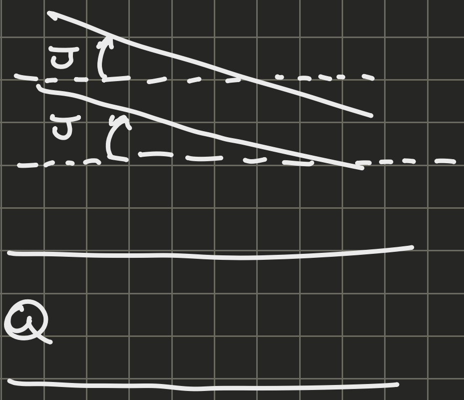
Lezione 10 -

$$J(Q) = ?$$



$$J = \lambda \frac{U^2}{2gD}$$ → corretta, trascritto nella l'ultima lezione

Flusso in condotte ⇒ esempi principi

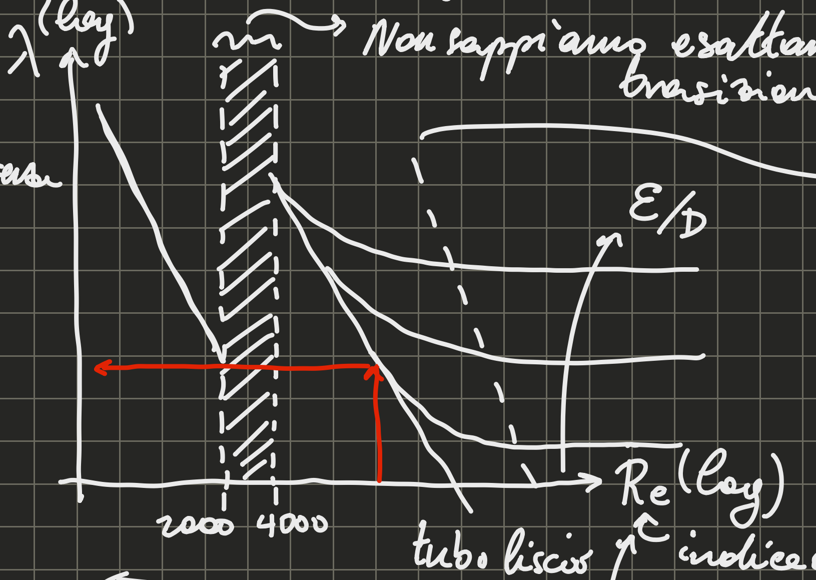
Condizione di moto laminare: $Re < 2000$

" " turbolento: $Re > 2000$

Molte equazioni si ricavano sperimentalmente, questo si fa per il calcolo di J nelle condotte

Abaco di Moody

Indice di resistenza



Non sappiamo esattamente, è zona di transizione tra laminare e turbolento

A sinistra le linee di tubo scabro scendono, a destra stanno orizzontali

Regione a sinistra: moto turbolento di transizione

Regione a destra: moto turbolento permanente

indice di Reynolds

perché vuole incorporare moto laminare e turbolento

← Laminare

→ Turbolento

Abbiamo la soluzione di Poiseuille:

$$u(r) = \frac{\gamma J}{4\mu}(R^2 - r^2)$$

$$U = \frac{1}{A}\int_A u \, dA$$

$\lambda = \frac{64}{Re}$ → Nel moto laminare sappiamo già tutto quindi è facile da trovare

→ Viene dalle soluzioni analitiche

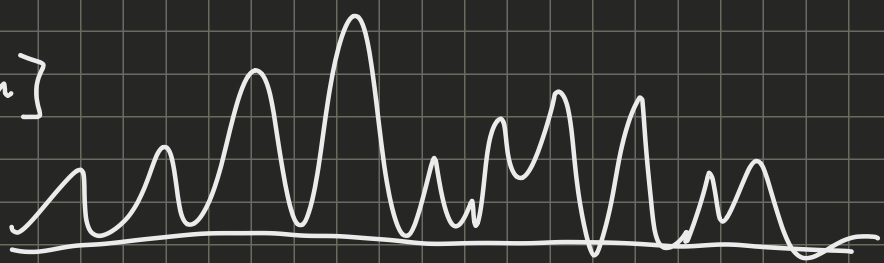
Scabrità → proprietà della superficie.

Fare passare del fluido in un tubo liscio o scabro richiede un costo energetico diverso

Durante la vita di un tubo, la scabrezza cambia.

È un effetto microscopico,
è generatore di turbolenza perché obbliga il fluido a viaggiare in modo non diretto

$\varepsilon\,[m]$



Scabrezza Equivalente (misuriamo l'altezza al livello equivalente.

→ non è quella media.

→ Una altezza che da la stessa dissipazione nel tubo.

1 linea → per tubi lisci

∞ linee → per tubi scabri → perché $\varepsilon > 0$ può prendere qualunque valore.

Tubo liscio:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log_{10}\left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}}\right)$$

se $\varepsilon = 0$

Turbolento: Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log_{10}\left(\frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3{,}71\,D}\right)$$

Moto Turbolento Permanente → Prandtl - Von Karman

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3{,}71\,D}\right)$$ → siccome Re è molto grande il termine a sinistra molto piccolo

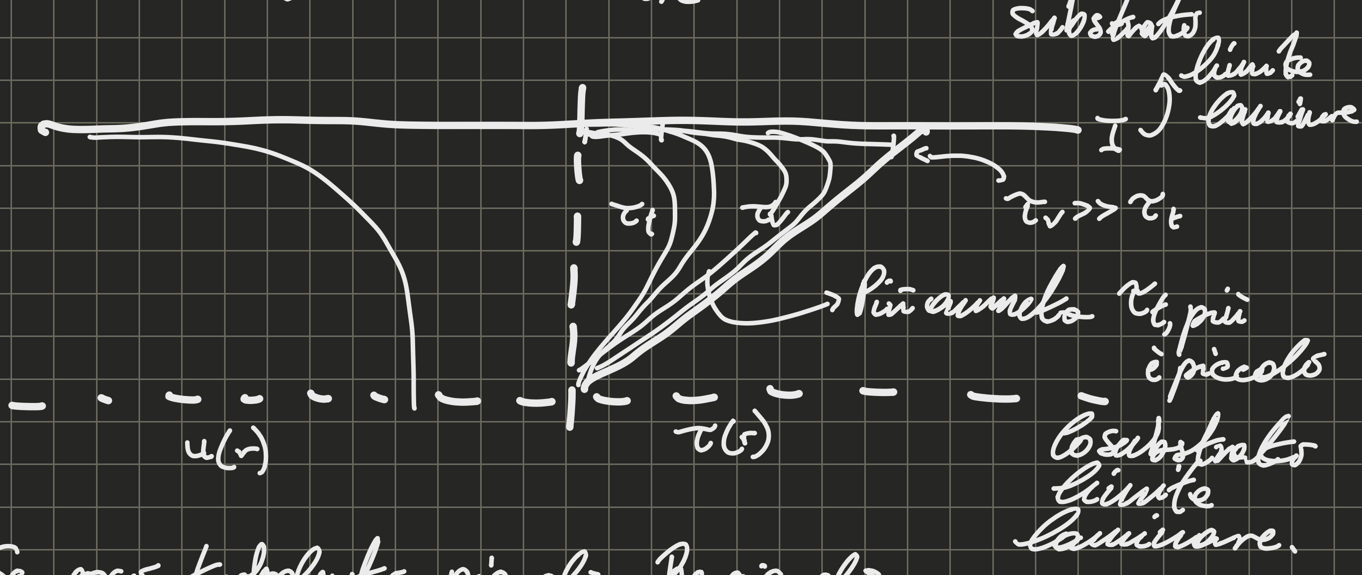
A Re alti λ è effetto solo di ε.

→ A crescere di ε cresce λ e a crescere di λ, cresce J

Flusso laminare, ε non importa per velocità basse.

Perché le linee di ε si staccano progressivamente dalla linea del tubo liscio?

↳ Nel moto turbolento, vicino alla parete il moto è lo stesso laminare.



Se poco turbolento piccolo, Re piccolo, lo substrato riesce a coprire la scabrezza con il moto laminare dove ε non ha effetto.

↳ Tubo Idraulicamente liscio anche se non geometricamente liscio

Più aumenta Re, τ_f aumenta, il substrato non progressivamente copre meno e meno delle scabrezze. A questi punti le curve si allontanano dal tubo liscio.

Nel moto pienamente turbolento la scabrezza non è più immersa del substrato è allora il λ non può più cambiare per suo effetto.

La linea di transizione non è effetto solo di Re ma anche la sua combinazione con ε.

↳ Non dipende da Re ma Re^* → Reynolds di attrito

$$= \frac{u_* \varepsilon}{\nu} = \rho \frac{u_* \varepsilon}{\mu}$$

u_* → velocità di attrito

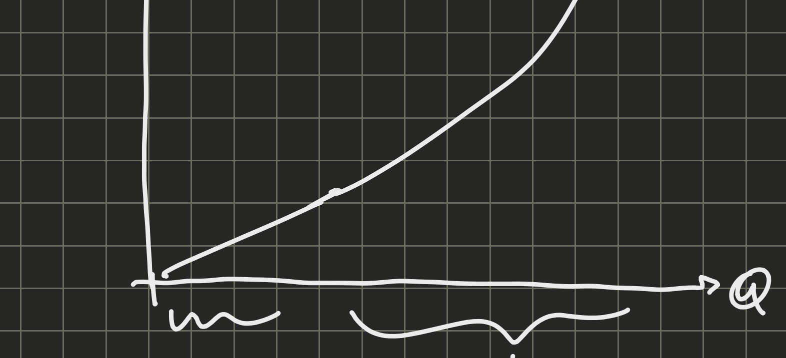
↳ $= \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ → il τ_{parete}

Quando $Re^* < 70$ si è nella zona di turbolento di transizione

$Re^* > 70$ si ha moto perfettamente turbolento.

$J(Q) = ?$

Scambia U e V sempre, sono la stessa cosa, velocità media



Laminare

$J \sim \frac{1}{V} \cdot V^2 \sim V \sim Q$

è lineare in quella zona

perché $\lambda = \frac{64}{Re}$

$\Rightarrow \lambda \sim \frac{1}{V}$

↳ turbolento

$J \sim V^2$ perché

$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3{,}71 D}\right)$

Non c'è V, quindi con si ha $J \sim V^2$

per $J = \lambda \frac{V^2}{2g}$

Nella zona di transizione non è così chiaro

Con Abaco di Moody possiamo ricavare tutte le condizioni di moto e le loro perdite di carico.

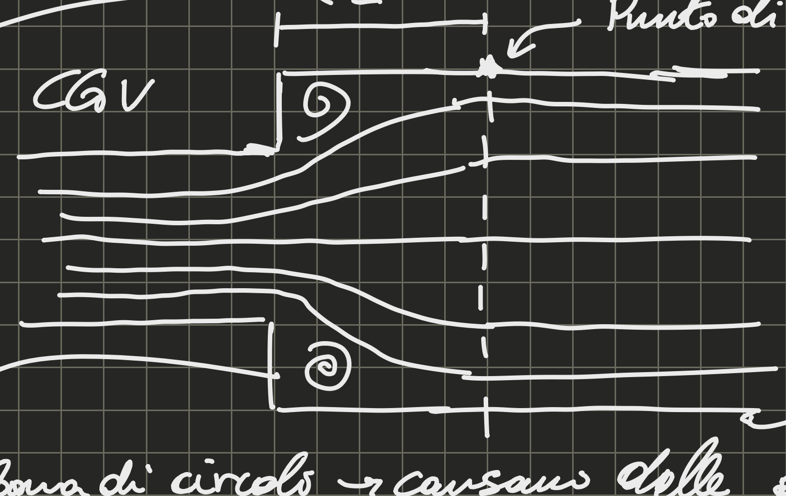
Altro tipo di perdite:

<u>Perdite di Carico Localizzate</u> / <u>Concentrate</u>

↳ Le perdite non proporzionali alla lunghezza, sono locali. Sono dovute per discontinuità geometriche, cambi di sezione e presenza di strumenti

Non guardiamo tutti i casi visto che ci sono ∞

<u>Perdite per cambi di sezione</u>:



Punto di riattacco, dove la vena fluida si attacca alle pareti.

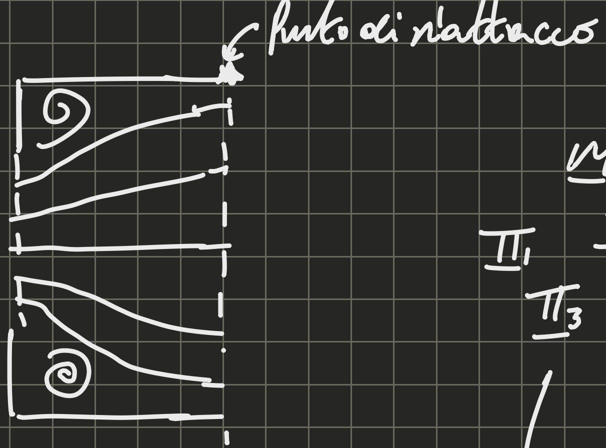
↳ Zona di ricircolo → causano delle perdite di carico locali.

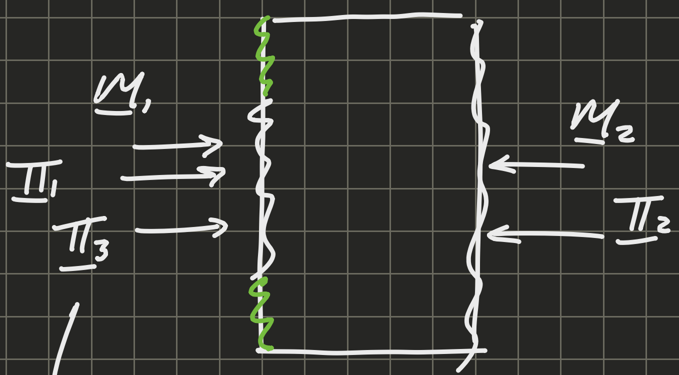
↳ perché causa strisciamento con il fluido.

Prendiamo la lunghezza come 0, per semplicità anche perché rispetto alla dimensione delle condotte è piccola.

Come facciamo con il metodo dell'equilibrio globale

Prendiamo un volume di controllo:





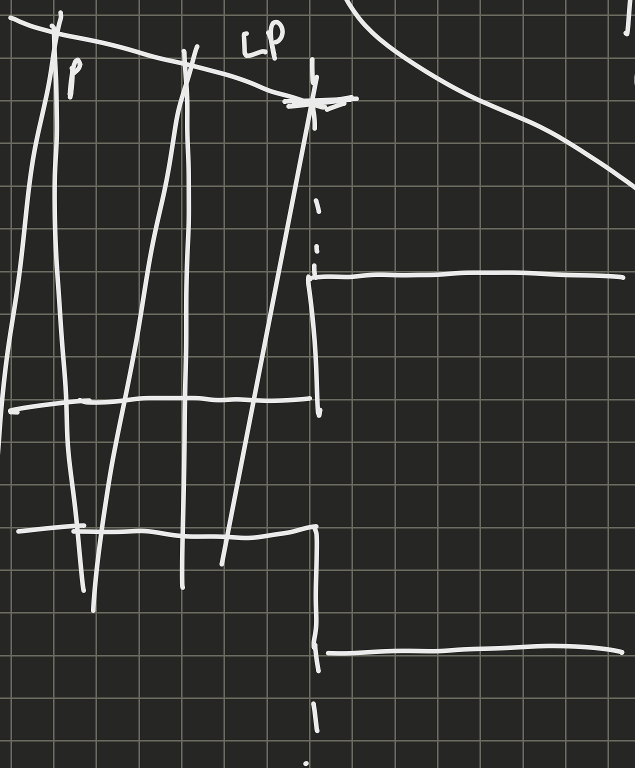
Quella che agisce sulla ciambella Π_3

Abbiamo visto nelle ultime lezioni (2 lezioni fa, forse)

Equilibrio Orizzontale

$$\rho Q V_1 - \rho Q V_2 + p_1 A_1 - p_2 A_2 + p_1 (A_1 - A_2) = 0$$

Uguali perché hanno tutti e due lo stesso baricentro.



$$\Delta H = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}\right) = \alpha \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

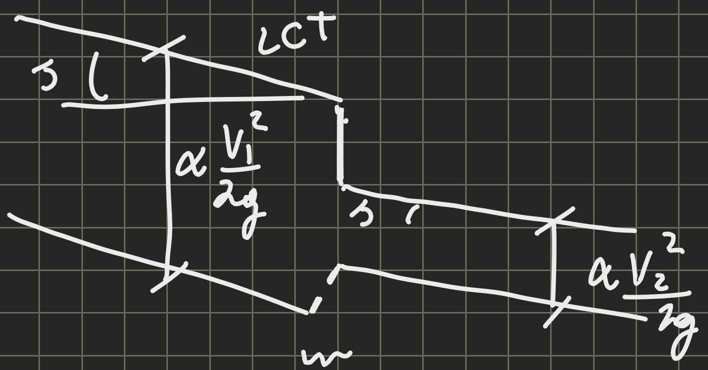
perdite di Borda

perdite di carico concentrate nel caso di brusco allargamento

Per moto turbolento $\alpha = 1$, ma ci piace di più per fare relazione al moto

Per la larghezza presa a 0, la perdita la mettiamo a 0.

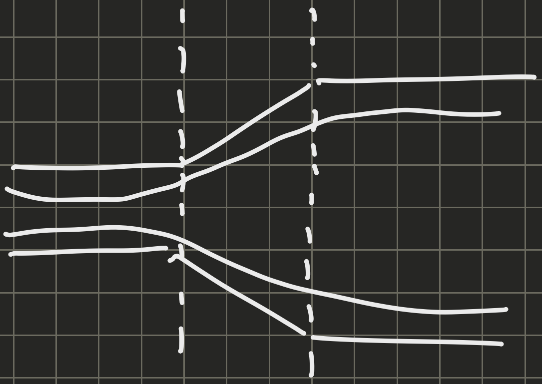
La perdenza dopo la brusca espansione di sezione, J_1 può dipendere però tende ad esser minore per la minore V.



la pressione diminuisce,
su quella sezione non è CGV, quindi LP non è unica, quindi la tratteggiamo per evidenziare questo fatto.

<u>Casi particolari dell'allargamento:</u>

<u>Allargamento Progressivo:</u>

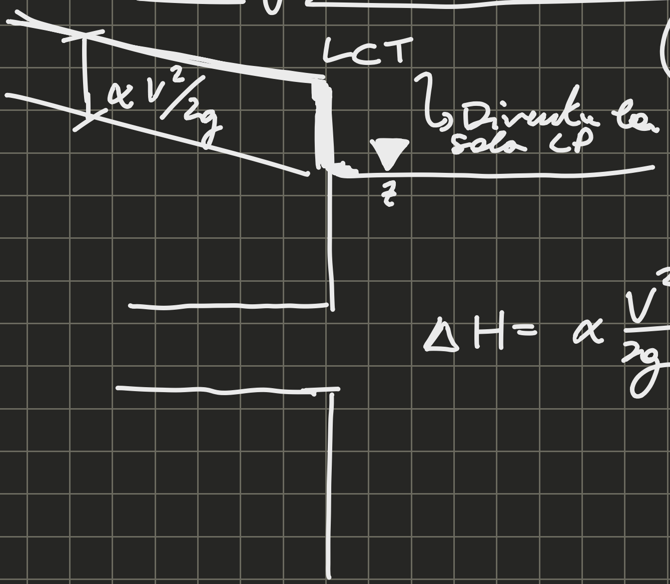


$$\Delta H = \underset{\text{Coefficiente di Gibson}}{\overset{<1}{m}}\,\alpha \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Coefficiente di Gibson

↳ Ci sono lo stesso perdite ma sono più piccole

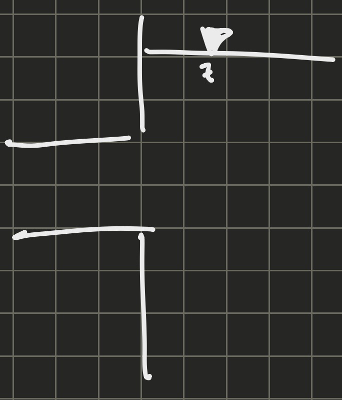
Allargamento Improvviso



$$\Delta H = \alpha \frac{V^2}{2g}$$

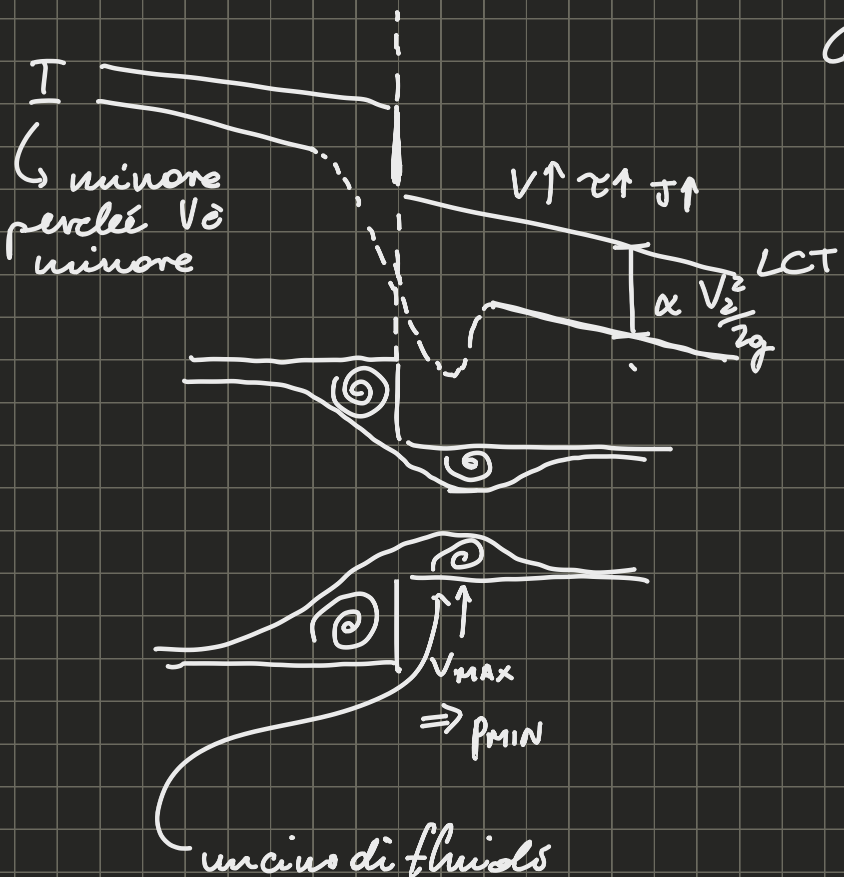
→ È come andare in un serbatoio gigante, significa che tutta la velocità viene persa.

La LP va direttamente alla linea del fluido, la ragione per cui la disegniamo da valle.



$$\Delta H = \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Contrazioni di Sezione



Continuiamo a considerare le perdite di carico concentrate usando altezze cinetiche.

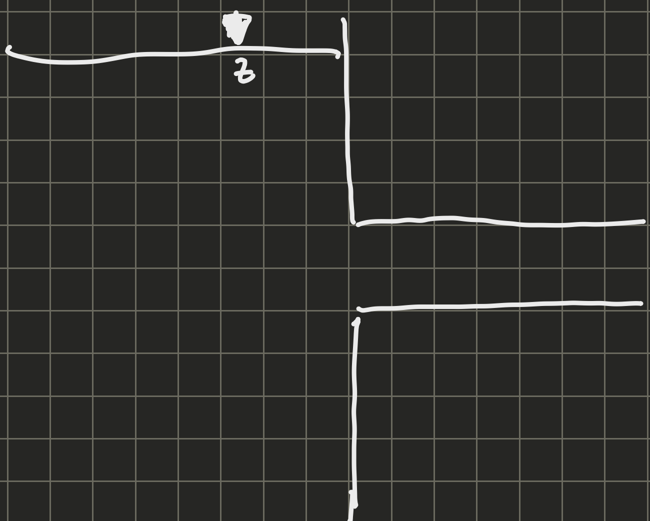
$V_1 \neq 0$, ma è come è stato deciso di scrivere la formula

$$\Delta H = k \alpha \frac{V_2^2}{2g}$$

$k = 0{,}5$ quando $\frac{D_1}{D_2} \geq 2$

$$\Delta H = k \alpha \frac{V_2^2}{2g}$$

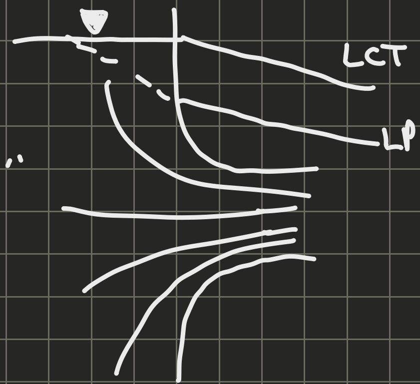
Imbocco da Serbatoio (Contrazione immersa)



$D_1 \gg D_2 \Rightarrow k = 0{,}5$

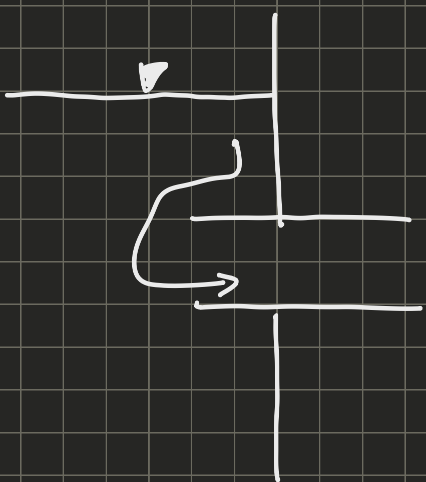
$$\Delta H = k \alpha \frac{V_2^2}{2g}$$

Per raggi raccordati:



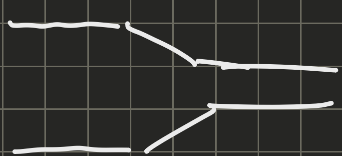
Non si fa urciùo
$\Delta H = 0$

Tubo . . . - $\boxed{12:29}$



$$\Delta H = 1{,}16\,\alpha \frac{V^2}{2g}$$

Restringimento progressivo



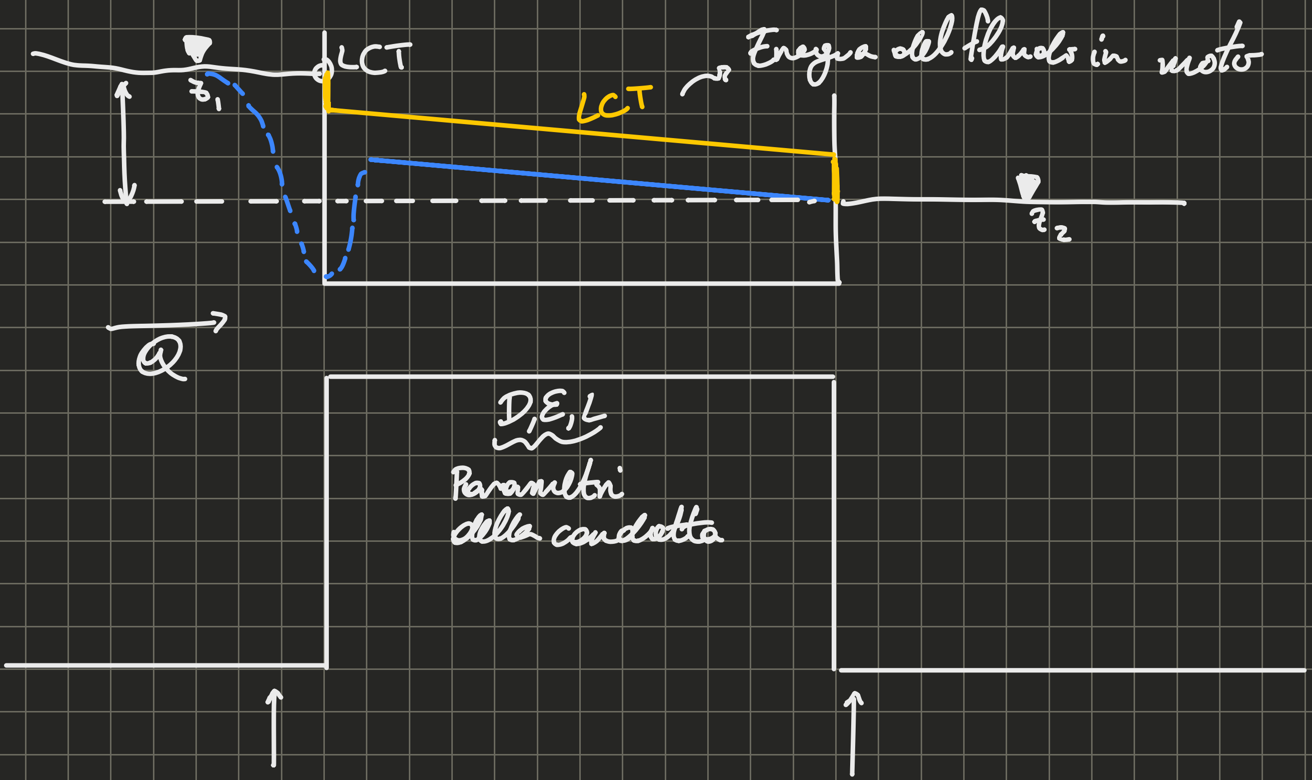
$\Delta H = 0$, non è vero ma è molto piccola.

Tutto questo è parte del formulario di condotte

Dobbiamo mettere tutto insieme

Impianto completo

Esempio più semplice



Serbatoi infiniti

Mettendo tutto quello che abbiamo detto prima insieme possiamo trovare il moto del flusso

Equazione del moto: (Equazione che rappresenta LCT

↳ Principio per cui funziona l'impianto dissipando l'energia.

$$\underbrace{z_1 - z_2}_{} = \underbrace{0{,}5\,\alpha \frac{V^2}{2g} + JL + \alpha \frac{V^2}{2g}}_{}$$

Condizione di bilanciamento d'impianto

↳ Dissipa tutta la energia che gli diamo in modo distribuito e concentrato.

Lega z_1, z_2 e $\underset{m}{V}$

Dentro a J

I Tipo di esercizio → incognita è uno dei 3.

Concettualmente è diverso se è z_1 e z_2 rispetto a V.

Caso in cui z_1 o z_2 sono incognite

z_2 noto, Q noto, ? z_1

$$V = \frac{Q}{\pi D^2/4} \rightarrow Re = \rho \frac{VD}{\mu}$$

$< 2000 \Rightarrow \alpha = 2, \lambda = \frac{64}{Re}$

$> 2000 \rightarrow \alpha = 1,$

Assunto

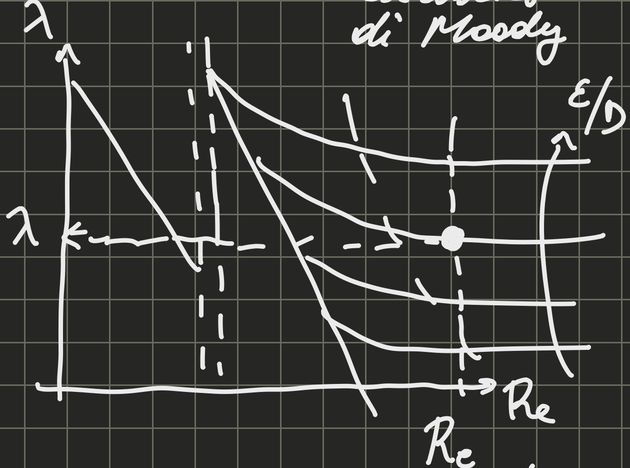
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log_{10}\left(\frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3{,}71 D}\right)$$

↳ Risolve numericamente o con abaco di Moody

$$z_1 = z_2 + 1{,}5\alpha\frac{V^2}{2g} + \lambda\frac{V^2}{2gD}L$$

L'equazione del moto è l'equivalente a $\tau \sim \frac{\partial p}{\partial x}$

La stessa energia che abbiamo la dissipiamo.



Re in questo caso

λ generalmente 0,0 . . .