

MODULO DI APPROFONDIMENTO A: LE OPERE DI DIFESA DALLE INONDAZIONI

UNITA' DIDATTICA N.7

[Codice: 01.05.207.101]

Titolo: ***DIMENSIONAMENTO IDRAULICO***

Sub-Unità n.1 (= Parte I) – Learning Object n.1

Richiami di Idraulica delle correnti a pelo libero

Prof. Ing. Domenico Pianese
Università degli Studi di Napoli Federico II

Definizione:

Una corrente si definisce «a pelo libero» se la sua superficie superiore è a diretto contatto con l'atmosfera. .

Differenze con le correnti in pressione:

A differenza di quanto avviene nelle correnti in pressione, caratterizzate da valori della pressione diversi da quella atmosferica, in una corrente a pelo libero che muove in un canale a contorno rigido o in un alveo in cui si possono trascurare i fenomeni di erosione/deposito risultano incognite sia l'area della parte della sezione trasversa interessata dal deflusso idrico, sia la parte del contorno interessata dal deflusso idrico

Tipi di movimenti

Una corrente (in particolare, una corrente a pelo libero) può muovere, genericamente parlando, in diverse modalità.

A seconda che il moto si ripeta o meno costantemente identico a se stesso nel tempo e/o nello spazio, si distinguono:

- a) **Correnti in moto permanente ed uniforme** (nelle quali le caratteristiche del moto non variano né nel tempo né nello spazio);
- b) **Correnti in moto permanente ma non uniforme** (nelle quali le caratteristiche del moto non variano nel tempo ma risultano variabili nello spazio);
- c) **Correnti in moto vario uniforme** (nelle quali le caratteristiche del moto variano nel tempo ma, nello spazio, si mantengono costantemente identiche a se stesse).
- d) **Correnti in moto vario non uniforme** (nelle quali le caratteristiche del moto variano sia nel tempo che nello spazio)

.....Tipi di movimenti

Una corrente a pelo libero in moto vario (nel tempo) può, a sua volta, definirsi.

- a) **Corrente in moto vario lentamente variabile** (nella quale le caratteristiche del moto variano con continuità nel tempo, e sono addirittura derivabili);
- b) **Corrente in moto vario rapidamente variabile** (nella quale le caratteristiche del moto variano in modo discontinuo nel tempo, e non sono derivabili);

Una corrente a pelo libero in moto non uniforme (nello spazio) può, a sua volta, definirsi:

- a) **Corrente in moto gradualmente variato** (se i filetti liquidi sono sensibilmente rettilinei e paralleli, e la distribuzione delle pressioni assumersi idrostatica);
- b) **Corrente in moto bruscamente variato** (nella quale le caratteristiche del moto variano in modo discontinuo nello spazio tempo, e le funzioni che le rappresentano non sono, per tanto, derivabili nello spazio);

Scale di deflusso

Si definisce **Scala di deflusso** il legame esistente tra la portata defluente in una determinata sezione di un canale o di un corso d'acqua e il tirante idrico (o, equivalentemente, la quota di pelo libero).

Nel caso di un moto permanente o di un moto vario uniforme, il suddetto legame è biunivoco: pertanto, ad ogni valore della portata defluente corrisponde un unico valore del tirante idrico, e viceversa (cfr. la figura successiva).

Nel caso di moto vario non uniforme, il legame non è più biunivoco, in quanto la scala di deflusso (tracciata a partire da un modello di moto vario non uniforme, considerando, istante per istante, i valori assunti dalla portata Q e dal tirante idrico h o dalla quota di pelo libero Y) assume la classica «forma di cappio», tanto più pronunciata quanto più la corrente risente dell'effetto di particolari condizioni al contorno.

Scala di deflusso relativa a deflusso in stato critico

Condizioni di stato critico possono incontrarsi, nelle pratiche applicazioni, sia nel caso di tratti d'alveo o di canale caratterizzati da pendenze longitudinali di fondo sufficientemente modeste, sia, viceversa, nel caso di tratti d'alveo o di canale caratterizzati da rilevanti pendenze longitudinali.

Quando le pendenze longitudinali del fondo alveo sono così modeste e le condizioni al contorno (rappresentate da: forma e dimensioni della sezione trasversale; caratteristiche di scabrezza delle pareti e portata defluente) sono tali da poter considerare quel tratto d'alveo o di canale, idraulicamente parlando, come «**alveo a debole pendenza**», condizioni di stato critico possono venire a realizzarsi:

- a) all'interno di tratti caratterizzati da notevoli restringimenti della sezione trasversale;
- b) nei tratti immediatamente a monte di notevoli salto di fondo;

Scala di deflusso relativa a deflusso in stato critico

Quando invece le pendenze longitudinali del fondo alveo sono così elevate e le condizioni al contorno (rappresentate da: forma e dimensioni della sezione trasversale; caratteristiche di scabrezza delle pareti e portata defluente) sono tali da poter considerare quel tratto d'alveo o di canale, idraulicamente parlando, come «**alveo a forte pendenza**», condizioni di stato critico possono venire a realizzarsi immediatamente a valle di notevoli salti di fondo.

Scala di deflusso relativa a deflusso in stato critico

Le **Condizioni di stato critico** sono definite tali in quanto, quando esse si realizzano, la corrente defluisce in tale sezione col minimo contenuto possibile di energia specifica.

Pertanto, nella sezione dove tali condizioni si realizzano, per ogni assegnato valore portata della portata defluente, le velocità e i tiranti idrici devono essere tali da rispettare la relazione

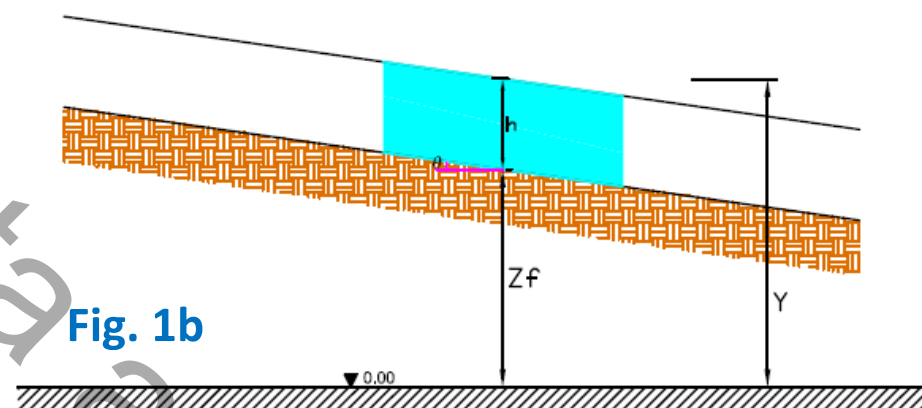
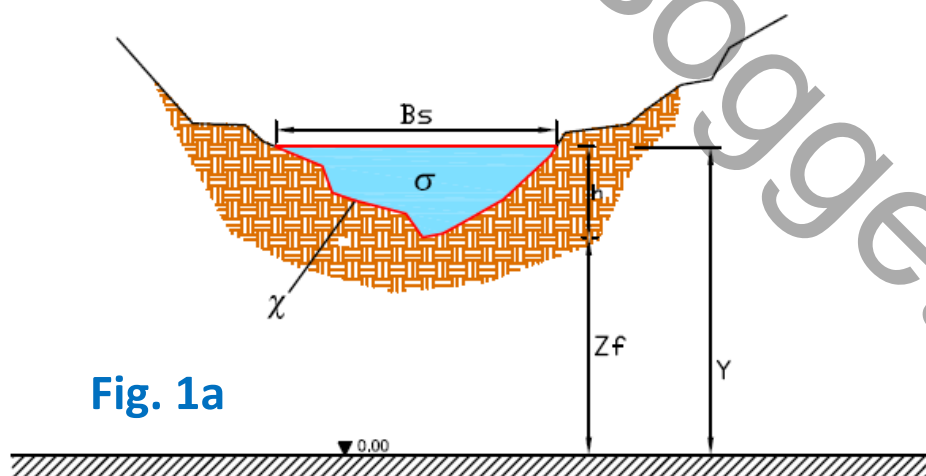
$$E = z + h + \frac{V^2}{2g} = \min$$

o, equivalentemente:

$$\frac{dE}{dh} = \frac{d}{dh} \left(z + h + \frac{V^2}{2g} \right) = 0$$

Scala di deflusso relativa a deflusso in stato critico

Si consideri una assegnata sezione di un alveo o di un corso d'acqua:



Si indichino, rispettivamente:

- Con Q la **portata defluente in alveo**;
- Con σ l'**area della sezione idrica** (definita come l'area della parte della sezione trasversale effettivamente interessata dalla presenza di acqua);
- Con B_s la **larghezza in superficie** (definita come la larghezza raggiunta dalla corrente in corrispondenza della superficie di pelo libero);
- Con g l'**accelerazione di gravità** (pari a $9,80665 \text{ m/s}^2$).

Scala di deflusso relativa a deflusso in stato critico

In condizioni critiche, la corrente si muove col minimo contenuto di energia.

Per assegnata portata, tale condizione diviene:

$$\frac{dE}{dh} = \frac{d}{dh} \left(z + h + \frac{Q_c^2}{2g\sigma^2} \right) = 0$$

e, quindi:

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q_c^2}{2g\sigma^3} \frac{d\sigma}{dh} = 0$$

Osservando che

$$\frac{d\sigma}{dh} = B_s$$

si ottiene la scala di deflusso in condizioni di stato critico, definita come

$$1 - \frac{Q_c^2 B_s}{2g\sigma^3} = 0 \Leftrightarrow Q_c = \left[\frac{2g\sigma^3}{B_s} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Scala di deflusso relativa a deflusso in condizioni di moto uniforme

Si consideri una corrente in **moto uniforme** (invariante nello spazio) e **permanente** (invariante nel tempo).

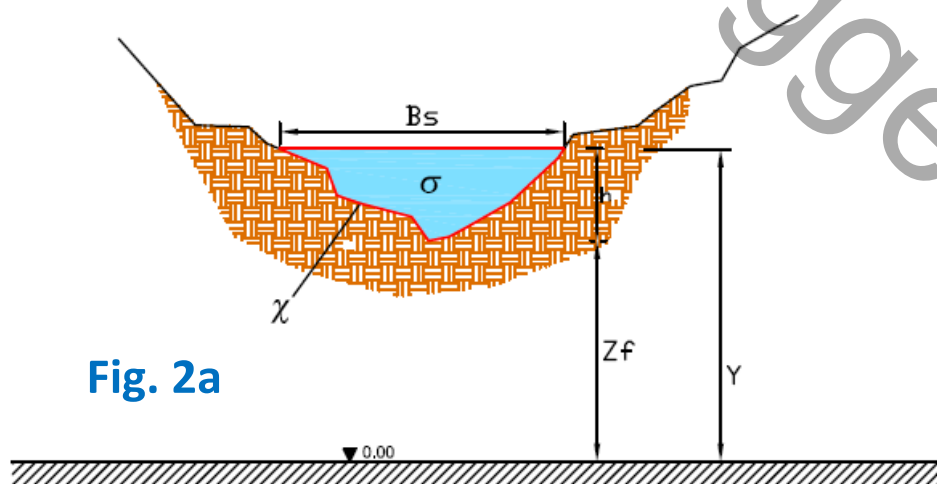


Fig. 2a

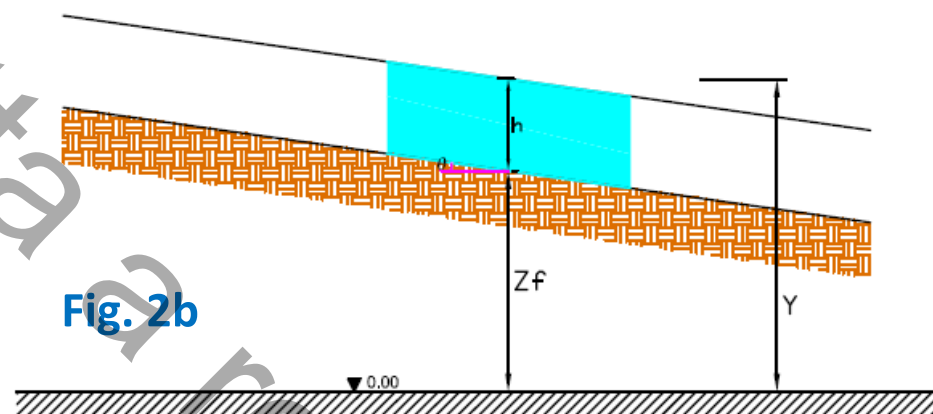
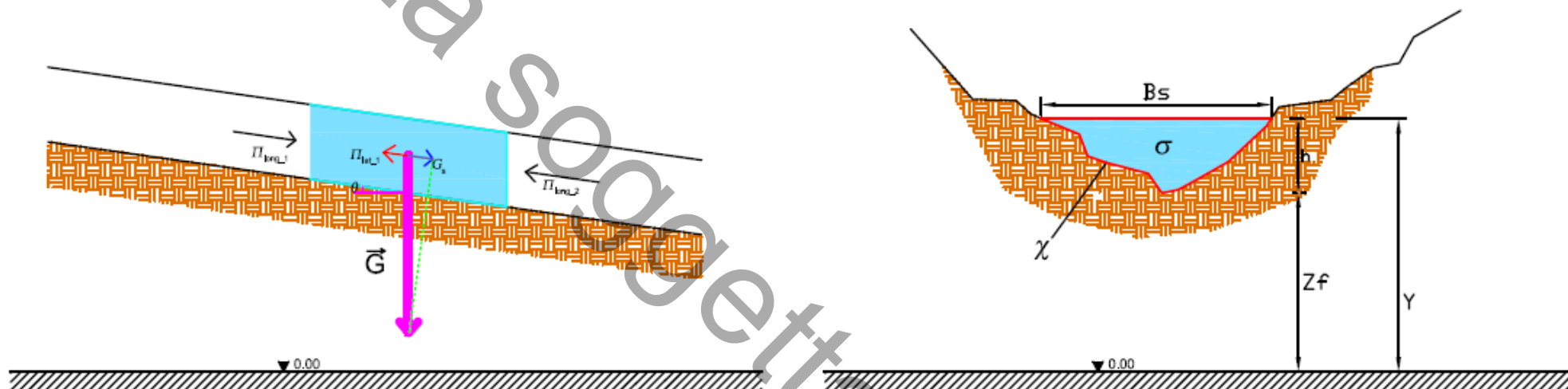


Fig. 2b

In tali condizioni, l'equazione globale dell'equilibrio dinamico, applicata con riferimento al volume di controllo evidenziato nelle Figg. 2a e 2b, può essere scritta nella forma:

$$\vec{G} + \vec{\Pi} = 0$$

Scala di deflusso relativa a deflusso in condizioni di moto uniforme



Proiettando tale equazione vettoriale lungo l'asse costituito dalla linea di fondo del canale, tenendo presente che:

- a) le pressioni agenti sulle due facce del volume di controllo disposte ortogonalmente alla corrente sono, per l'ipotesi di uniformità del moto, uguali e contrarie, per cui si elidono;
- b) le pressioni agenti sulle pareti laterali del volume di controllo sono perpendicolari alla direzione di proiezione delle forze, per cui non forniscono alcun contributo,

le uniche forze in gioco rimangono le seguenti:

Scala di deflusso relativa a deflusso in condizioni di moto uniforme

a) Componente longitudinale della forza peso

$$G_s = \gamma \cdot \sigma \cdot l \cdot \sin \theta$$

b) proiezione, lungo l'asse del canale, delle forze di attrito complessivamente agenti sul contorno (agente in direzione opposta alla forza peso)

$$\Pi_{lat.} = \int_{\Sigma_{lat}} \tau(\Sigma) d\Sigma = \tau_0 \cdot \Sigma = \tau_0 \cdot \chi \cdot l$$

Uguagliando le due forze, si ottiene

$$\tau_0 = \gamma \frac{\sigma}{\chi} \cdot \sin \theta$$

Scala di deflusso relativa a deflusso in condizioni di moto uniforme

Se, in questa relazione, si introduce il cosiddetto **raggio idraulico**, definito come

$$R = \frac{\sigma}{\chi}$$

posto

$$i = \sin \theta$$

si ottiene, in definitiva:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$

In base ad analisi sperimentali, si è avuto modo di riscontrare che, nel caso di moto turbolento, risulta, altresì:

$$\tau_0 = c \cdot V^2$$

con c dipendente dalle caratteristiche di scabrezza delle pareti del condotto poste a diretto contatto con l'acqua

Scala di deflusso relativa a deflusso in condizioni di moto uniforme

Uguagliando le due espressioni (quella teorica e quella sperimentale) dello sforzo tangenziale medio agente sul contorno, si ottiene

$$cV^2 = \gamma \cdot R \cdot i$$

dalla quale discende l'espressione

$$V^2 = \frac{\gamma}{c} \cdot R \cdot i$$

Posto

$$K_c = \sqrt{\frac{\gamma}{c}}$$

Si ottiene, in definitiva, la ben nota espressione di Chezy

$$V = K_c \cdot \sqrt{Ri}$$

Scala di deflusso relativa a deflusso in condizioni di moto uniforme

In base a questa espressione, dalla definizione di velocità media della corrente

$$V = \frac{Q}{\sigma}$$

si ottiene, in definitiva, l'espressione

$$Q_u = V_u \cdot \sigma_u = K_c \cdot \sigma_u \cdot \sqrt{R_u \cdot i}$$

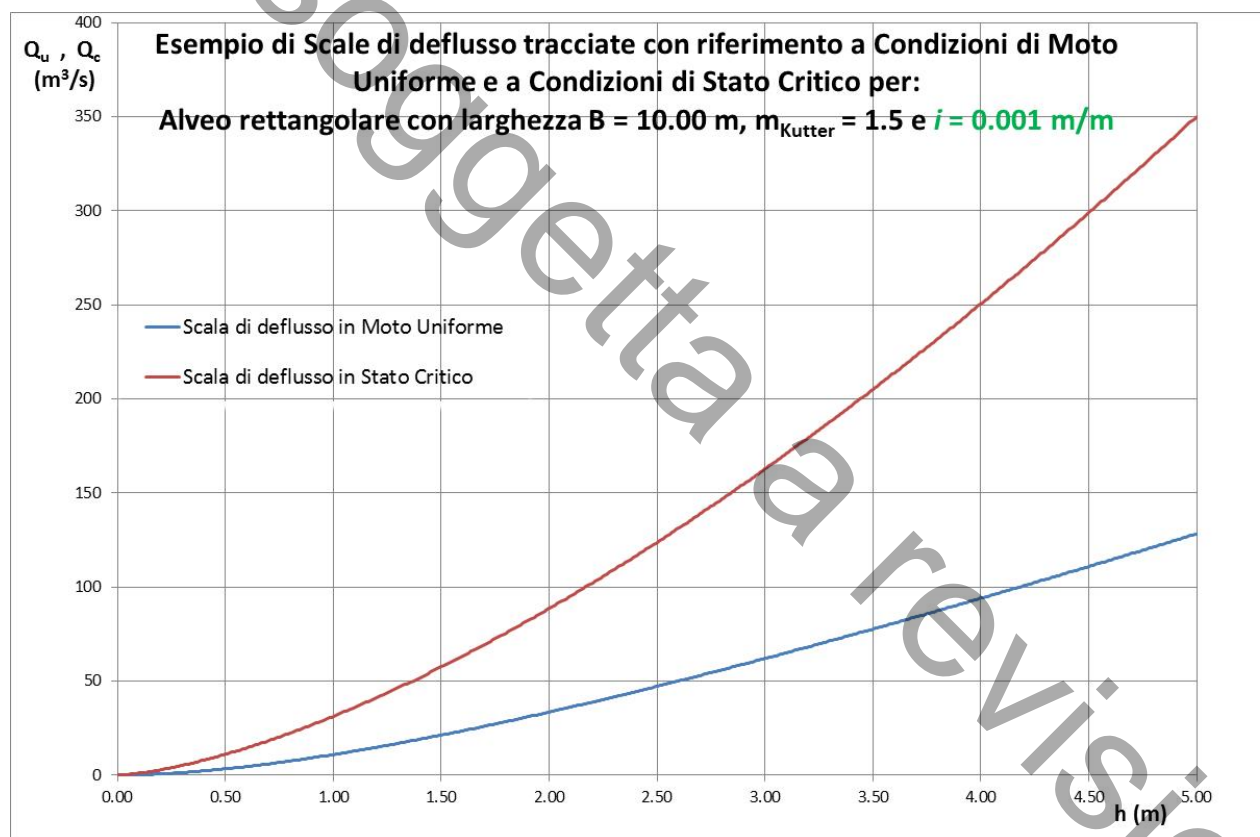
Tale espressione viene definita formula del moto uniforme.

Poiché sia σ_u che χ , e quindi R_u , sono funzione del tirante idrico h_u o della quota di pelo libero $Y = z_f + h_u$, e K_c è a sua volta funzione di R_u , la relazione grafica che da essa si ricava al variare del tirante idrico o della quota di pelo libero viene definita

Scala di Deflusso di Moto Uniforme

Confronti tra le Scale di Deflusso per Moto Uniforme e Stato Critico

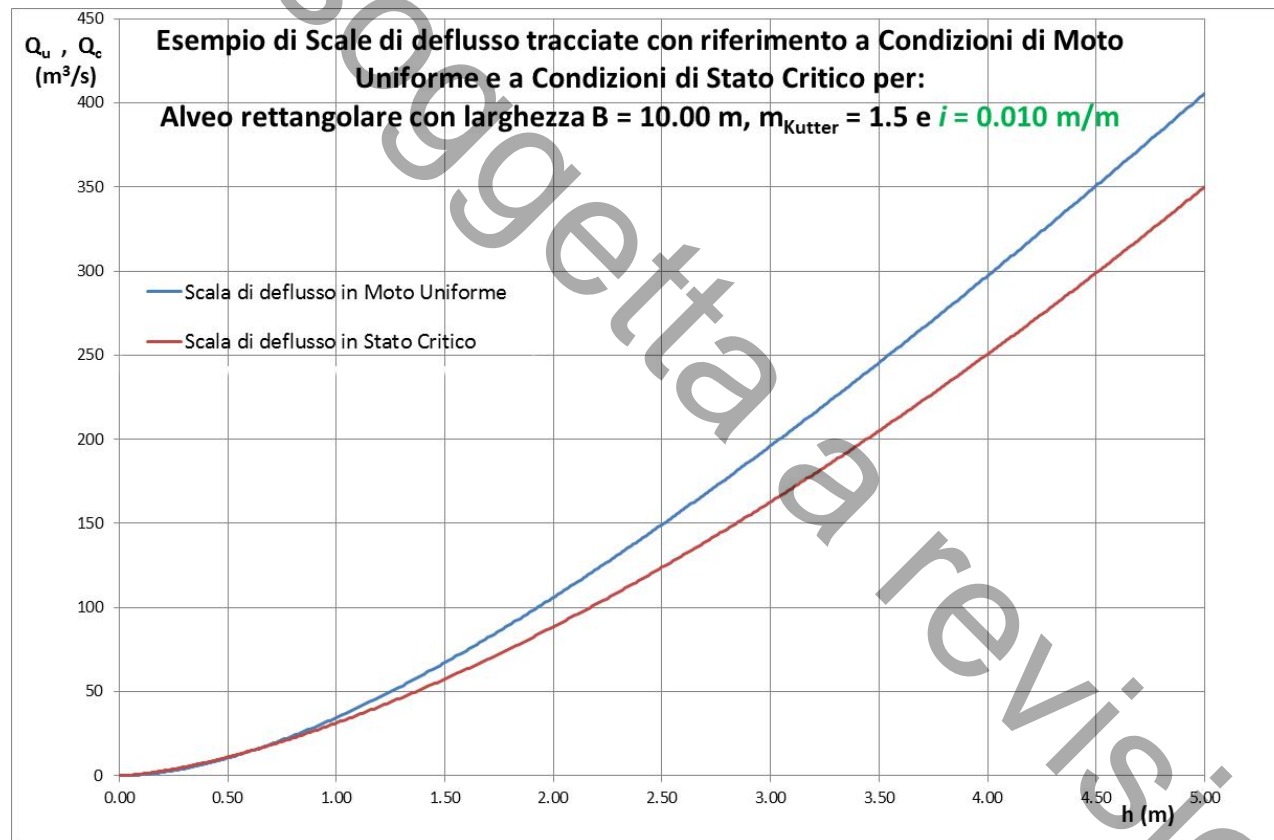
1. Nel caso di comportamento di alvei a debole pendenza, a parità di tirante idrico h , la portata Q_c convogliata in condizioni di stato critico è sempre maggiore di quella convogliata in moto uniforme, Q_u



2. Per assegnato valore Q della portata defluente in alveo, i tiranti h_c che si realizzano in condizioni di stato critico risultano inferiori a quelli h_u che si realizzano in condizioni di moto uniforme.

Confronti tra le Scale di Deflusso per Moto Uniforme e Stato Critico

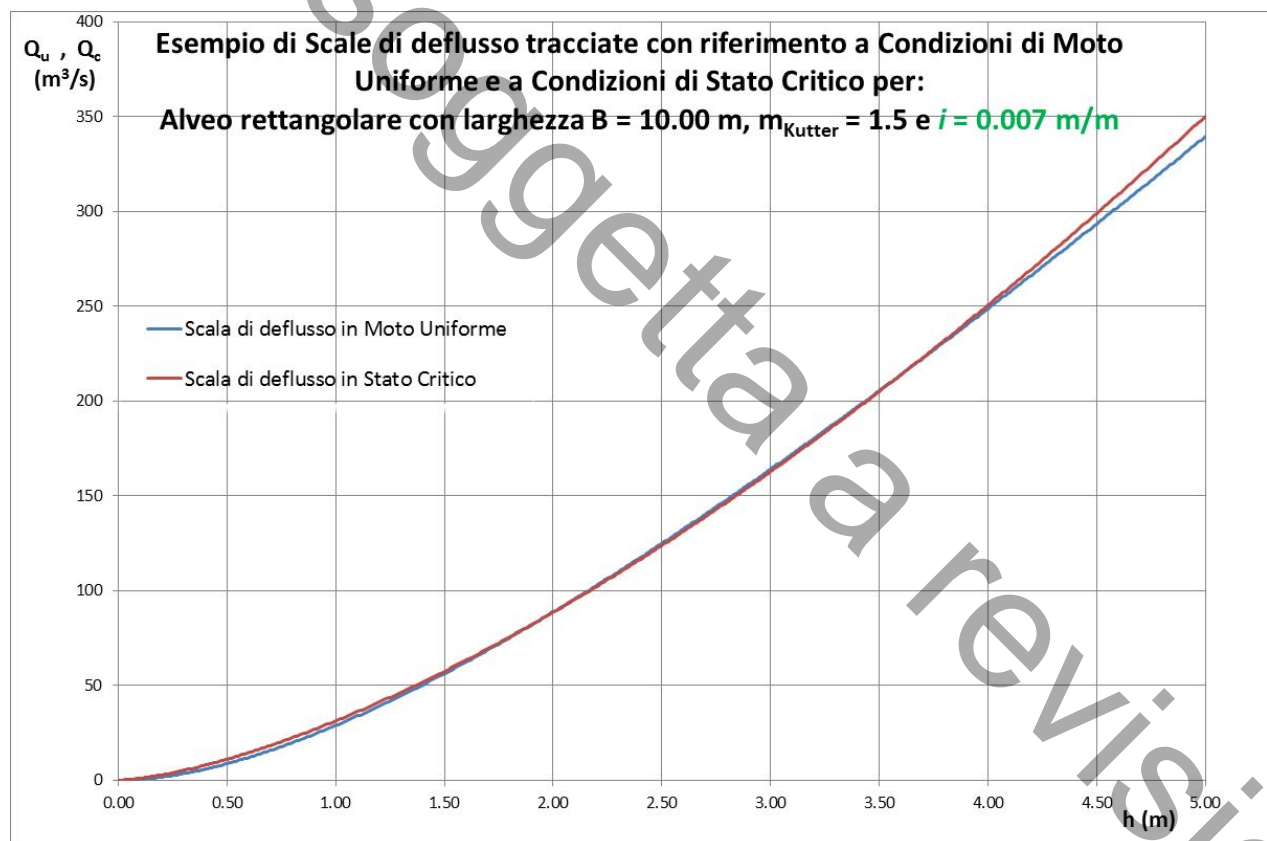
1. Nel caso di comportamento di alvei a forte pendenza, a parità di tirante idrico h , la portata Q_c convogliata in condizioni di stato critico è sempre minore di quella convogliata in moto uniforme, Q_u



2. Per assegnato valore Q della portata defluente in alveo, i tiranti h_c che si realizzano in condizioni di stato critico risultano superiori a quelli h_u che si realizzano in condizioni di moto uniforme.

Confronti tra le Scale di Deflusso per Moto Uniforme e Stato Critico

1. Nel caso di comportamento di **alvei a pendenza critica**, a parità di tirante idrico h , la portata Q_c convogliata in condizioni di stato critico è uguale a quella Q_u convogliata in moto uniforme



2. Per assegnato valore Q della portata defluente in alveo, i tiranti h_c che si realizzano in condizioni di stato critico risultano uguali a quelli h_u che si realizzano in condizioni di moto uniforme.