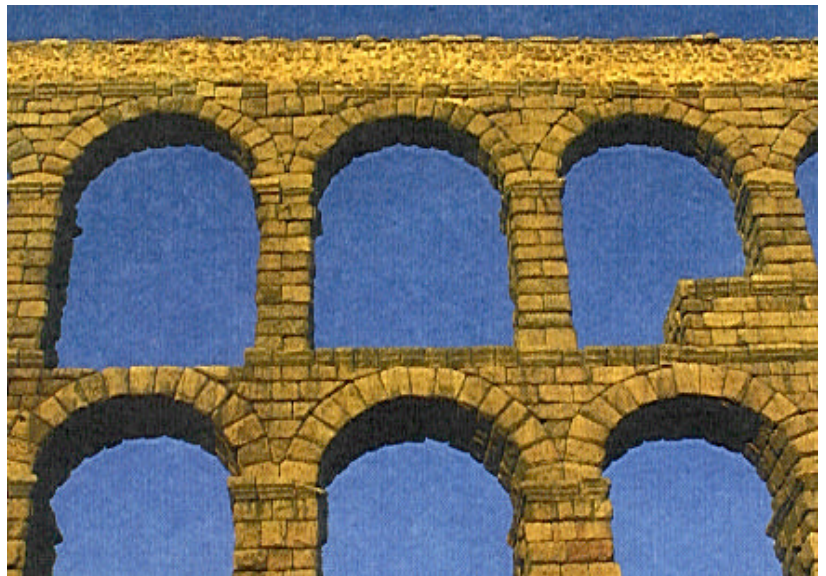


## Canali e condotte a pelo libero

### *Si usano solitamente quando:*

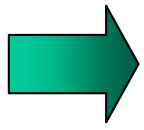
- *la portata da convogliare è rilevante*
- *il dislivello disponibile è limitato*

*Particolare  
dell'acquedotto di  
Segovia*



### *Applicazioni tipiche sono:*

- *acquedotti*
- *canali di irrigazione*
- *opere di presa e di scarico di impianti idroelettrici*
- *tombinature di corsi d'acqua*
- *sistemi di drenaggio*



## **Problemi di VERIFICA:**

*nota la **geometria** del sistema, ossia:*

- a) il tracciato plano-altimetrico**
- b) la forma della sezione**
- c) le dimensioni della sezione**
- d) la scabrezza dell'alveo**

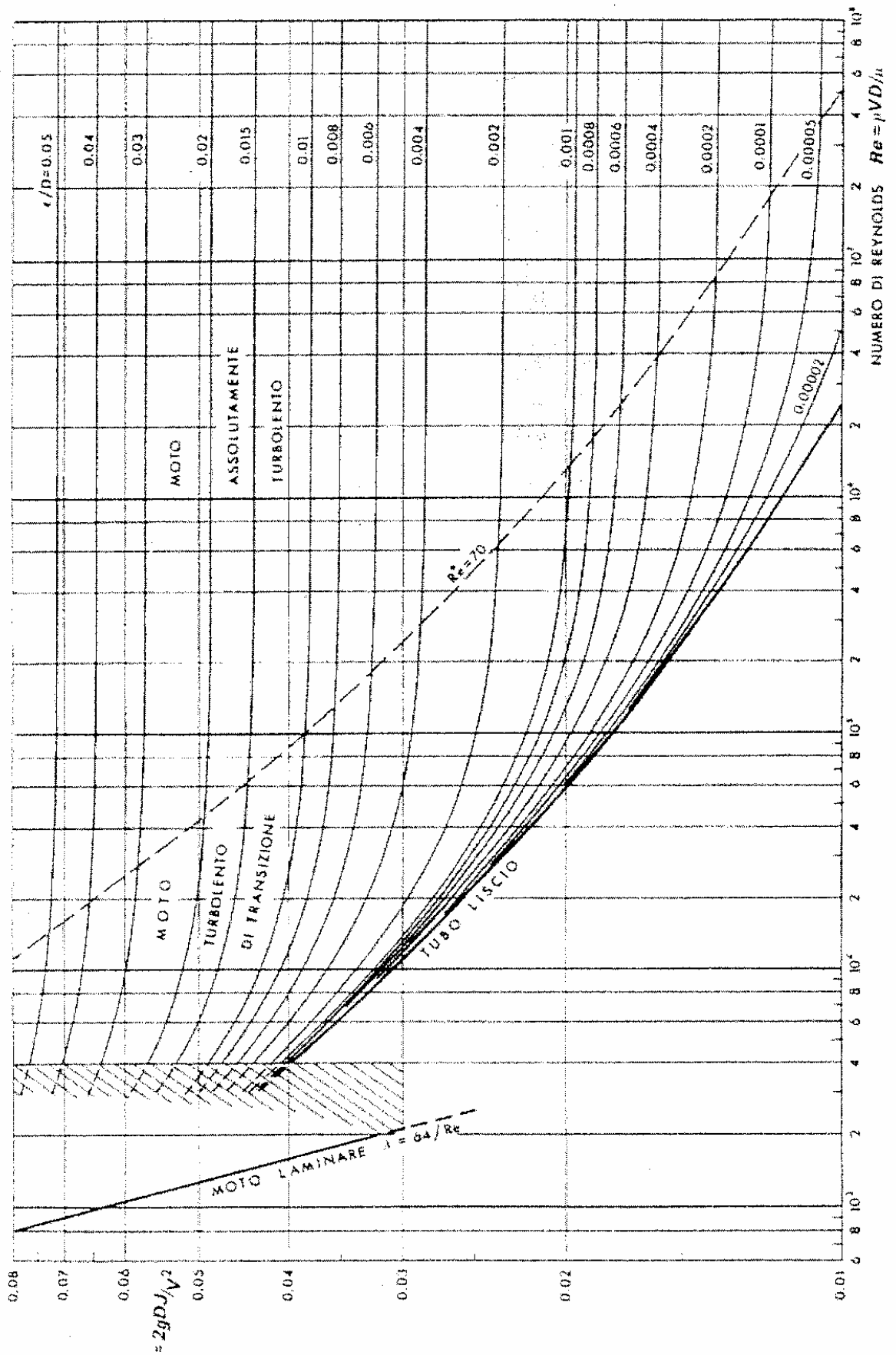
*determinare :*

- 1) la portata  $Q$  corrispondente ad un'altezza  $h$**

*oppure*

- 2) l'altezza  $h$  corrispondente ad una portata  $Q$**

Figura 3.1 – Abaco di Moody (da Citrini e Nosedà, *Idraulica*, 1987).



## Formula di Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log_{10} \left( \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{1}{3.71} \frac{\varepsilon}{D} \right)$$

dove

- $V$  = velocità media dell'acqua in condotta =  $\frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$
- $\text{Re}$  = numero di Reynolds =  $\frac{V \cdot D}{\nu}$
- $\nu$  = viscosità cinematica  $\cong 1 \cdot 10^{-6}$  [m<sup>2</sup>/s]
- $\varepsilon$  = scabrezza assoluta della tubazione [m]
- $D$  = diametro della condotta [m]

## Formula di Colebrook-Marchi

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.033 \log_{10} \left( \frac{2.83}{\sqrt{\lambda} \text{Re} \varphi} + \frac{\varepsilon}{13.3 R(h) \varphi} \right)$$

**Tabella 1.1** - Coefficienti di forma per i canali [Marchi e Rubatta, 1981].

<i>Forma della sezione bagnata</i>	$\varphi$
Circolare	1
Triangolare equilatera	1.30 ÷ 1.25
Triangolare retta	1.20 ÷ 1.15
Semicircolare	0.90
Trapezia (semiesagonale)	1.00 ÷ 0.90
Trapezia molto larga	0.8
Rettangolare ( $b=2h$ )	0.95
Rettangolare molto larga	0.80

$$\chi = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R(h)}}} \quad \text{Bazin} \quad (4)$$

$$\chi = \frac{100}{1 + \frac{m}{\sqrt{R(h)}}} \quad \text{Kutter} \quad (5)$$

$$\chi = k_s \cdot R(h)^{1/6} \quad \text{Gauckler - Strickler} \quad (6)$$

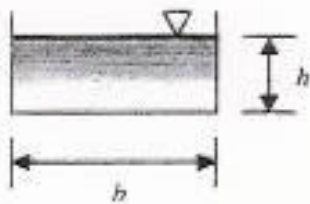
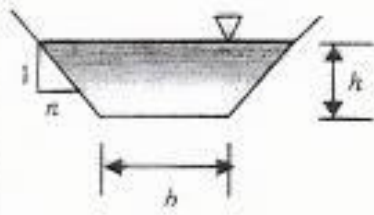
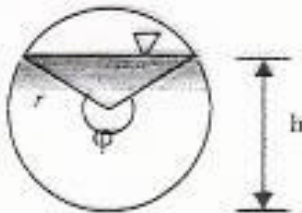
$$\chi = \frac{1}{n} \cdot R(h)^{1/6} \quad \text{Manning} \quad (7)$$

dove i parametri  $\gamma$ ,  $m$ ,  $k_s$  ed  $n$  dipendono dalle caratteristiche di scabrezza della superficie bagnata e si trovano tabellati nei manuali tecnici (vedi Tabella 1.2).

**Tabella 1.2 - Coefficienti di scabrezza per i canali**

<i>Tipo di canale</i>	<i>Bazin</i> $\gamma$ [m <sup>1/2</sup> ]	<i>Kutter</i> $m$ [m <sup>1/2</sup> ]	<i>Gauckler Strickler</i> $k_s$ [m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	<i>Scabrezza omogenea equivalente</i> $\epsilon$ [mm]
Pareti di cemento perfettamente lisciate. Pareti metalliche con giunti a filo.	0.06	0.12	100 + 90	0.15 ÷ 0.20
Pareti di cemento non perfettamente lisciate. Pareti metalliche con giunti in risalto. Muratura di mattoni molto regolare.	0.16	0.20 ÷ 0.25	85 ÷ 75	0.40 ÷ 1.00
Pareti di cemento non in perfette condizioni. Muratura di mattoni ordinaria.	0.23 ÷ 0.36	0.35 ÷ 0.55	70 ÷ 65	2 ÷ 5
Pareti di cemento non lisciate. Muratura di mattoni irregolare o di pietrame. Pareti in terra molto regolare senza vegetazione.	0.46	0.55 ÷ 0.75	60	8
Muratura vecchia e in condizioni non buone. Pareti in terra regolare.	0.60 ÷ 0.85	0.75 ÷ 1.25	50	15 ÷ 30
Pareti rivestite con gabbioni o materassi in rete metallica riempiti con pietrame.	1.0	-	45	-
Pareti in terra con erba. Corsi d'acqua naturali regolari.	1.30	1.50	40	70
Pareti in terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.	1.75	2.00	35	120 ÷ 200
Canali in abbandono con vegetazione alta e abbondante. Corsi d'acqua naturali con grossi ciottoli o con grossi massi sull'alveo.	2.00 ÷ 2.30	3.00	30	300 ÷ 400

**Tabella 1.3** - Area, contorno bagnato e larghezza del pelo libero in funzione del tirante idrico per diversi tipi di sezione di canali a pelo libero.

<i>Sezione</i>	<i>Area</i>	<i>Contorno bagnato</i>	<i>Larghezza pelo libero</i>
<p>RETTANGOLARE</p> 	$hb$	$b + 2h$	$b$
<p>TRAPEZIA</p> 	$h(b + nh)$	$b + 2h\sqrt{1+n^2}$	$b + 2nh$
<p>CIRCOLARE</p>  <p><math>\varphi = 2 \arccos\left(1 - \frac{h}{r}\right)</math></p>	$\frac{r^2}{2}(\varphi - \text{sen } \varphi)$	$r\varphi$	$2r \text{sen } \frac{\varphi}{2}$

## Verifica

**Ipotesi: moto uniforme** →

$$i = J$$

Se il moto è  
**puramente turbolento** :

$$J = \frac{V^2}{\chi^2 R} = \frac{Q^2}{\chi^2 R A^2}$$

**Equazione di Chezy**

$$V(h) = \chi(h) \sqrt{R(h) i}$$

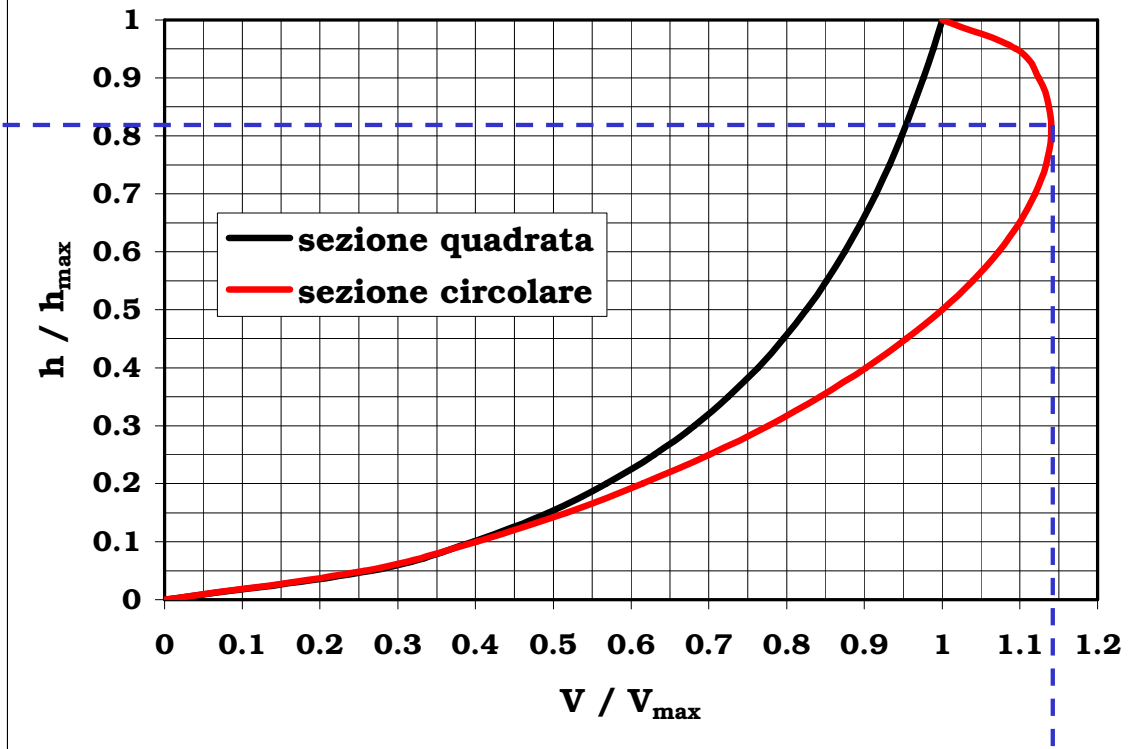
**Scala delle velocità**

$$Q(h) = A(h) \chi(h) \sqrt{R(h) i}$$

**Scala  
delle  
portate**



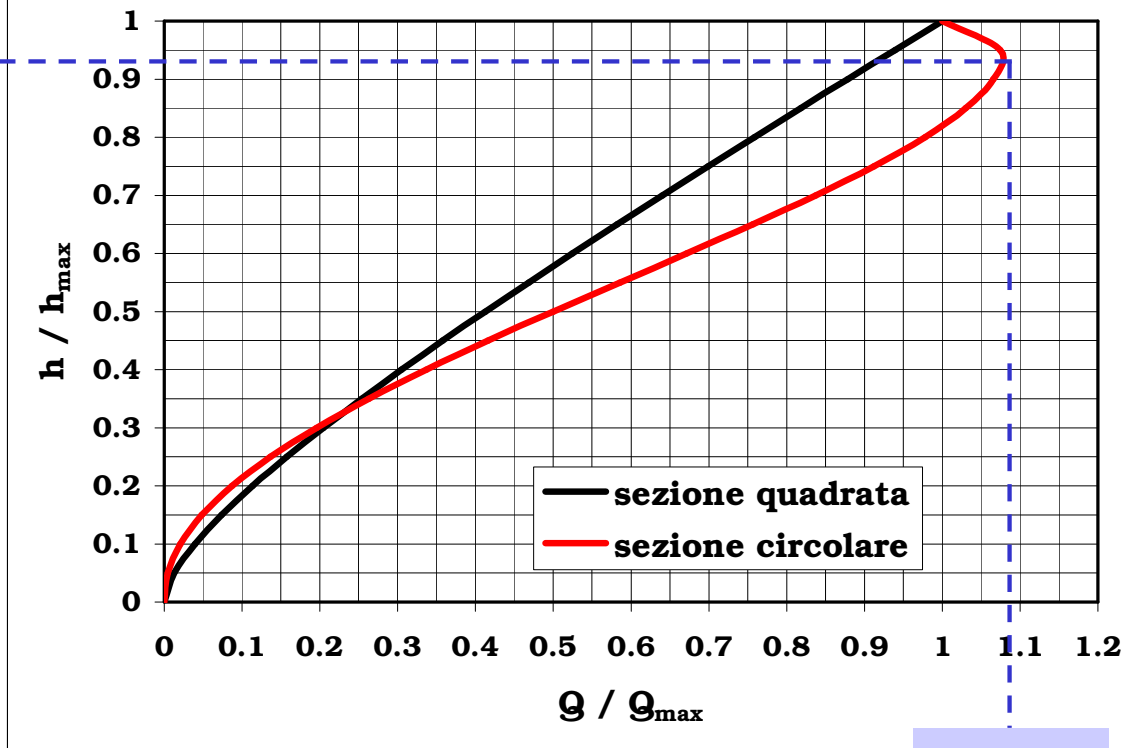
### Scala delle velocità



0.81

1.14

### Scala delle portate



0.94

1.076

# **Problema di PROGETTO:**

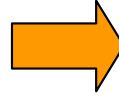
*assegnati*

- 1) **la portata  $Q$**
- 2) **il dislivello geodetico**
- 3) **la distanza**

*determinare la geometria del sistema, ossia*

- a) **il tracciato plano-altimetrico**
- b) **la forma della sezione**
- c) **le dimensioni della sezione**
- d) **il tipo di rivestimento dell'alveo**

*Il problema di progetto ha più di una soluzione*



**Ricerca della soluzione di minimo costo**

★ *Tracciato plano-altimetrico :*

- A) limitare il ricorso a gallerie e ponti-canali**
- B) limitare lo sviluppo longitudinale**
- C) limitare le variazioni di pendenza**

★ *Forma e dimensione della sezione :*

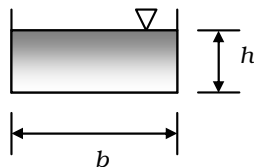
- A) limitare l'area della sezione**
- B) limitare lo sviluppo del perimetro da rivestire**
- C) limitare le complicazioni nella forma**

La sezione trasversale può essere **aperta** o **chiusa**.

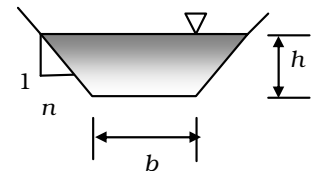
Alcune delle sezioni più comuni sono:

**aperte**

**rettangolare**



**trapezia**

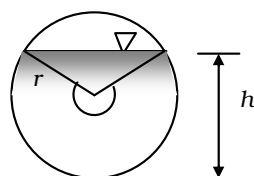


**a fondo curvo**

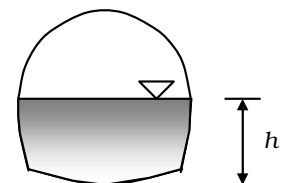


**chiusa**

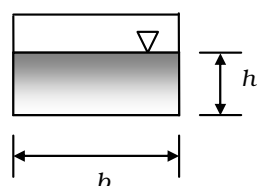
**circolare**



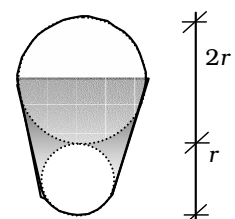
**a ferro di cavallo**



**rettangolare**



**ovoidale**



## Efficienza idraulica:

*sezioni con  
rapporto larghezza/altezza equilibrato*

Generalmente si considera:

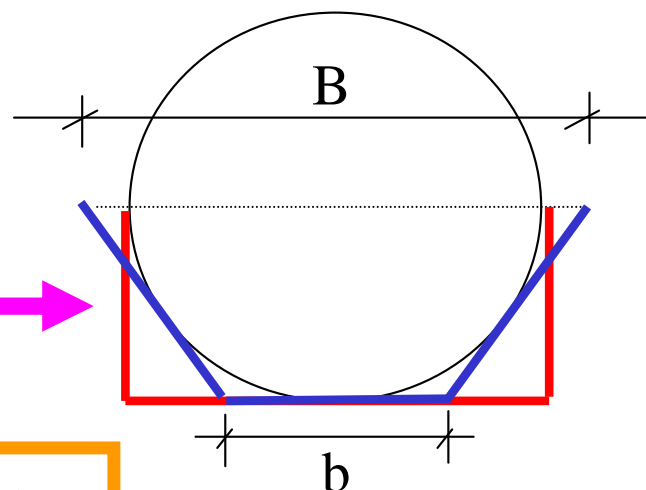
→  $1.25 \leq B/h \leq 5$

### Sezioni di minima resistenza:

A parità di area bagnata il  
contorno bagnato è  
minimo.

**Sono quelle sezioni  
con un cerchio o un  
semicerchio inscritto**

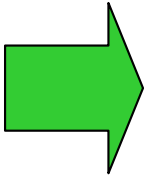
**N.B.: non  
sono sempre  
quelle di  
minor costo**



$$b/h \approx 2[(1 + m^2)^{0.5} - m]$$

$$B/h \approx 2$$

## **Velocità ammissibili:**

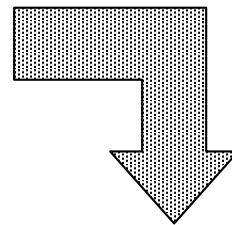


**Dipendono dalle caratteristiche dell'alveo e dalla presenza o meno di solidi sospesi nella corrente:**

**Velocità minime: 0.6 - 0.9 m/s**

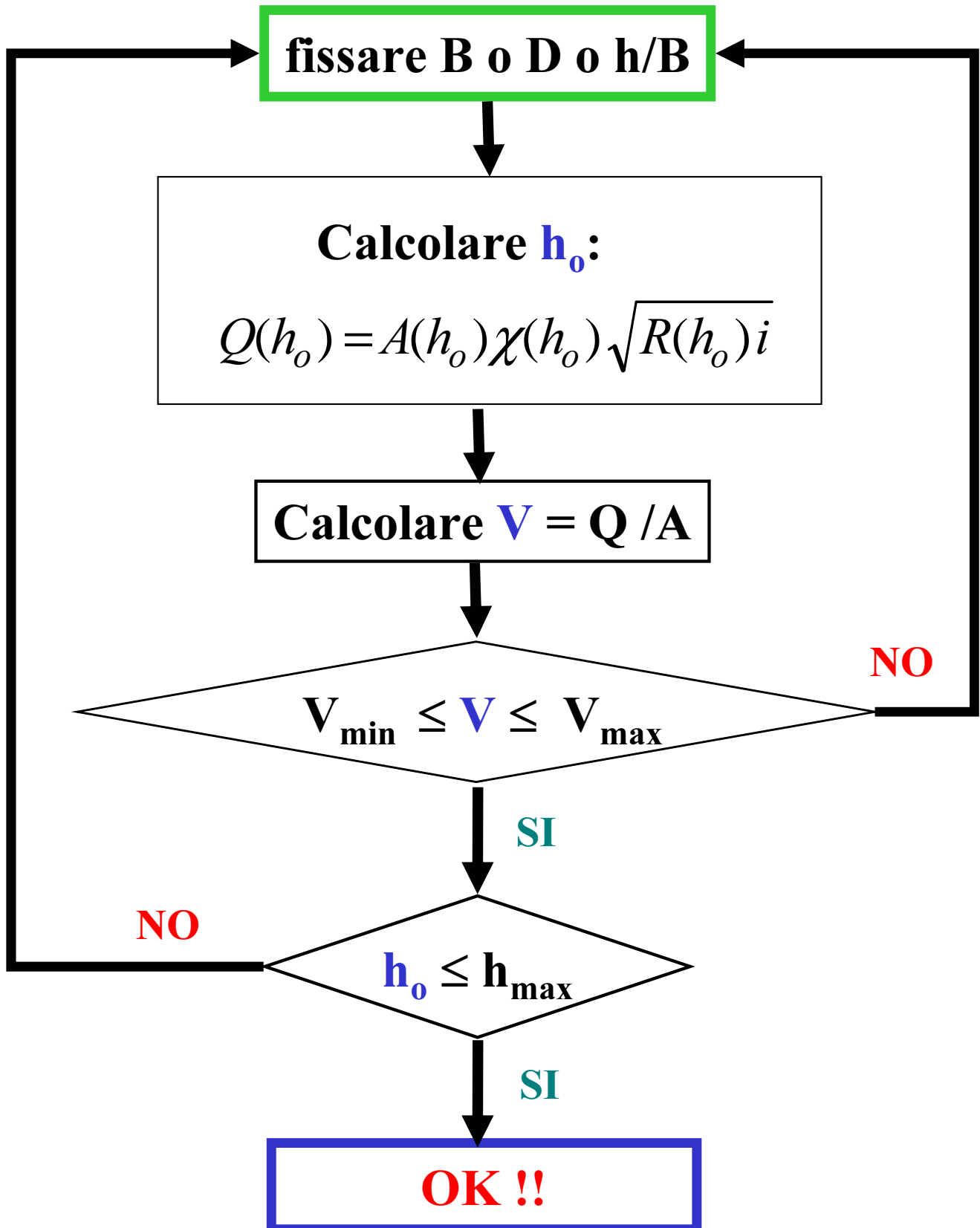
**Velocità massime: 0.7 - 2 m/s**

**Velocità minima per evitare la crescita della vegetazione (canali in terra non rivestiti)**

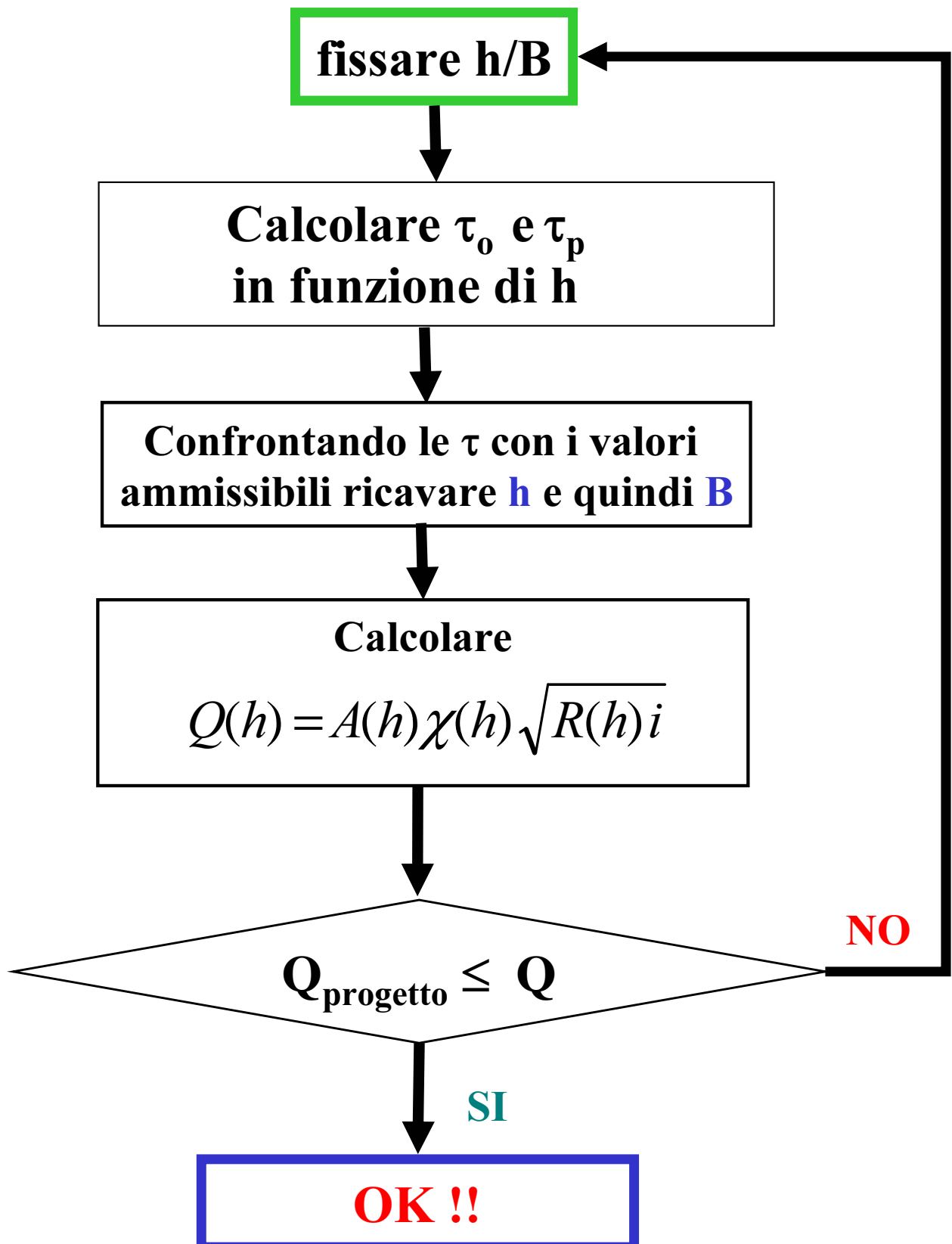


**$V > 0.75 \text{ m/s}$**

**Procedura di dimensionamento  
per alvei non erodibili:**

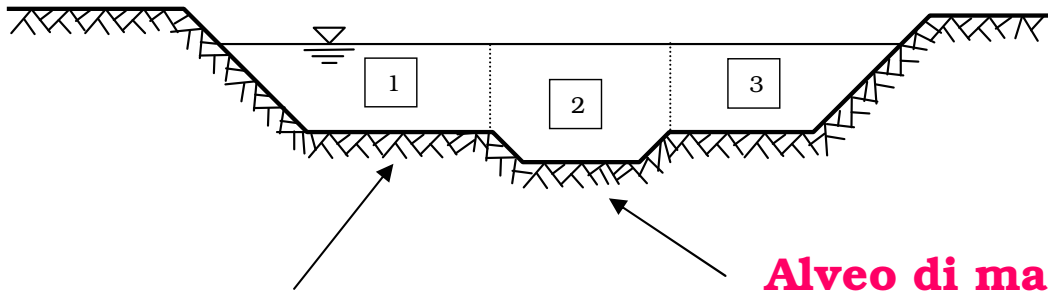


**Procedura di dimensionamento (eq. limite)  
per alvei erodibili:**





# Alvei con sezione composta



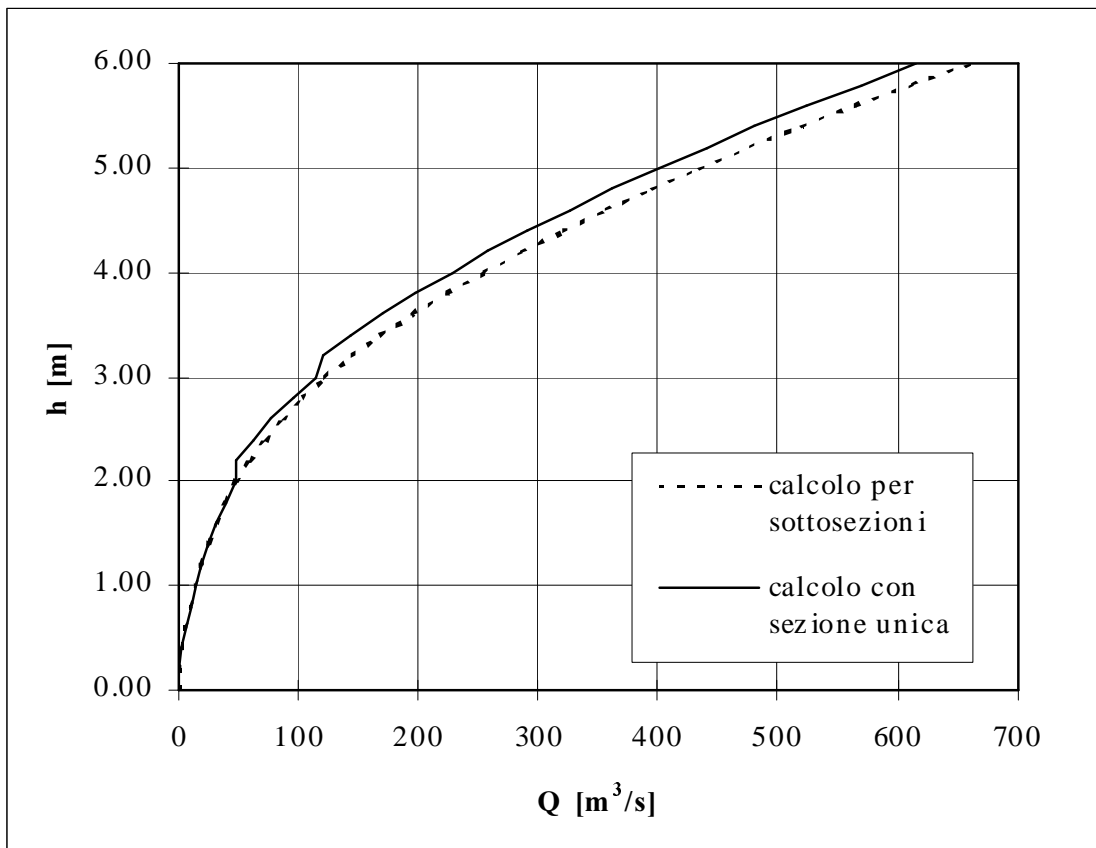
**Espansione golenale**

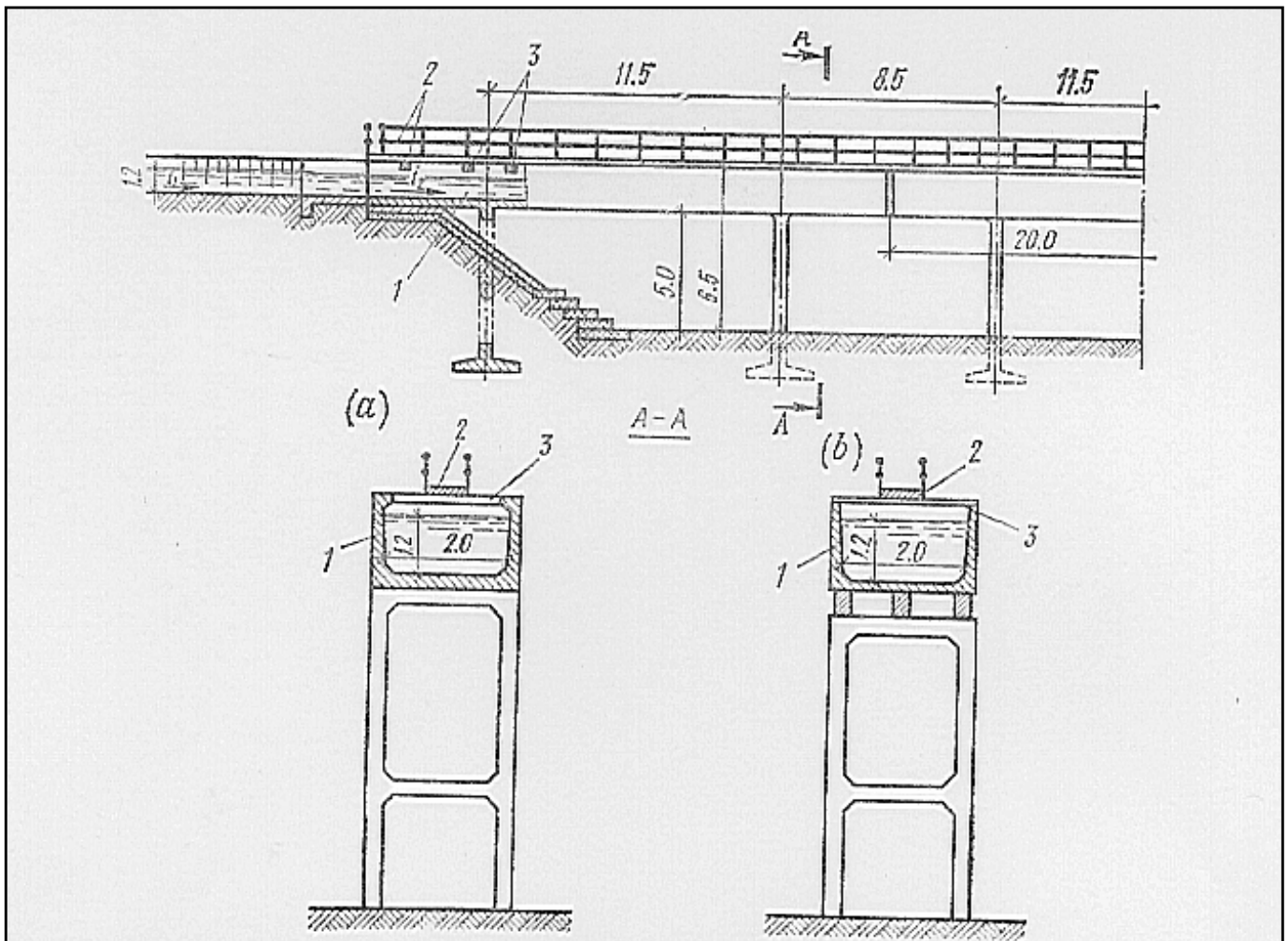
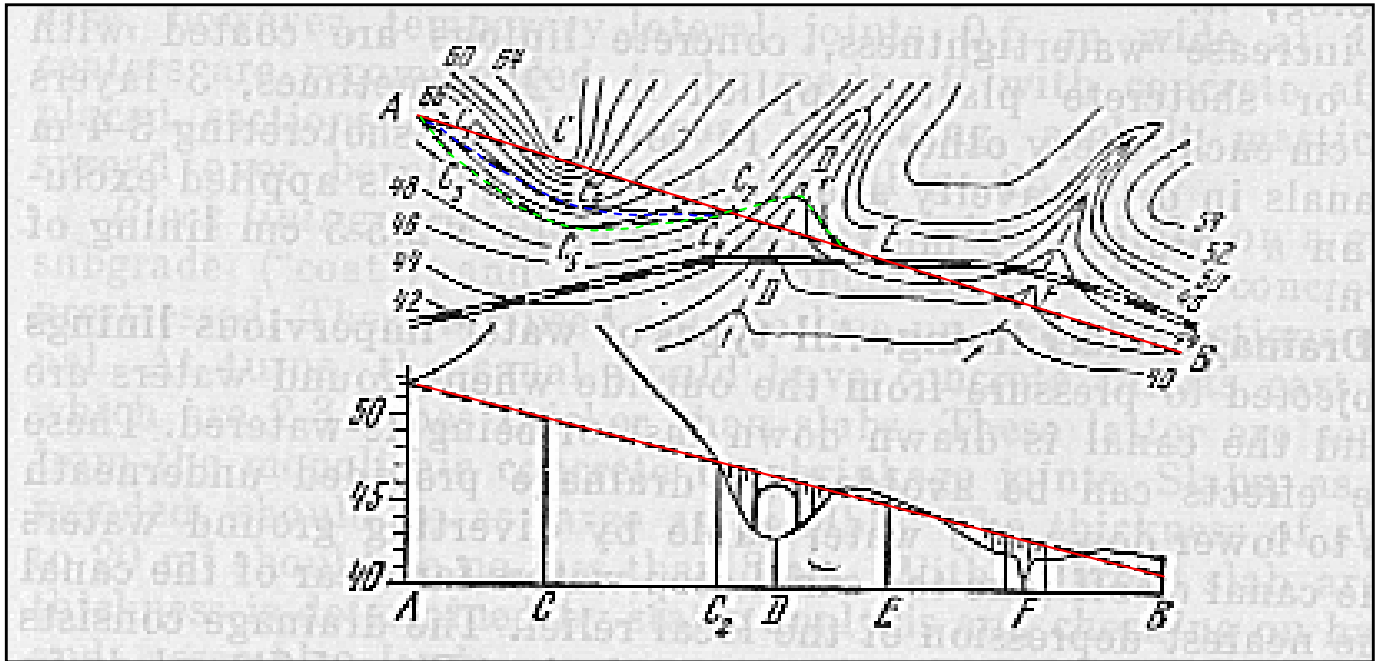
**Alveo di magra**

## Scabrezza equivalente

[Engelund, 1966]

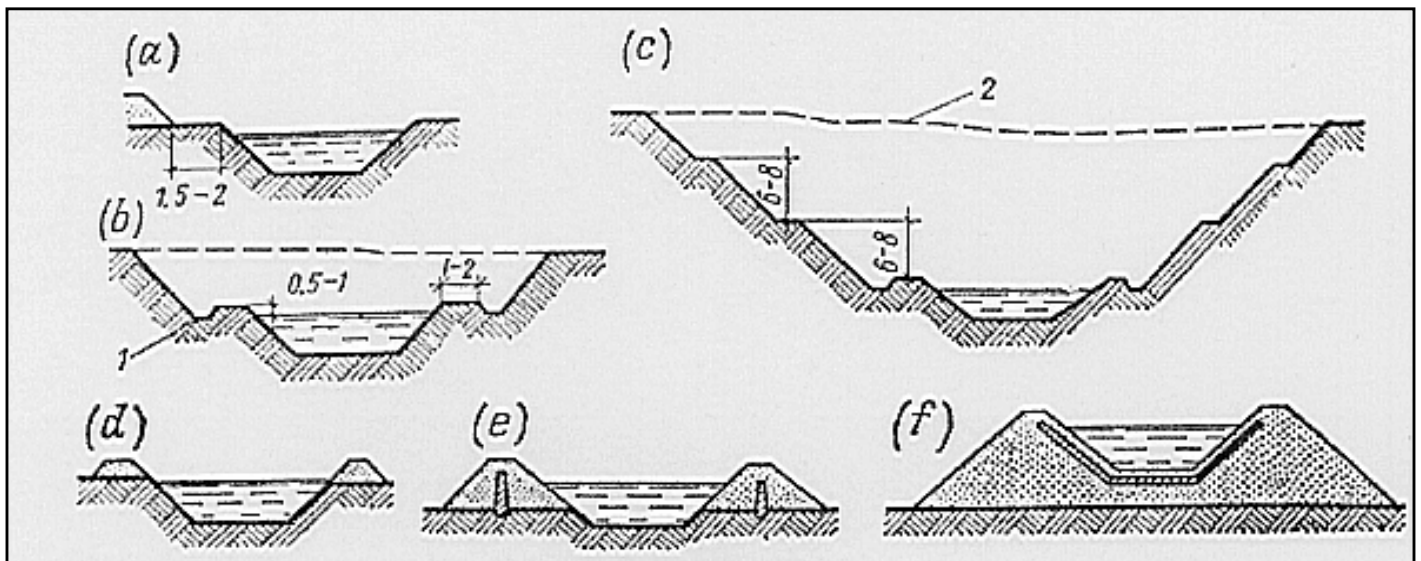
$$\chi_{eq} = \frac{\sum_i R_i^{1/2} A_i \chi_i}{\sum_i R_i^{1/2} A_i}$$



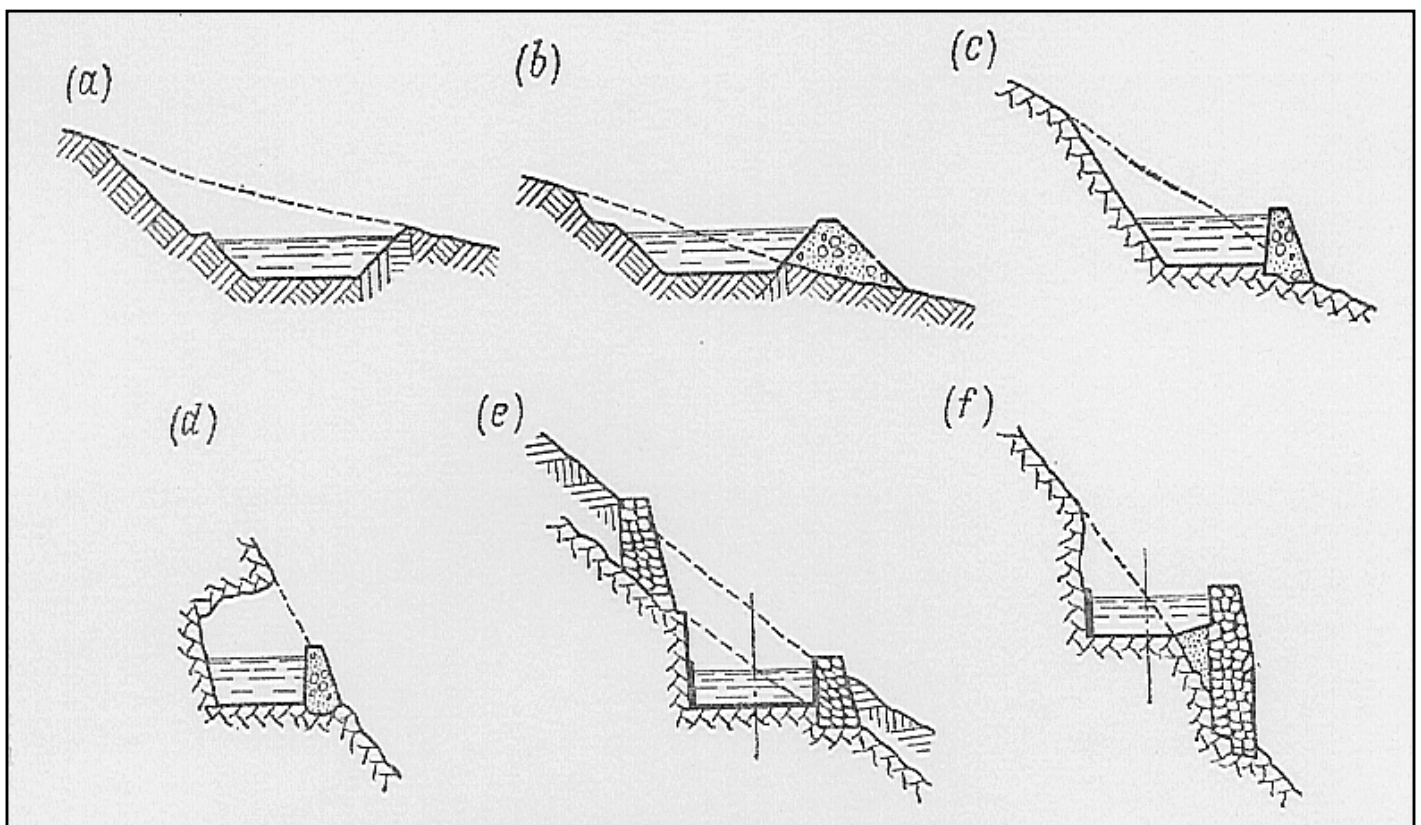


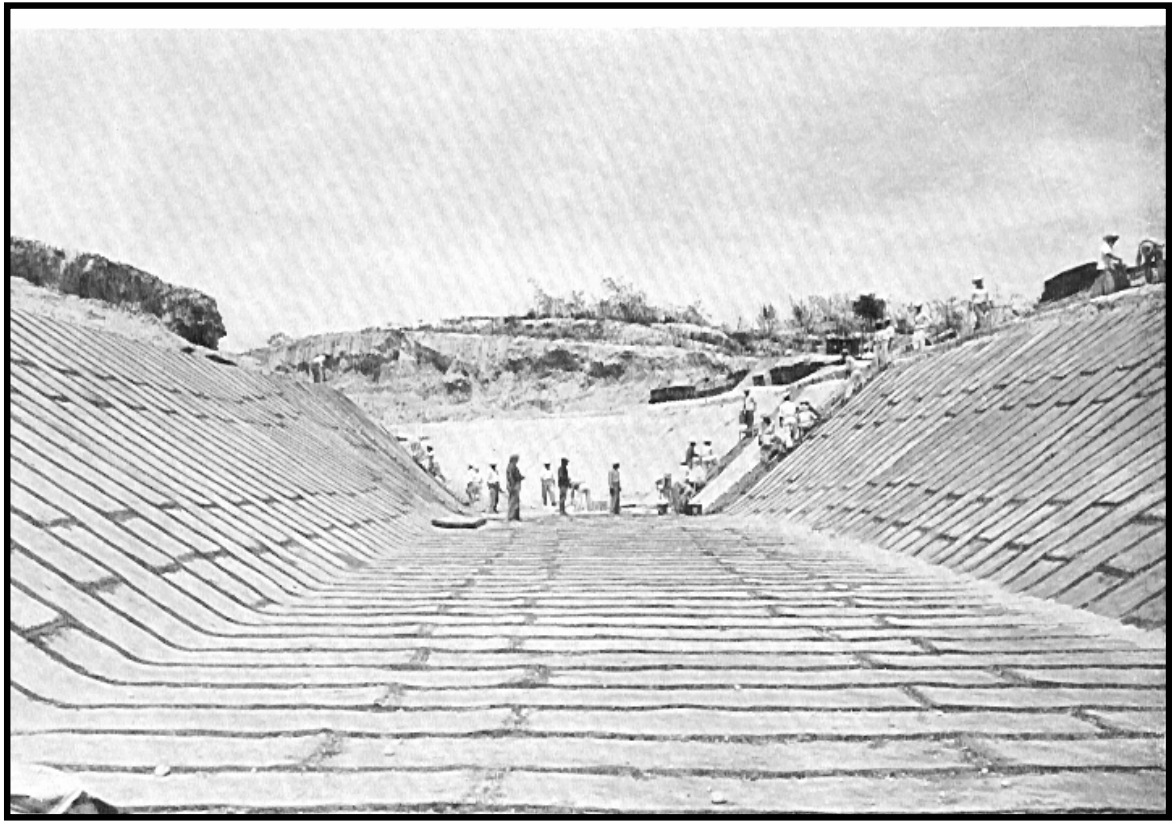
**Fig. 26.2. Reinforced-concrete flume on trestle (aqueduct)**  
 (a) load-carrying in span between supports; (b) with longitudinal beams carrying load in span between supports; 1—flume; 2—foot-pass; 3—beams (bracings)

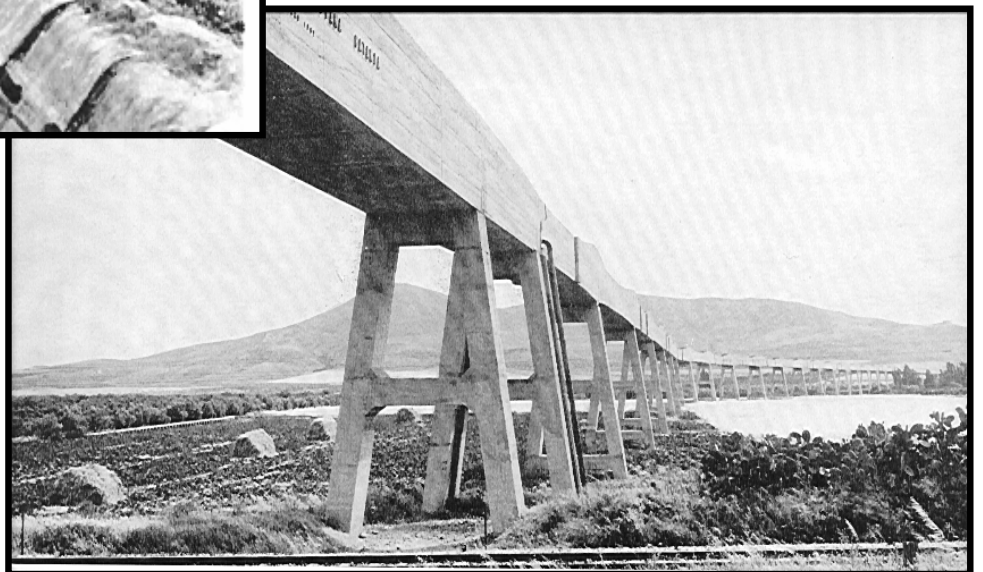
## Canali su terreno pianeggiante

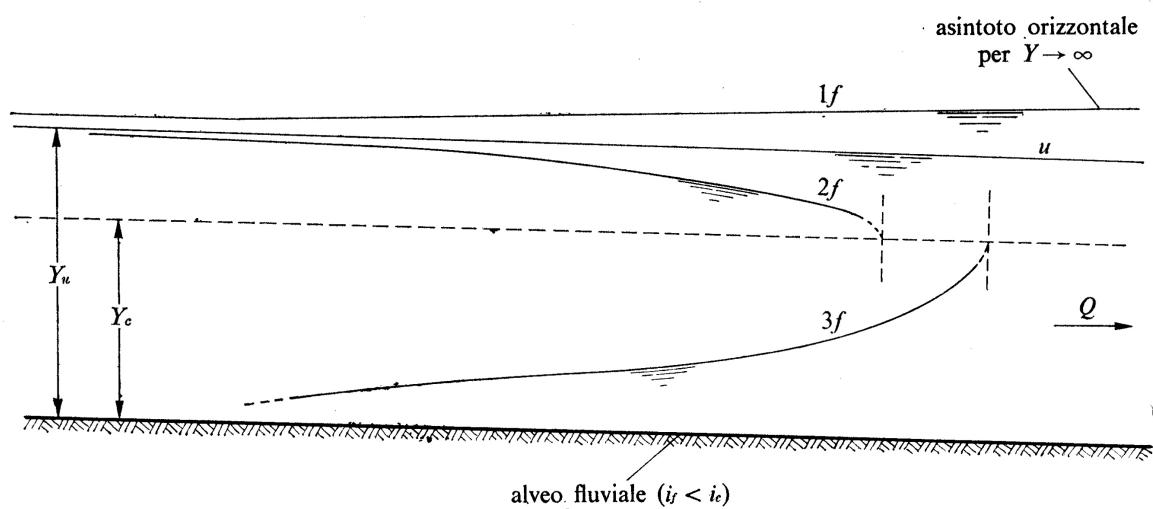


## Canali su terreno non pianeggiante

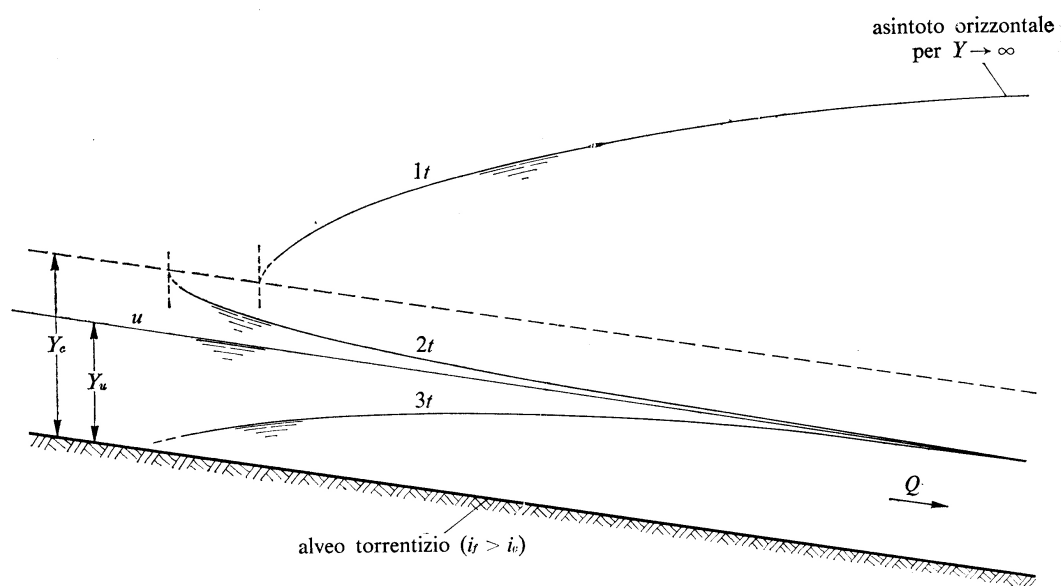








Profili di corrente in alveo fluviale per la portata data.

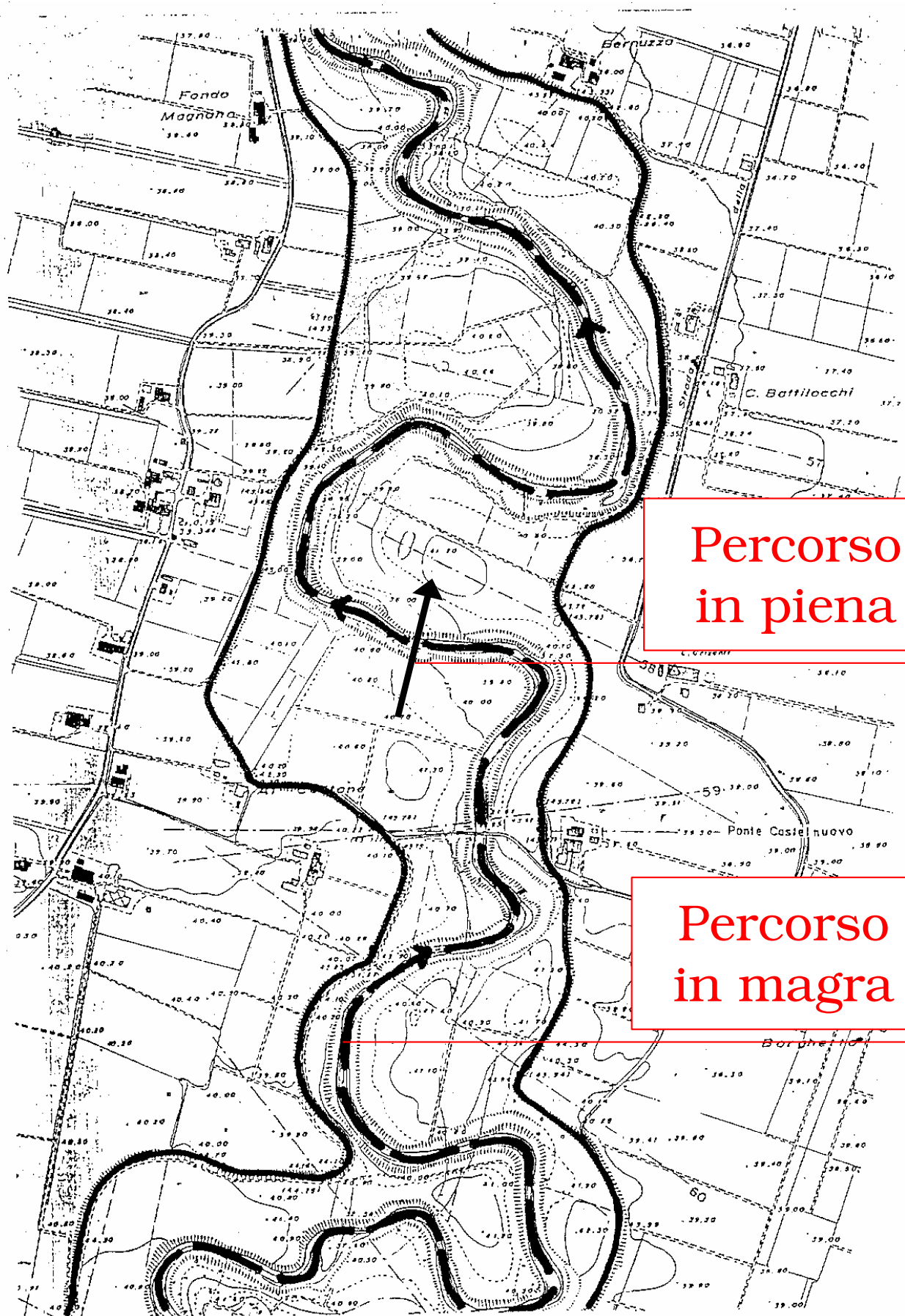


Profili di corrente in alveo torrentizio per la portata data.

$$\frac{dE}{ds} = i - J$$

$$\frac{dh}{ds} \left( 1 - \frac{\alpha Q^2}{g A^3} B \right) - \frac{\alpha Q^2}{g A^3} \frac{\partial A}{\partial s} = i - J$$





Percorso  
in piena

Percorso  
in magra



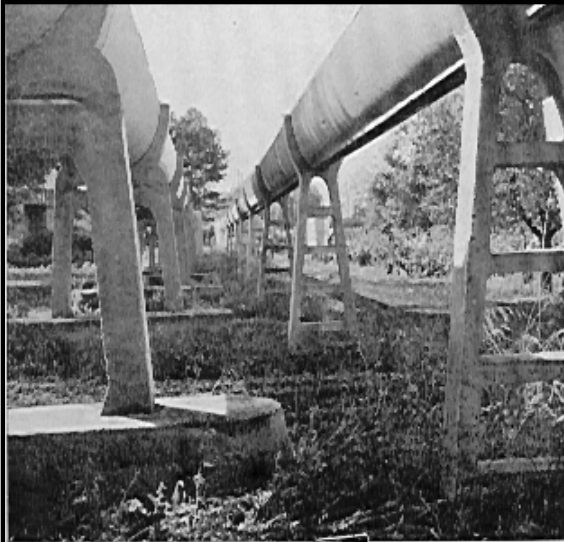


Fig. 65 - Canale principale e secondario in parallelo, realizzati con canaline pensili prefabbricate.  
(Foto Casmez)

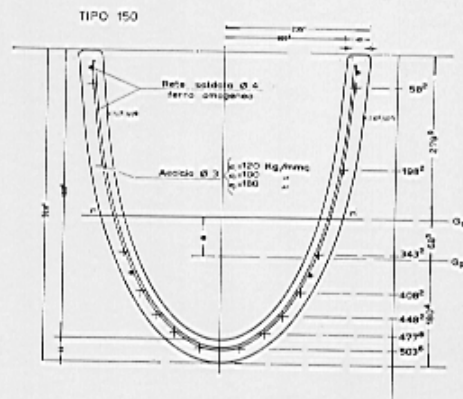
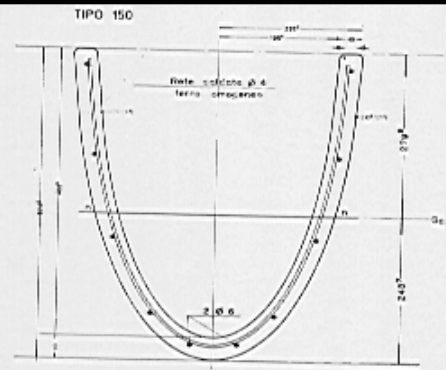
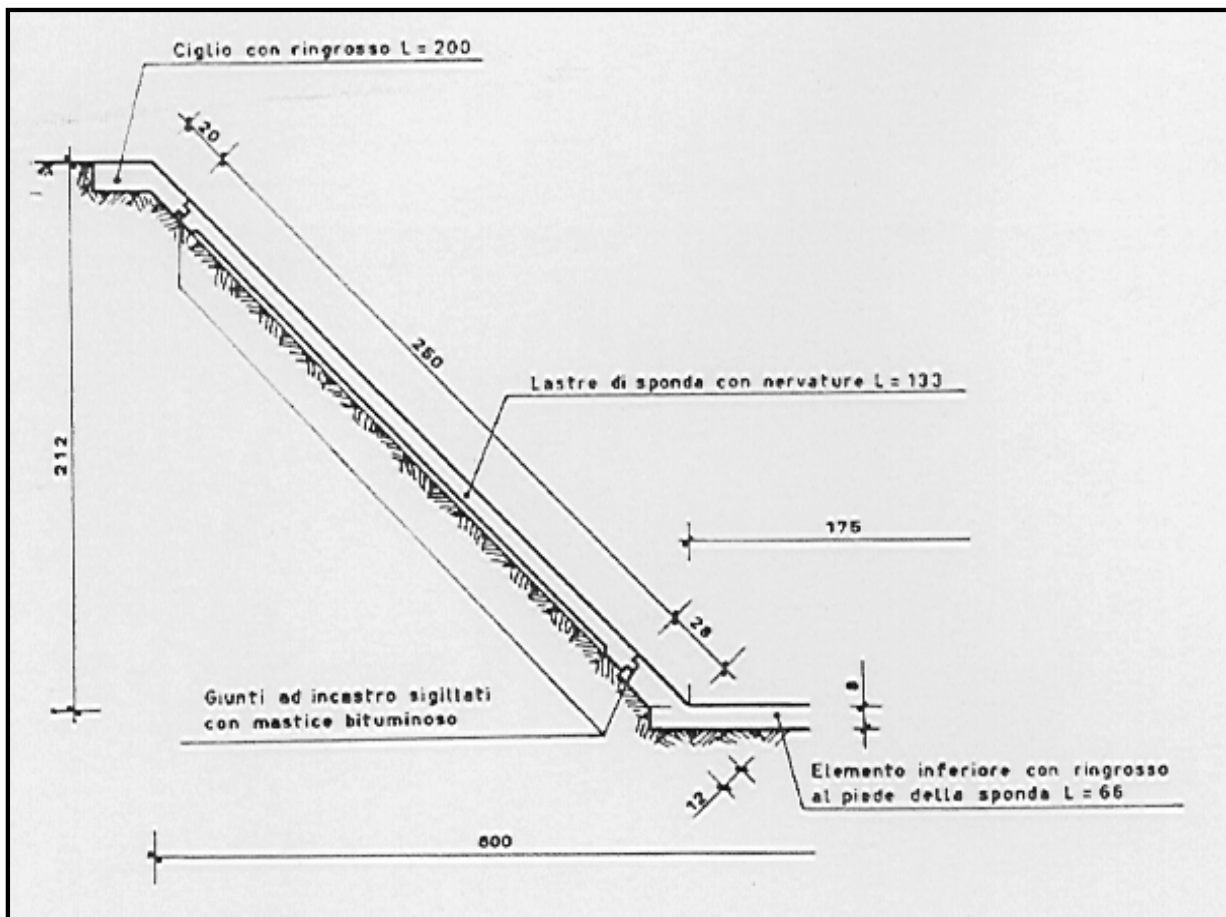


Fig. 66 - Sezioni tipo in c.a. normale e c.a. precompresso di canaline prefabbricate adottate per i lavori della Cassa per il Mezzogiorno.



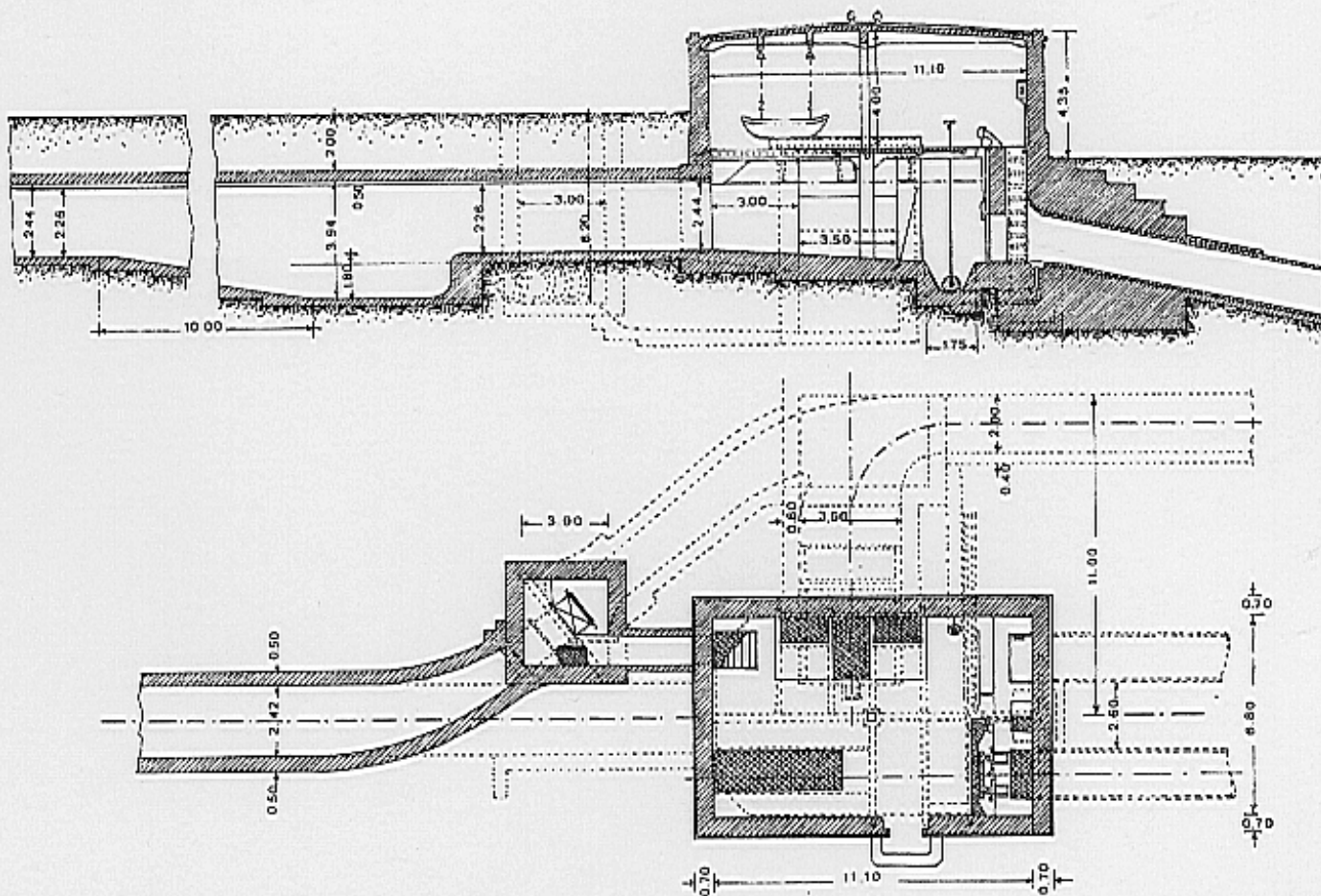


Fig. 25 - Acquedotto pugliese. Canale chiuso superficiale con camera di carico terminale.

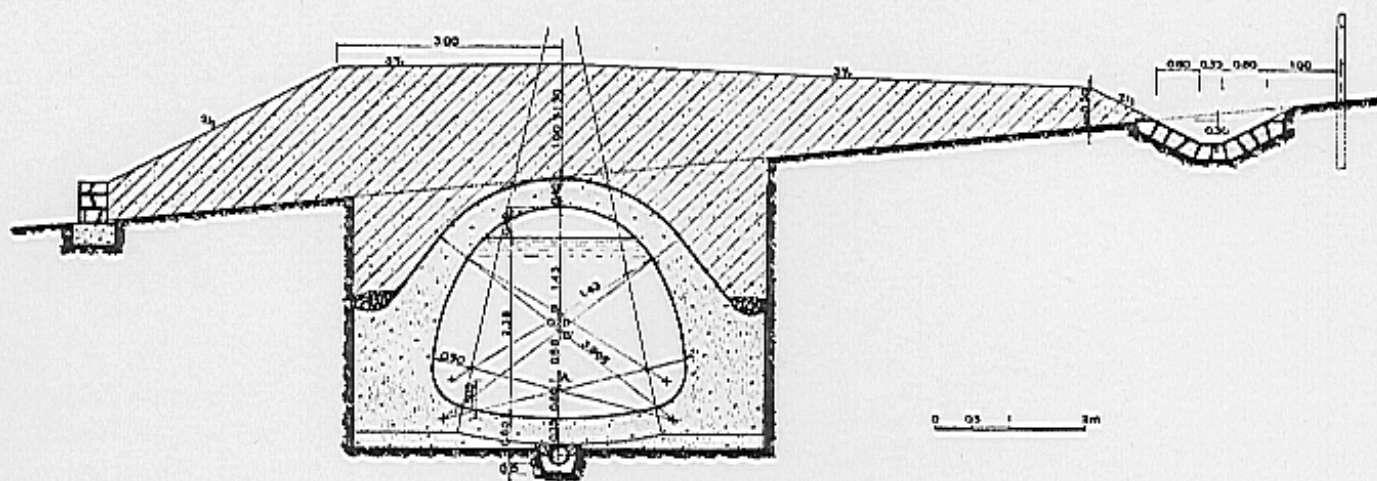
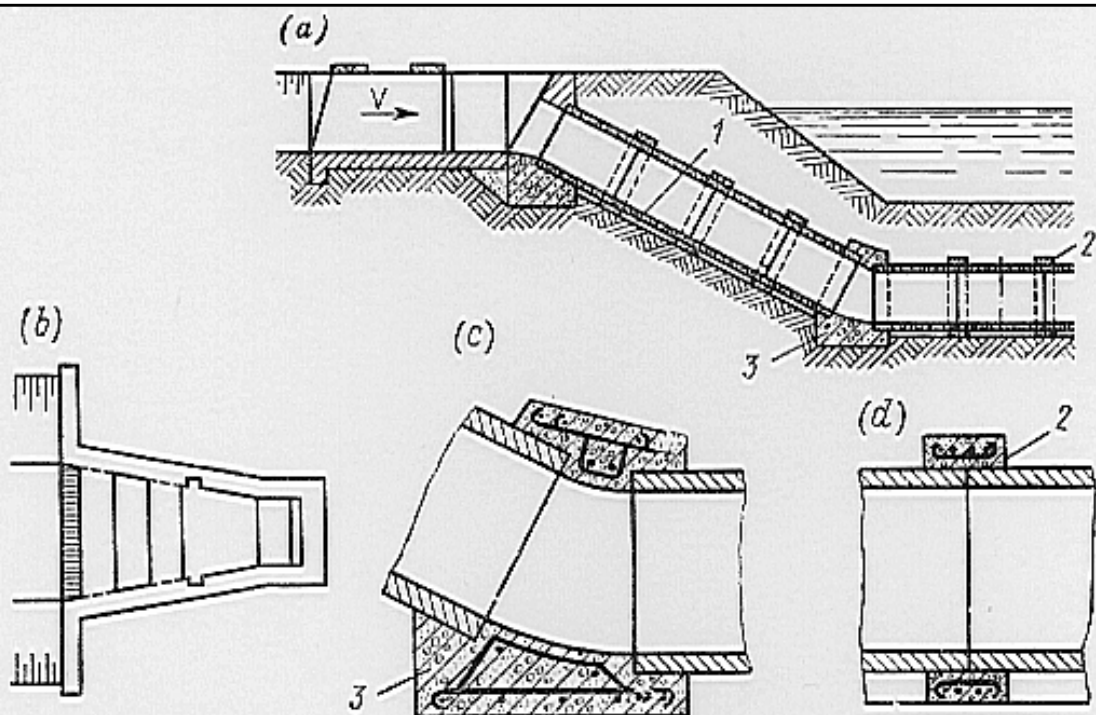
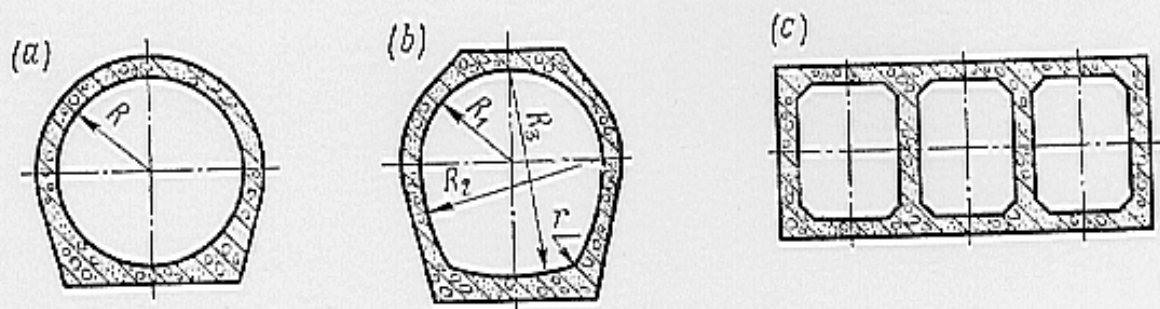


Fig. 26 - Acquedotto campano. Canale chiuso superficiale (portata 10 m<sup>3</sup>/s).



**Fig. 26.4. Single-barrel inverted siphon made of piped sections**

(a) longitudinal section; (b) entrance in plan; (c), (d) elements of pipe coupling; 1—concrete subgrade; 2—reinforced-concrete ring at pipe section joint; 3—reinforced-concrete anchor support

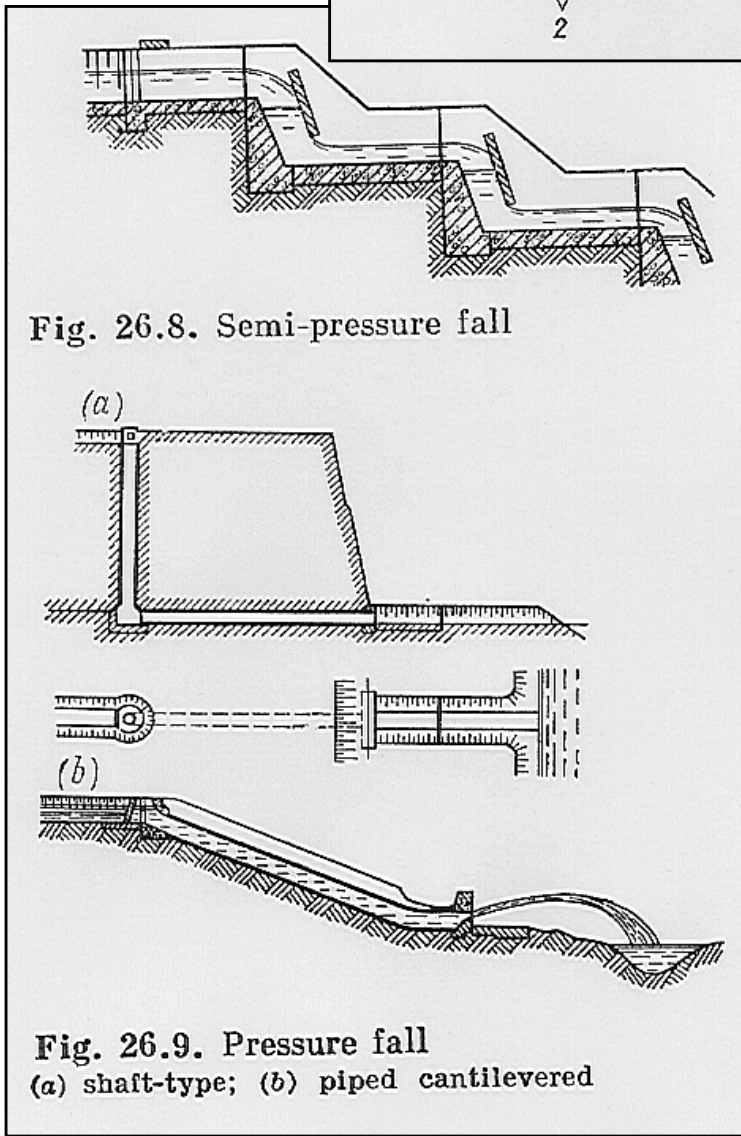
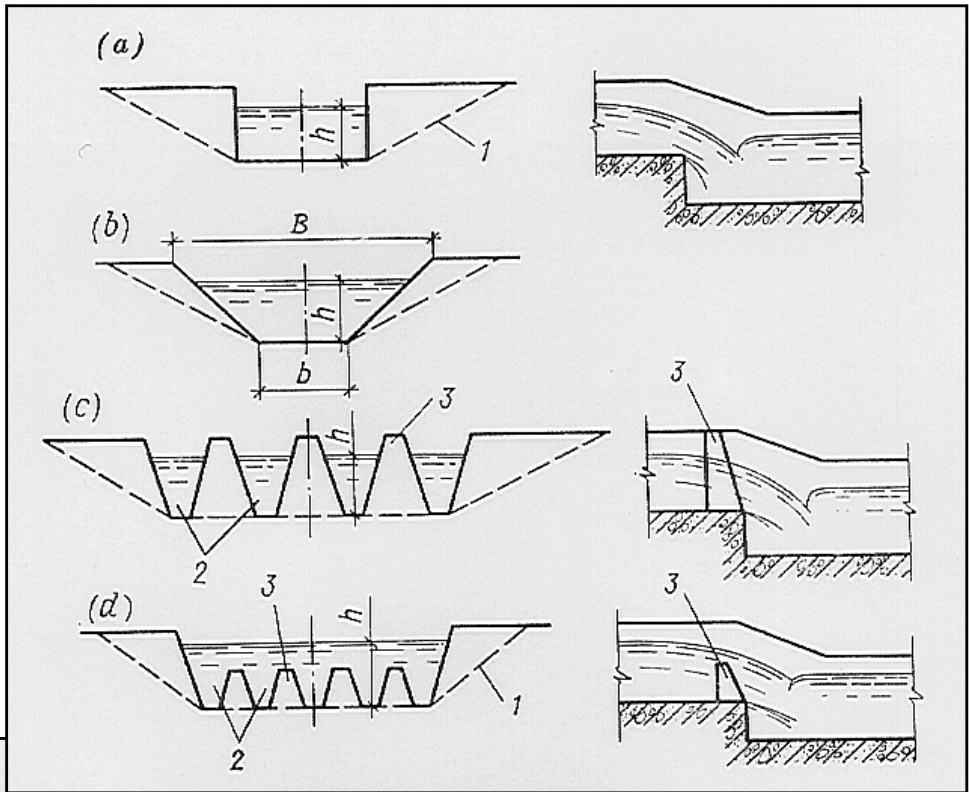
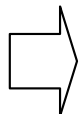


**Fig. 26.5. Types of inverted siphon cross-sections**

(a) circular; (b) box-shaped; (c) rectangular multi-barrel

13-01578

**Salti con caduta libera**



**Salti in pressione**