2.128
26	0.507	1.135	0.595	0.815	0.270	0.046	0.034	0.034	0.034	0.059	0.379	1.914
27	3.450	1.061	0.551	0.430	0.270	0.046	0.034	0.034	0.034	0.430	0.270	1.914
28	3.518	1.061	0.551	0.815	0.240	0.046	0.034	0.034	0.034	0.210	0.210	1.465
29	1.666		0.650	0.705	0.210	0.059	0.034	0.046	0.034	0.189	0.210	1.135
30	1.380		0.595	0.705	0.210	0.059	0.034	0.034	0.034	0.240	0.189	1.061
31	1.061		1.169		0.210		0.034			0.210		0.933

Annali Idrologici

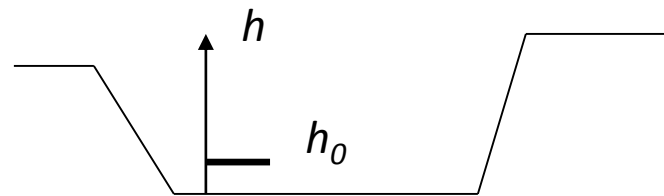
Parte II

Sezione B: idrometria

Sezione C: portate e

bilanci idrologici

Scala dei deflussi
o scala delle portate



ELEMENTI CARATTERISTICI PER L'ANNO 1991													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Q max (mc/s)	9.090	3.518	9.090	1.438	0.997	0.595	0.189	0.107	0.059	0.073	0.535	2.487	4.879
Q media (mc/s)	0.515	0.937	1.711	0.858	0.667	0.366	0.084	0.070	0.030	0.047	0.114	0.279	1.096
Q minima (mc/s)	0.018	0.340	0.595	0.551	0.430	0.210	0.046	0.034	0.018	0.034	0.026	0.046	0.189
Q media (l/s.kmq)	16.60	30.22	55.18	27.67	21.53	11.80	2.71	2.26	0.98	1.50	3.67	9.00	35.37
Deflusso (mm)	523.4	80.9	133.5	74.1	55.8	31.6	7.0	6.0	2.6	3.9	9.8	23.3	94.7
Afflusso met. (mm)	982.6	118.9	156.3	85.3	65.0	38.4	17.4	25.5	36.3	71.4	158.8	58.5	150.8
Coeff. di deflusso	0.53	0.68	0.85	0.87	0.86	0.82	0.40	0.24	0.07	0.05	0.06	0.40	0.63

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1981-89													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Q max (mc/s)	9.861	7.296	7.944	9.861	7.926	2.264	0.614	0.133	0.494	2.046	5.400	2.437	6.245
Q media (mc/s)	0.600	1.366	1.674	1.727	0.824	0.325	0.113	0.038	0.026	0.042	0.094	0.262	0.770
Q minima (mc/s)	0.005	0.068	0.271	0.202	0.143	0.070	0.041	0.013	0.005	0.005	0.009	0.018	0.041
Q media (l/s.kmq)	19.34	44.08	54.00	55.70	26.58	10.48	3.64	1.23	0.84	1.37	3.05	8.45	24.83
Deflusso (mm)	611.1	118.1	131.8	149.2	68.9	28.1	9.4	3.3	2.2	3.5	8.2	21.9	66.5
Afflusso met. (mm)	957.5	157.7	120.4	122.8	72.1	31.7	20.6	13.2	33.2	58.5	88.0	118.6	120.6
Coeff. di deflusso	0.64	0.75	1.10	1.21	0.96	0.89	0.46	0.25	0.07	0.06	0.09	0.18	0.55

DURATA DELLE PORTATE		
Giorni	1991	Periodo storico
	mc/s	mc/s
10	2.390	3.144
30	1.371	2.017
60	0.874	1.267
91	0.705	0.822
135	0.551	0.358
182	0.270	0.166
274	0.059	0.038
355	0.026	0.011

SCALA NUMERICA DELLE PORTATE							
Altezza idrometrica m	Portate mc/s	Altezza idrometrica m	Portate mc/s	Altezza idrometrica m	Portate mc/s	Altezza idrometrica m	Portate mc/s
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}

$$Q = a (h - h_0)^b$$

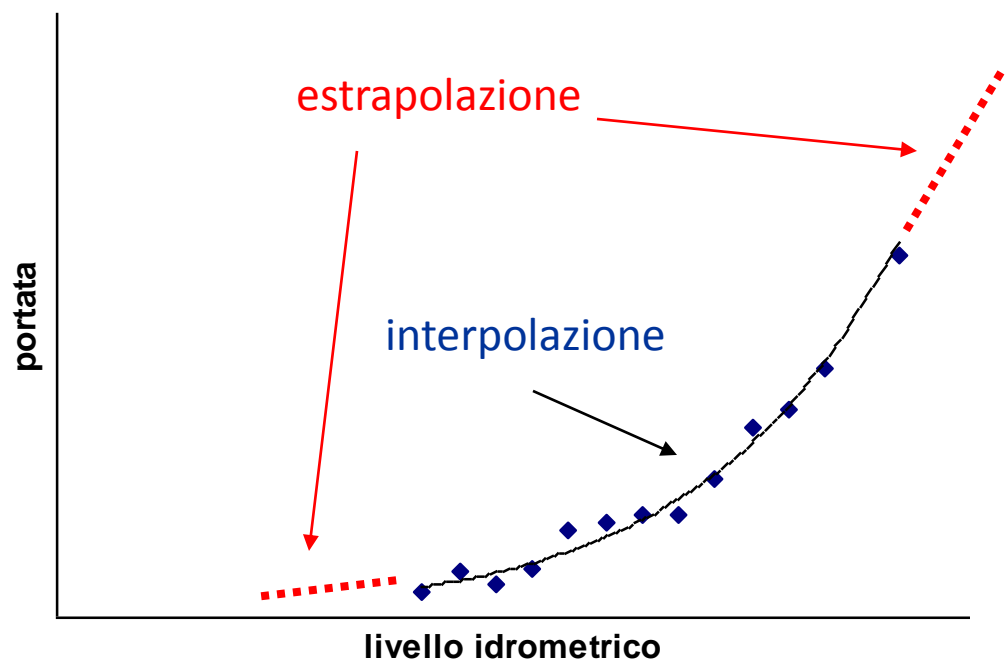
Stabilità della scala delle portate

La stabilità nel tempo della scala delle portate implica che l'alveo sia stabile e la pendenza del pelo libero costante, condizioni quasi mai pienamente verificate nei corsi d'acqua naturali.

In relazione alle caratteristiche idrauliche della sezione e alle modifiche cui può essere soggetto l'alveo specie dopo eventi di piena è inevitabile una continua verifica e aggiornamento della scala delle portate.

Estrapolazione

Estrapolare la curva delle portate significa prolungarla oltre il campo delle osservazioni verso l'alto (portate di piena) o verso il basso (portate di magra).



L'estrapolazione della curva si può effettuare in modo grafico o utilizzando l'espressione analitica interpolata, si tratta in ogni caso di un'operazione delicata.