

Corsi di laurea di I livello:

Scienze e tecnologie agrarie

Gestione tecnica del territorio agroforestale e sviluppo rurale

Materia: **Idraulica agraria** (6 CFU)

Lezione: **Correnti a superficie libera**

docente: prof. Antonina Capra

a.a. 2009-10

## CORRENTI A SUPERFICIE LIBERA

Sono correnti in cui la parte superiore del perimetro bagnato è a pressione atmosferica ed il resto è a contatto con un solido

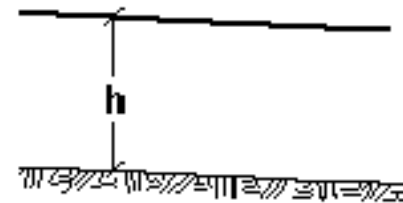
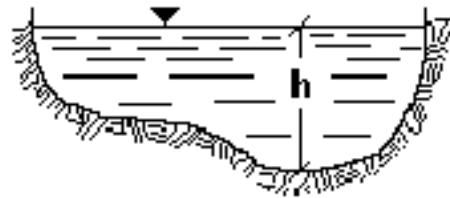


SEZIONE APERTA



SEZIONE CHIUSA

**Profilo della corrente:** luogo dei punti di intersezione della superficie libera con la verticale passante per il punto più depresso di ogni sezione. Le sezioni possono essere considerate piane e verticali.



## **REGIME DI MOTO PER LE CORRENTI A SUPERFICIE LIBERA**

**Nelle correnti, in qualsiasi condizione di moto, individuiamo le seguenti quote:**

**$z =$  quota geodetica o geometrica (energia di posizione)**

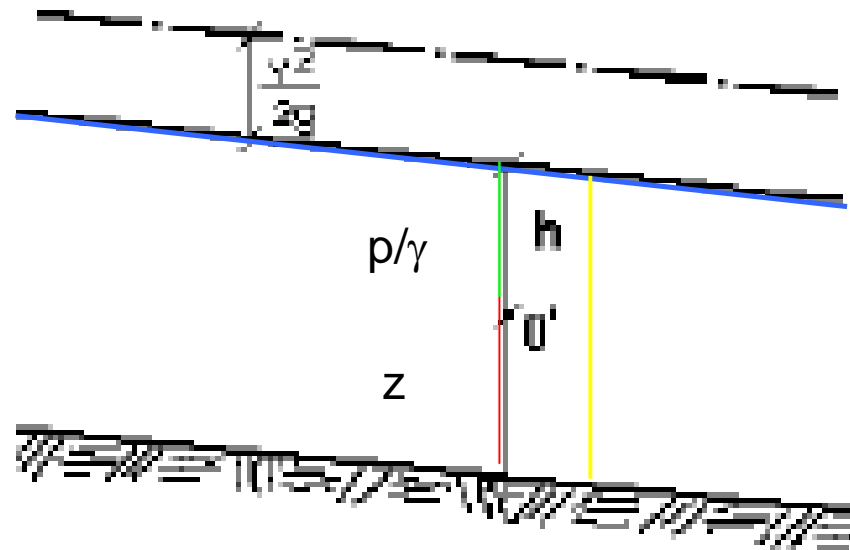
**$p/\gamma =$  altezza piezometrica (energia di pressione, pari al tirante idrico  $h$  se i calcoli vengono svolti rispetto al fondo del canale)**

**$v^2/2g =$  altezza cinetica (energia cinetica)**

**La somma delle prime due quantità è la quota piezometrica. Aggiungendo l'energia cinetica si ottiene il piano dei carichi totali.**

La quota individuata dal profilo liquido è quota piezometrica per la sezione ( $z+p/\gamma=h$  rispetto al fondo del canale).

La linea piezometrica e il profilo liquido coincidono.



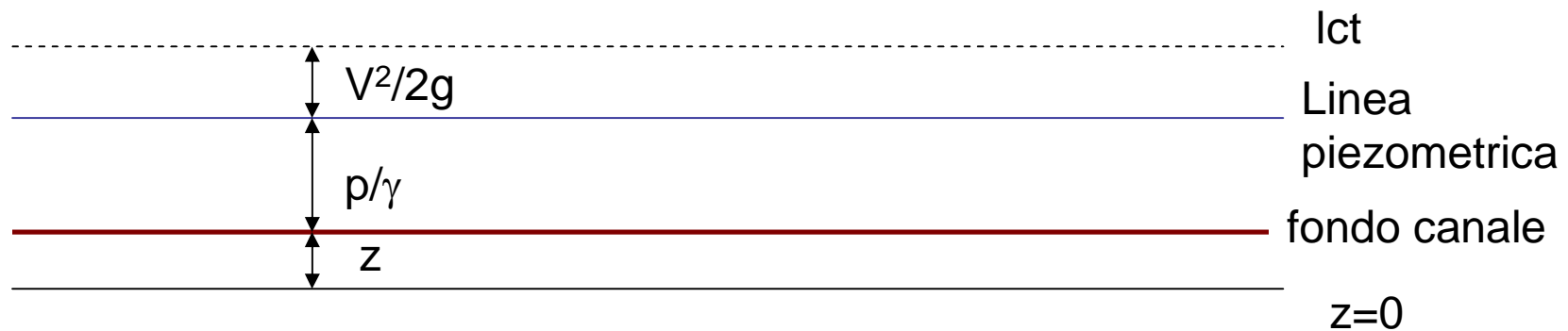
Nel caso di **liquidi perfetti** (assenza di sforzi tangenziali):

$$z_1 + p_1/\gamma + v_1^2/2g = z_2 + p_2/\gamma + v_2^2/2g$$

o, in forma più generale:

$$z + p/\gamma + v^2/2g = \text{cost} \quad \text{(EQUAZIONE DI BERNOULLI)}$$

In condizioni di **moto uniforme**, la linea dei carichi totali risulta essere una linea parallela al piano di riferimento  $z=0$ .

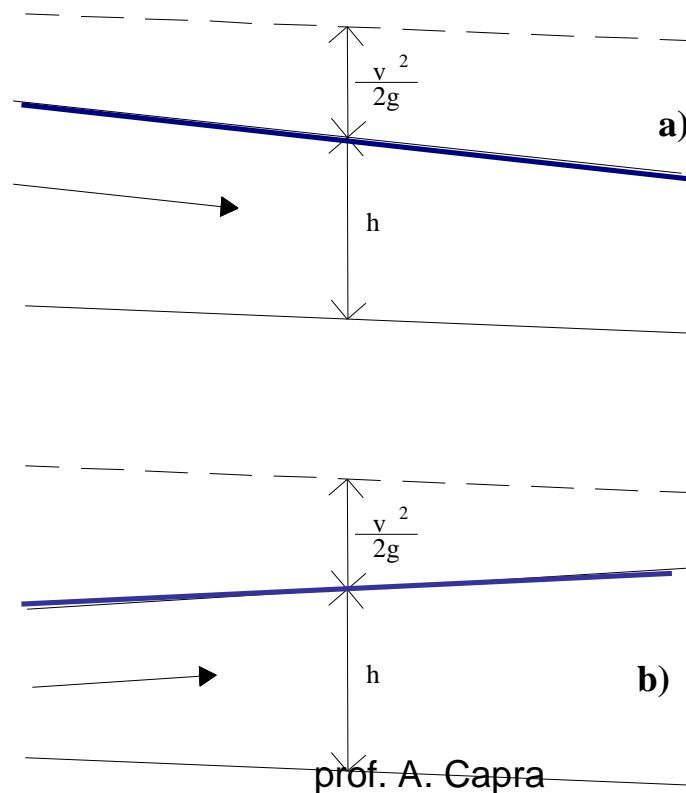


## Moto stazionario

Nel caso in Figura,

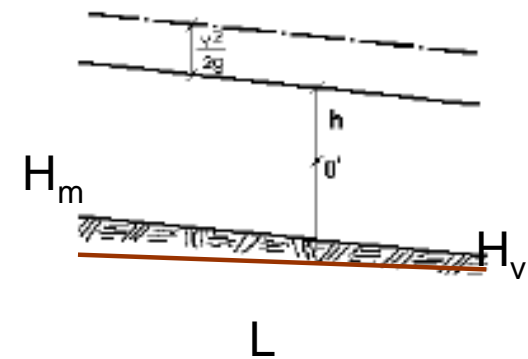
a) la linea dei carichi totali si allontana dal pelo libero procedendo verso valle; le sezioni trasversali siano di area decrescente, **moto accelerato**

b) la linea dei carichi totali si avvicina al pelo libero le sezioni trasversali siano di area crescente, **il moto è ritardato**



# Correnti a pelo libero in moto uniforme (liquidi reali)

- E' il più semplice tipo di moto che possono assumere le correnti a pelo libero
- Si verifica quando l'acqua si sposta nel canale in modo che la superficie libera mantenga una distanza  $h$  costante dal fondo
- Tutte le sezioni idriche sono quindi identiche lungo l'asse del canale e tali si mantengono nel tempo
- In pratica si attua in canale rettilineo, di pendenza e sezione trasversale costante, di notevole lunghezza, in cui si immette una  $Q$  costante
- Il pelo libero, coincidente con la piezometrica risulta parallelo al fondo
- Se la pendenza del fondo  $i$  è piccola, la cadente piezometrica  $J$  è pari alla pendenza del fondo, quindi
- **$J=i=H_m-H_v/L$  (dislivello monte-valle/lunghezza**



## CORRENTI A SUPERFICIE LIBERA

Il dimensionamento e la verifica dei canali in cui la corrente si muove di moto uniforme si basano sulla legge del moto uniforme di Chezy, valida per il regime di moto puramente turbolento, indicando con  $R$  [L] il raggio idraulico, pari al rapporto tra l'area e il perimetro bagnato

$$J = \frac{V^2}{X^2 R} \quad \text{che si può scrivere} \quad V = X\sqrt{R \cdot J}$$

oppure, considerato che  $J=i$  (pendenza del fondo del canale)

$$V = X\sqrt{R \cdot i}$$

con  $X$  (coefficiente di scabrezza [ $L^{1/2}/T$ ]) esprimibile con le formule di Bazin, Kutter o Strickler:

$$\text{Bazin: } X = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad \text{Kutter: } X = \frac{100}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad \text{Strickler: } X = kR^{1/6}$$

Essendo:  $\underline{V}$  la velocità media del canale (L/T);  $\underline{J}$  la pendenza della linea piezometrica che coincide con la pendenza  $\underline{i}$  del canale



**VALORI DEI COEFFICIENTI DI SCABREZZA PER LE TUBAZIONI**

Materiale dei tubi e loro specificazioni: tipo di rivestimento e stato delle pareti	$\gamma$ [m <sup>1/2</sup> ]	m [m <sup>1/2</sup> ]	k [m <sup>1/3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	$\epsilon$ [mm]
<b>Vetro</b>	—	—	—	0,001 + 0,002
<b>Materie plastiche</b> polivinil cloruro - polietilene - polipropilene	—	—	—	0,002 + 0,004
<b>Metalli colorati</b> rame - ottone - piombo alluminio	—	—	—	0,004 + 0,01 0,015 - 0,05
<b>Cemento armato</b> vecchi e nuovi	0,06	0,10	110 + 100	0,10 + 0,15
<b>Acciaio (tubi forgiati)</b> tipo Mannesmann, nuovi	0,10	0,16	95	0,2 + 0,5
tipo Mannesmann, in servizio corrente	0,16	0,23	83	0,6 + 1,2
bitumati, nuovi	0,10	0,16	95	0,2 + 0,5
bitumati, centrifugati, nuovi, giunti Gibaut, d < 350 mm	—	—	—	0,01
<b>Acciaio (tubi saldati)</b> non rivestiti, nuovi	0,06	0,10	110 + 100	0,10 + 0,15
bitumati o catramati a freddo, nuovi	0,10	0,16	95	0,2 + 0,5
bitumati a caldo	—	—	—	0,025 + 0,04
catramati, in servizio corrente	0,16	0,23	83	0,6 + 1,2
<b>Lavorate (tubi chiodati)</b> dioidatura long. doppia, giunti conici	0,16	0,23	83	0,6 - 1,2
chiodatura long. doppia, trasv. semplice, giunto cilindrico in servizio corrente	0,20	0,275	75	1,5 + 2,0
chiodatura long. tripla o quadrupla, trasversale doppia	0,29	0,375	65	3,5 + 6
<b>Ghisa</b> nuovi	0,16	0,23	83	0,6 + 1,2
in servizio corrente, qualunque diametro	0,23	0,29	73	2 + 4
in servizio da diversi anni	0,29	0,375	65	3,5 + 6
in servizio da molti anni, fortemente incrostati e mbercolizzati	0,36	0,45	60	6 + 10
centrifugata fusa verticalmente bitum. o catram. per immersione, d < 400 mm in servizio corrente	0,23	0,29	73	2 + 4
<b>Cemento</b> liscio accuratamente, d < 200 mm	0,12	0,175	90	0,4 + 0,7
ben liscio (acqua limpida), d > 400 mm	0,18	0,25	80	1,2 + 1,8
ben liscio curve strette (acqua non limpida), d < 400 mm	0,23	0,29	73	2 + 4
centrifugato	—	—	—	0,16
armato costruito fuori opera, in servizio corrente, d > 600 mm	0,10	0,16	95	0,2 + 0,5
armato costruito fuori opera, in servizio corrente, 400 < d < 600 mm	0,12	0,175	90	0,4 + 0,7
<b>Gres</b> nuovi	0,18	0,25	80	1,2 + 1,8
in servizio da anni	0,23	0,35	68	2,5 + 4,5

**Tab. 5.1 - Indici di scabrezza per diversi tipi di tubazione**

Per i canali, i valori dei parametri  $\gamma$ ,  $m$ ,  $k$  sono tabulati in funzione delle caratteristiche del rivestimento del canale

<i>Tipo di canale</i>	<i>Scabrezza omogenea equivalente <math>\varepsilon</math> (mm)</i>	<i>Bazin <math>\gamma_B</math> (<math>m^{1/3}</math>)</i>	<i>Kutter <math>m_K</math> (<math>m^{1/3}</math>)</i>	<i>Gauckler-Strickler <math>k_S</math> (<math>m^{1/3} s^{-1}</math>)</i>	<i>Manning <math>n</math> (<math>m^{-1/3} s</math>)</i>
1 - Pareti di cemento perfettamente lisciate. Pareti di legno piallato. Pareti metalliche, senza risalti nei giunti.	0,15 ÷ 0,2	0,06	0,12	100 ÷ 90	0,011
- Idem ma con curve.	0,2 ÷ 0,4	0,10	0,18	90 ÷ 85	0,012
2 - Pareti di cemento non perfettamente lisciate. Muratura di mattoni molto regolare. Pareti metalliche con chiodatura ordinaria.	0,4 ÷ 1,0	0,16	0,20 ÷ 0,25	85 ÷ 75	0,013
3 - Pareti di cemento in non perfette condizioni. Muratura ordinaria più o meno accurata. Pareti di legno grezzo, eventualmente con fessure.	2 ÷ 5	0,23 ÷ 0,36	0,35 ÷ 0,55	70 ÷ 65	0,014 ÷ 0,015
4 - Pareti di cemento solo in parte intonacate; qualche deposito sul fondo. Muratura irregolare (o di pietrame). Terra regolarissima senza vegetazione.	8	0,46	0,55 ÷ 0,75	60	0,018
5 - Terra abbastanza regolare. Muratura vecchia, in condizioni non buone, con depositi di limo al fondo.	15 ÷ 30	0,60 ÷ 0,85	0,75 ÷ 1,25	50	0,020 ÷ 0,022
6 - Terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari.	70	1,30	1,50	40	0,025
7 - Terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.	120 ÷ 200	1,75	2,00	35	0,030
8 - Canali in abbandono con grande vegetazione. Corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiali sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze.	300 ÷ 400	2,0 ÷ 2,3	3,00	30	0,035

<b>Tipo di canale</b>	<b>massimo normale minimo</b>			
<i>Canali artificiali</i>				
<i>Canali in terra liscia e uniforme</i>				
Pulita, scavata di recente	62	56	50.	
Pulita, dopo prolungata esposizione	56	45	40	
Ghiaia, sezione uniforme, pulita	45	40	33	
Erba corta, pochi cespugli	45	37	30	
<i>Canali in terra con ondulazioni o irregolari</i>				
<i>Senza vegetazione</i>				
Con erba e pochi cespugli	43	40	33	
Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	40	33	30	
Fondo in terra e sponde in pietrisco	33	29	25	
Fondo in pietra e sponde in cespugli	36	33	29	
Fondo in ciottoli e sponde pulite	40	29	25	
33	25	20		
<i>Canali scavati o dragati</i>				
<i>Senza vegetazione</i>				
Cespugli sparsi sulle sponde	40	36	30	
	29	20	17	
<i>Canali in roccia</i>				
Lisci e uniformi	40	29	25	
Frastagliati e irregolari	29	25	20	
<i>Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli</i>				
Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	20	12	8	
Fondo pulito, cespugli sulle sponde	25	20	12	
Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	22	14	9	
Cespugli densi e acque profonde	12	10	7	
<i>Corsi d'acqua naturali</i>				
<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3.5 m)</i>				
<i>Corsi d'acqua di pianura</i>				
Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	40	33	30	
Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	33	29	35	
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	30	25	22	
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	29	22	20	
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	25	21	18	
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	22	20	17	
Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	20	14	12	
Tratti molto erbosì, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	13	10	7	
<i>Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide, alberi e cespugli lungo le sponde sommersibili durante le piene</i>				
Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	33	25	20	
Fondo: ciottoli e massi grossi	25	20	14	

Valori del coefficiente di Gauckler-Strickler  $k$  ( $m^{1/3}s^{-1}$ ) (da Chow, 1959).

## CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DEI CANALI A SUPERFICIE LIBERA (1)

In genere esistono vincoli progettuali su:

larghezza di fondo, per ragioni economiche:

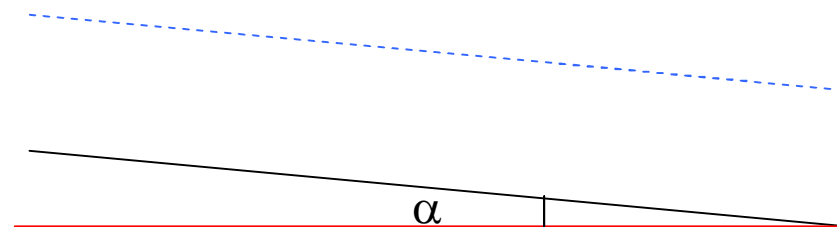
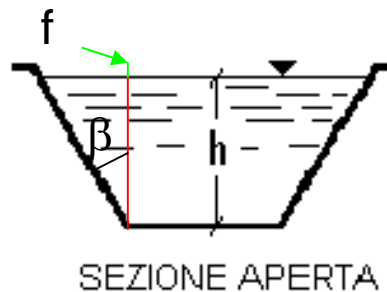
il costo di scavo è funzione della profondità, quindi un canale dovrebbe essere più largo che profondo

il costo del terreno è funzione della superficie, quindi il canale dovrebbe essere più profondo che largo

pendenza delle sponde: per ragioni statiche (in funzione della natura del terreno);

pendenza di fondo: si deve scostare di poco dalla pendenza naturale del terreno.

Bisogna inoltre prevedere la presenza di un opportuno franco (zona vuota di sicurezza).



## Pendenza delle sponde:

occorre distinguere i canali rivestiti dai canali in terra.

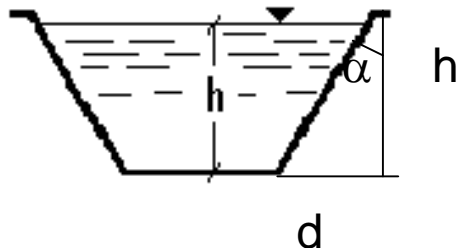
▪ **I canali rivestiti** possono avere una qualunque pendenza in funzione delle opere di sostegno del terreno. **La sezione rettangolare** in genere presuppone sempre il rivestimento.

▪ Per **i canali non rivestiti**, la pendenza della sponda, o la sua scarpa, dipendono essenzialmente dalla natura del terreno nel quale sono scavati.

Il limite della pendenza è imposto dal cosiddetto angolo di attrito interno delle terre e dalla coesione.

$$i = \tan(\alpha) = h/d$$

$$s = \text{inv}(i) = \cotan(\alpha) = d/h$$



<i>scarpa</i>	<i>tipo di terreno</i>
1 : 2	conglomerato di tipo quasi roccioso
1 : 1	terreni con sabbia e ghiaia ad elementi grossolani con elevato legante argilloso
3 : 2	terreni meno compatti con granulometria più fine
2 : 1	elementi fini con poco legante

## CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE DEI CANALI A SUPERFICIE LIBERA (2) (Es. per una sezione rettangolare)

$$Q = A \cdot V = A \cdot X \sqrt{R \cdot i} = L \cdot h \cdot X \sqrt{\frac{A}{C}} \cdot i = L \cdot h \cdot X \cdot \sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h}} \cdot i$$

**Larghezza di fondo:** il rapporto tra quest'ultima e l'altezza della sezione è legata a criteri di economia.

A parità di portata  $Q$ :

- minore è la larghezza, maggiore risulta il costo di scavo
- minore è la fascia di terreno da occupare o da espropriare (in caso di opere pubbliche) per l'esecuzione delle opere.

Dal punto di vista idraulico è possibile definire **sezioni di minima resistenza:**

Ossia le sezioni che a parità di area hanno il massimo raggio idraulico ( $R=A/C$ ), ossia il minimo contorno bagnato ( $C$ ); in questo caso la relazione che lega la larghezza del fondo del canale al tirante massimo di progetto è:

$$**L = y h**$$

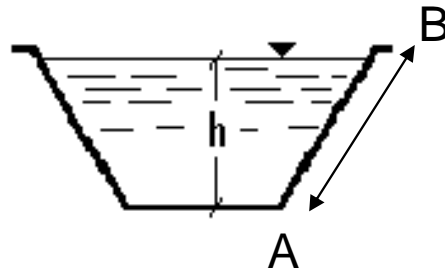
essendo  $L$  la larghezza del fondo e  $h$  il tirante massimo di progetto.

Nel caso di **sezione rettangolare**  $y = 2$ ,  
quindi la sezione di minima resistenza è quella che presenta

$$**L = 2 h**$$

Nel caso di **sezione trapezia** il valore del coefficiente  $y$  dipende dalla scarpa fissata  $s$ .  
La sezione di minima resistenza è quella che si avvicina al semicerchio inscritto, rappresentata da un semiesagono regolare, scarpa=0.577, raramente possibile nella pratica.

$$Q = A \cdot V = A \cdot X \sqrt{R \cdot i} = \frac{L + (L + 2 \cdot a)}{2} \cdot h \cdot X \sqrt{\frac{A}{C} \cdot i} = L \cdot h \cdot X \cdot \sqrt{\frac{L + (L + 2 \cdot a) \cdot h}{2 \cdot (L + 2 \cdot AB)} \cdot i}$$



## Pendenza di fondo:

Dipende principalmente dalla pendenza naturale del terreno.

In qualche caso potrà scostarsi da questa per evitare velocità eccessive o troppo ridotte.

A pendenze minori di quelle naturali corrisponderanno canali pensili,

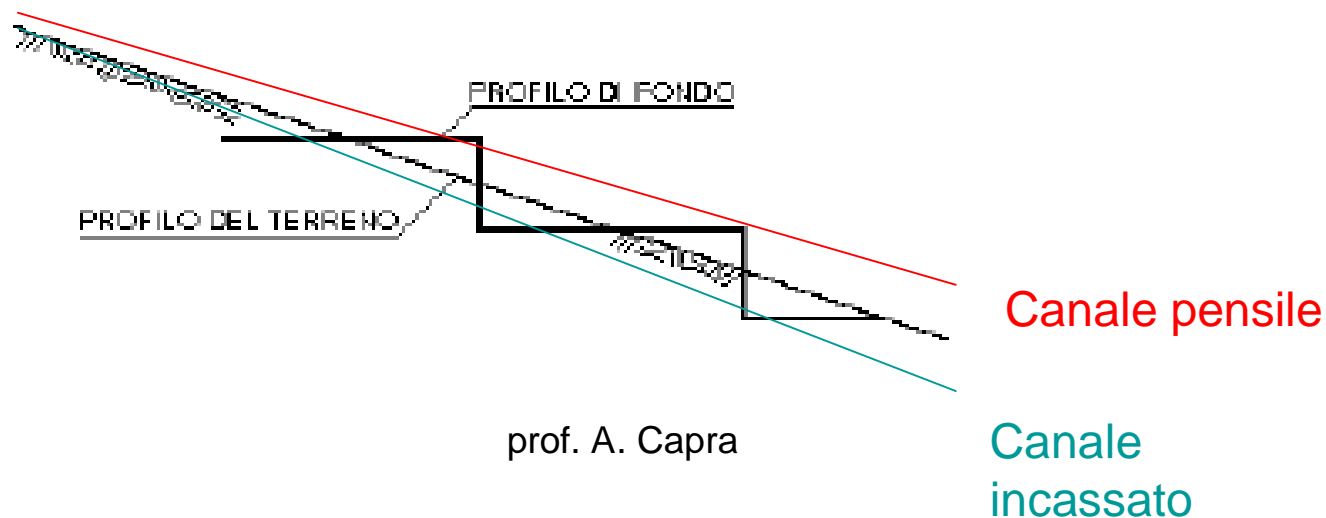
A pendenze superiori, canali incassati.

Ragioni tecniche ed economiche sconsigliano, in genere, canali molto profondi.

Qualora non se ne possa fare a meno in zone assolutamente pianeggianti, si dovrà ricorrere a sollevamenti.

Più frequente è il caso in cui, per non avere velocità eccessive, si debbano adottare pendenze minori di quella del terreno.

La soluzione tecnica a cui si ricorre è quella della realizzazione di discontinuità nella pendenza del canale con perdite di quota localizzate chiamate salti di fondo



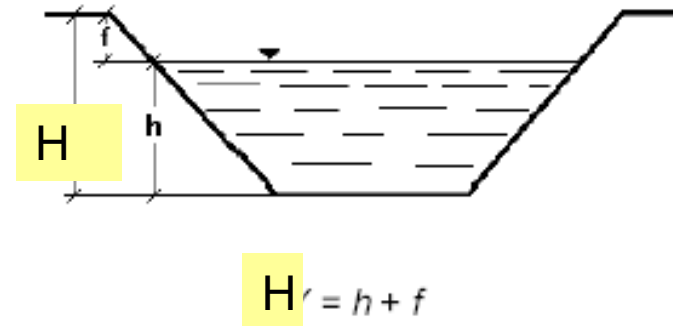


**Franco:** un elemento di notevole incertezza nel dimensionamento idraulico di una sezione è il coefficiente di scabrezza, data la vasta gamma di materiali, di condizioni locali, di interazioni con l'ambiente (es. **vegetazione**).

Per tenere conto di questo grado di incertezza nel dimensionamento, i canali si realizzano prudenzialmente con un opportuno **franco,  $f$** , variabile in funzione del tipo di canale e, soprattutto, del suo impiego.

Indicativamente:

- piccole canalette di distribuzione, in materiali di qualità nota (p. es. prefabbricate), possono essere costituite con franchi minimi ( $f = 0,10 \div 0,20$  m)
- piccoli canali non rivestiti  $f = 0,25 \div 0,50$  m
- grossi canali di adduzione  $f > 0,5$  m



$H \Rightarrow$  altezza costruttiva del canale

$h \Rightarrow$  altezza massima di esercizio risultante dal calcolo,  $h = f(Q)$ :

$f \Rightarrow$  franco

## VERIFICA DEI CANALI A SUPERFICIE LIBERA

Data la forma e le dimensioni della sezione trasversale di un alveo di nota scabrezza e pendenza  $i$ , determinare il valore di portata  $Q$  corrispondente ad un assegnato valore del tirante idrico di moto uniforme  $H$ .

La risoluzione del problema posto necessita il ricorso alla formula:

$$Q = A \cdot V = A \cdot X \sqrt{R \cdot i} = L \cdot h \cdot X \sqrt{\frac{A}{C} \cdot i} = L \cdot h \cdot X \cdot \sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h} \cdot i} \quad (\mathbf{a})$$

Per sezione rettangolare con coefficiente di Chezy  $X$  calcolato con Bazin si ha:

$$Q = L \cdot h \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h}}}} \sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h} \cdot i}$$

Per sezione rettangolare con coefficiente di Chezy  $X$  calcolato con Strikler si ha:

$$Q = L \cdot h \cdot k \cdot R^{1/6} \cdot \sqrt{R \cdot i} = L \cdot h \cdot k \cdot R^{1/6} \cdot R^{1/2} \cdot i^{1/2}$$

## Scala delle portate di moto uniforme

Data la forma e le dimensioni della sezione trasversale di un alveo di nota scabrezza e pendenza  $i$ , determinare il valore di  $h$  relativo alla corrente di moto uniforme di nota portata  $Q$

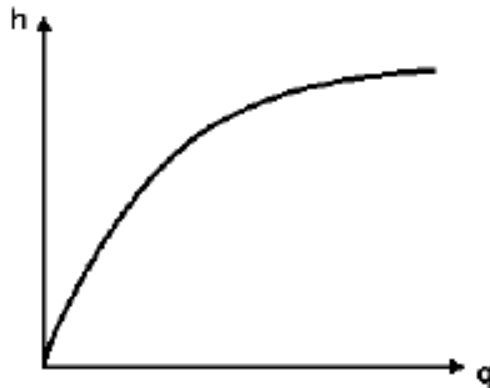
La risoluzione del problema necessita il ricorso ancora all'espressione utilizzata per la risoluzione del problema precedente, ma questa volta **non può essere risolta rispetto al tirante idrico  $h$** . Ad es., per canali rettangolari e  $X$  calcolato con l'eq. Di Bazin

$$Q = L \cdot h \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h}}}} \sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h} \cdot i}$$

## Scala delle portate di moto uniforme

In questo caso si procede per tentativi:

- 1) ricercando il valore di  $h$  che consente di calcolare mediante la formula il valore di  $Q$  noto;
- 2) costruendo nel piano cartesiano  $Q$ - $h$  il grafico della funzione; il grafico si costruisce per punti assegnando i valori di  $h$  e ricavando mediante la formula i corrispondenti valori di portata  $Q$ ;
- 3) congiungendo i punti rappresentati dalle coppie  $Q$ - $h$  si ottiene la scala delle portate di moto uniforme (o semplicemente scala delle portate);
- 4) per determinare il tirante idrico di moto uniforme corrispondente alla portata nota, si usa in senso inverso la scala così tracciata; si individua sull'asse delle ascisse il valore della portata nota e si ricerca sulla curva il corrispondente valore del tirante idrico.



$$Q = L \cdot h \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h}}}} \sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h} \cdot i}$$

**Velocità di esercizio:** velocità eccessive comportano erosione delle sponde del canale mentre velocità basse possono consentire un'eccessiva sedimentazione del materiale trasportato portando al progressivo interrimento del canale.

Indicativamente, la velocità limite inferiore per evitare eccessiva sedimentazione è 0,20 , 0,30 m/s (variabile con la granulometria ed il peso specifico del materiale trasportato). La velocità  $v_f$  massima ( $v_f \gg 0,75 v$ ) per evitare l'erosione delle sponde può essere desunta da tabelle del tipo seguente.

$v_f$ max (m/s)	tipo di terreno
0,30 ÷ 0,80	da sabbioso finissimo a sabbioso grossolano, a sabbioso argilloso, sino ad argilloso piuttosto compatto
0,80 ÷ 0,81	da argillo-ghiaioso, a ghiaioso grossolano, a detriti
1,40 ÷ 1,80	conglomerati e rocce tenere
2,00 ÷ 3,50	rocce dure
3,50 ÷ 4,50	calcestruzzo

## PROGETTO DEI CANALI A SUPERFICIE LIBERA

Si tratta di stabilire le dimensioni da assegnare alla sezione trasversale del canale affinché sia in grado di convogliare, per noti valori della pendenza e della scabrezza, la corrente di assegnata portata.

Il ricorso alla sola equazione (a) rende il problema analiticamente indeterminato dato che il numero delle incognite è almeno pari a due (le due dimensioni della sezione: L ed h).

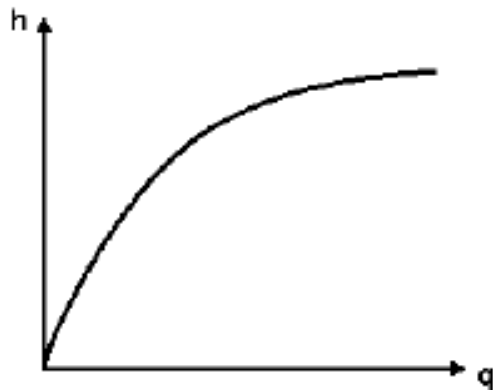
$$Q = A \cdot V = A \cdot X \sqrt{R \cdot i} = L \cdot h \cdot X \sqrt{\frac{A}{C} \cdot i} = L \cdot h \cdot X \cdot \sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h} \cdot i}$$

**I problemi di progetto possono essere risolti:**

- 1) **fissando l'altezza h** con riferimento a particolari vincoli (profondità di scavo, compenso tra scavi e rinterri, presenza di insediamenti, ecc...) e **una relazione tra le due dimensioni della sezione** sulla base di considerazioni economiche (limitare gli espropri o la profondità di scavo, minima resistenza idraulica, es.  $L=2h$  per le sezioni rettangolari)
- 2) **fissando il valore massimo della velocità media della corrente** che si ritiene compatibile con il materiale presente in alveo

# Problema di progetto

- 1) Per ogni altezza ipotizzata si calcola la scala delle portate corrispondenti; es. per canale rettangolare



$$Q = A \cdot V = A \cdot X \sqrt{R \cdot i} = L \cdot h \cdot X \sqrt{\frac{A}{C}} \cdot i = L \cdot h \cdot X \cdot \sqrt{\frac{L \cdot h}{L + 2h}} \cdot i$$

Il canale avrà l'altezza cui corrisponde la portata di progetto

2) **fissando il valore massimo della velocità media della corrente** che si ritiene compatibile con il materiale presente in alveo

Il criterio di fissare un valore di velocità  $V_a$  ammissibile, per le condizioni di deflusso della corrente all'interno dell'alveo, nasce dalla necessità (nel caso il canale sia in terra) di non provocare erosioni o depositi all'interno del canale e dalla scelta di un valore massimo di velocità compatibile con la natura del rivestimento.

La risoluzione del problema di progetto deriva dal seguente procedimento:

$$Q = A \cdot V_a \quad (\text{essendo nota } Q \text{ e fissando } V_a)$$

Ne deriva che 
$$A = \frac{Q}{V_a}$$

Nel caso di canale rettangolare di larghezza incognita  $L$ , si avrà:  $A=L \cdot h$

Per il criterio di minima resistenza  $L=2 \cdot h$ , quindi  $A=2h \cdot h = 2 h^2$ , da cui 
$$h = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Una volta ricavato  $h$ , possiamo determinare  $L=2 \cdot h$  e quindi il raggio idraulico 
$$R = \frac{L \cdot h}{L + 2h}$$

Dall'espressione di Chezy, avremo: 
$$V_c = X \cdot \sqrt{R \cdot i}$$



X sarà calcolato con una delle formule note (Bazin, Kutter, ....) in funzione del raggio idraulico R.

A questo punto, per valutare se la scelta della velocità  $V_a$  è compatibile con le caratteristiche del canale, verrà applicato il criterio di convergenza:

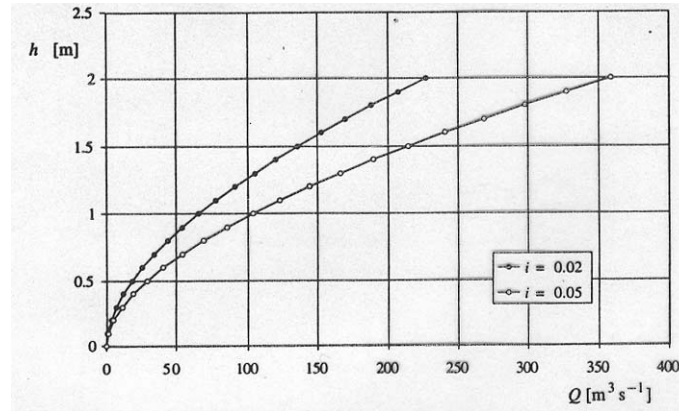
$$\varepsilon = \frac{|V_a - V_c|}{V_a} \cdot 100$$

Se  $\varepsilon$  è inferiore al 10%, allora la  $V_a$  risulta idonea al dimensionamento del canale; se  $\varepsilon$  è superiore al 10% occorrerà procedere con una  $V_a$  di secondo tentativo (procedendo nuovamente con i calcoli finché  $\varepsilon$  risulta inferiore o uguale al 10%):

$$V_a \text{ II} = \frac{V_a + V_c}{2}$$

### Scala delle portate al variare della pendenza i:

Per uno stesso alveo, a parità di portata, l'incremento della pendenza, determinando un aumento della velocità media della corrente di moto uniforme, comporta una diminuzione del tirante idrico.



### Scala delle portate al variare della scabrezza:

Per uno stesso alveo, a parità di portata, l'incremento della scabrezza, determinando una diminuzione della velocità media della corrente di moto uniforme, comporta un aumento del tirante idrico.

