

# Hydraulics

- È la disciplina che studia il **moto dell'acqua (e altri fluidi) nelle opere artificiali** progettate dall'uomo: condotte, canali, opere di presa, impianti di sollevamento, impianti idroelettrici, reti acquedottistiche, fognarie, opere di dissipazione, ecc.
- Mentre l'idraulica “teorica” si concentra su equazioni di moto, pressioni, velocità e caratteristiche dei fluidi, **l'idraulica applicata va sul campo**: come si progettano le tubazioni? Come si dimensiona una pompa? Cosa succede quando chiudo bruscamente una valvola? Come evitare erosioni a valle di una diga?



# Bernoulli 2.0

L'equazione di Bernoulli descrive il moto di un fluido **ideale**:

- incomprimibile
- privo di viscosità
- senza dissipazioni

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{costante}$$



# Bernoulli 2.0

L'equazione di Bernoulli descrive il moto di un fluido **ideale**:

- incompressibile
- privo di viscosità
- ~~senza dissipazioni~~

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{costante}$$



$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_f$$



# Bernoulli 2.0

L'equazione di Bernoulli descrive il moto di un fluido **ideale**:

- incompressibile
- privo di viscosità
- ~~senza dissipazioni~~



$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{costante}$$



$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_f$$

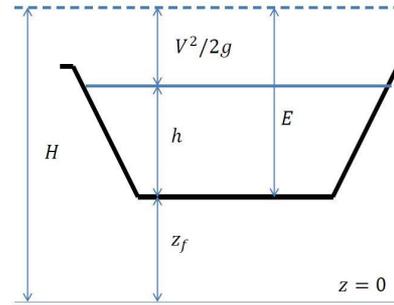
In una condotta orizzontale con sezione costante, la **perdita di pressione** serve a vincere la resistenza della condotta.

$$p_1 - p_2 = \rho g h_f$$

# Bernoulli 2.0

L'equazione di Bernoulli descrive il moto di un fluido **ideale**:

- incompressibile
- privo di viscosità
- ~~senza dissipazioni~~



$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{costante}$$



$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_f$$



$$z_f + h$$

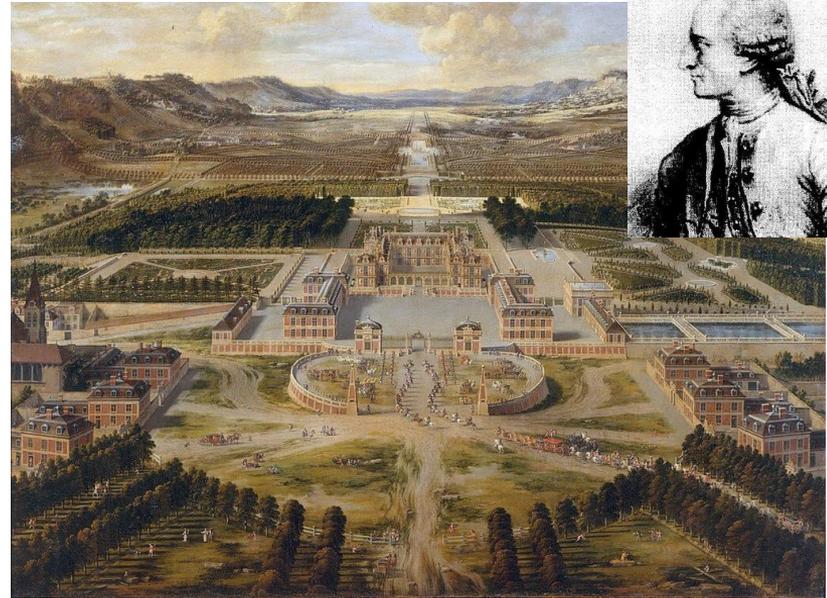
In un canale aperto, la variazione dell'altezza del profilo gioca un ruolo fondamentale.

# L'attrito nei fluidi

L'acqua, in un canale inclinato, si muove di moto uniforme!

Formula di Chezy: una formula empirica utilizzata per calcolare la velocità di un fluido a pelo libero in condizioni di moto uniforme e principalmente turbolento, il cui campo di applicazione è stato poi ampliato anche alle correnti in pressione.

$$v = \chi \cdot \sqrt{A/P \cdot i_f}$$

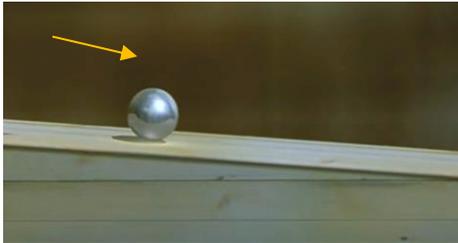


# L'attrito nei fluidi

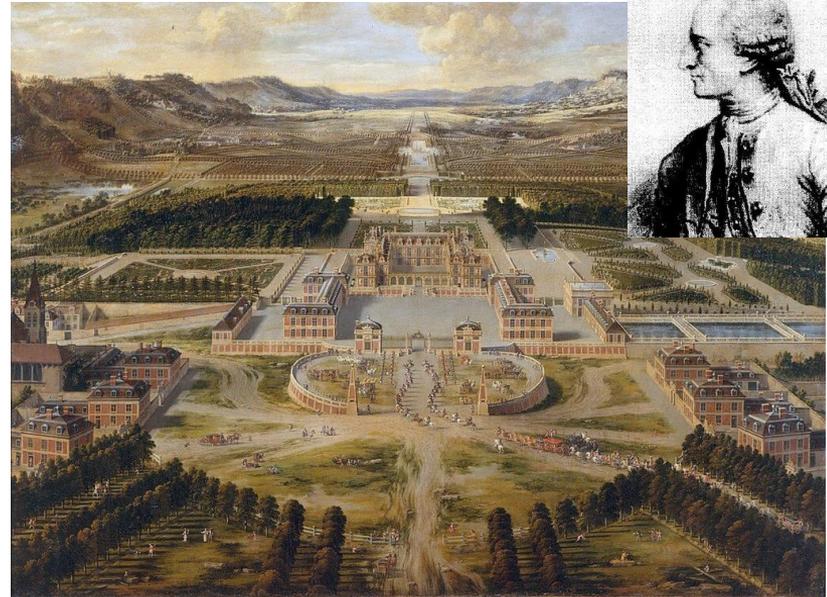
**L'acqua, in un canale inclinato, si muove di moto uniforme!**

Formula di Chezy: una formula empirica utilizzata per calcolare la velocità di un fluido a pelo libero in condizioni di moto uniforme e principalmente turbolento, il cui campo di applicazione è stato poi ampliato anche alle correnti in pressione.

$$v = \chi \cdot \sqrt{A/P \cdot i_f}$$



Su un piano inclinato, dopo una fase di accelerazione, un oggetto raggiunge una velocità terminale, la forza peso è bilanciata dalle forze resistenti. L'acqua fluente in un canale inclinato si muove di moto uniforme perché l'accelerazione è controbilanciata dall'attrito. La velocità è proporzionale alla radice quadrata della pendenza del fondo.



# Condotte in pressione

## Condotte in pressione

“Come arriva l'acqua potabile nelle nostre case?”

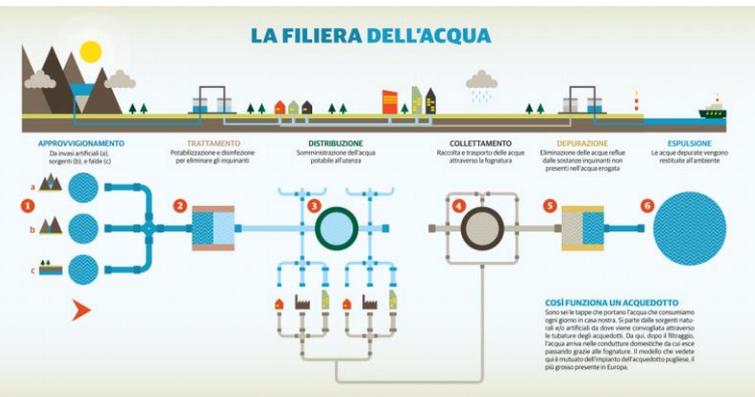
Lunga filiera: sorgente → impianto → serbatoi → rete.

👉 *Acquedotti e distribuzione idrica, serbatoi di accumulo, torri piezometriche.*

“Perché le tubazioni degli acquedotti non possono essere troppo strette o troppo larghe?”

Troppo strette = perdite di carico alte; troppo larghe = costose, stagnazione.

👉 *progetto/verifica, velocità ottimali.*



# Condotte in pressione

## Scenario:

Stessa lunghezza, stesso diametro, stessa portata. Due condotte:

- una liscia (es. PVC),
- una ruvida (es. vecchio acciaio arrugginito).

## Dati:

- Lunghezza: 100 m
- Diametro: 100 mm
- Portata: 5 L/s
- Velocità media:  $\approx 0.64$  m/s



## Risultato:

- Per il **PVC**:  
→  $h_f = 0.5$  m
- Per l'**acciaio ruvido**:  
→  $h_f = 2.5$  m

 **La tubazione ruvida dissipa 5 volte più energia!**

→ **Serve più pressione (pompa più potente)** per mantenere la stessa portata.

# Condotte in pressione

## Scenario:

Stessa lunghezza, stesso diametro, stessa portata. Due condotte:

- una liscia (es. PVC),
- una ruvida (es. vecchio acciaio arrugginito).

## Dati:

- Lunghezza: 100 m
- Diametro: 100 mm
- Portata: 5 L/s
- Velocità media:  $\approx 0.64$  m/s

## Risultato:

- Per il **PVC**:  
→  $h_f = 0.5$  m
- Per l'**acciaio ruvido**:  
→  $h_f = 2.5$  m

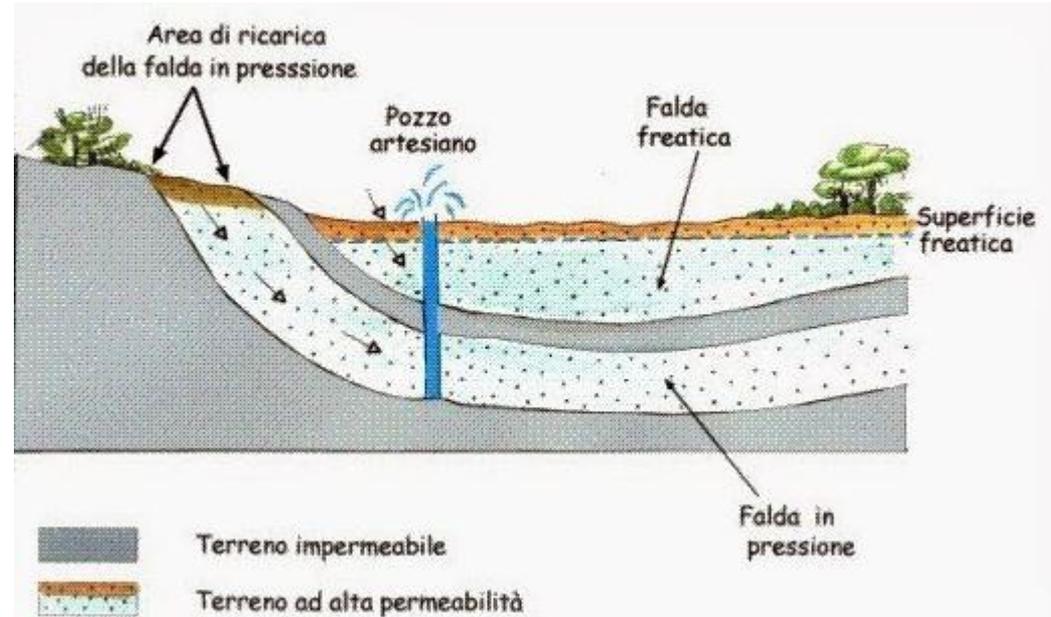
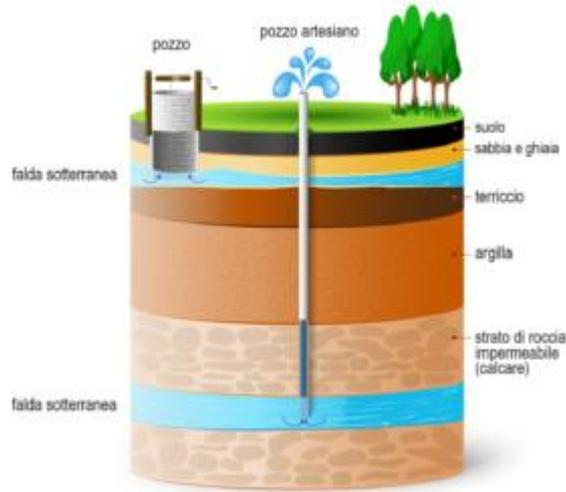


⚠ **La tubazione ruvida dissipa 5 volte più energia!**

→ **Serve più pressione (pompa più potente)** per mantenere la stessa portata.

# L'acqua potabile

## Le falde acquifere



➔ *Water treatment and ground water remediation techniques*

# Condotte in pressione



## Cresco8, inaugurato a Napoli il supercomputer per la transizione energetica e digitale

Il sistema di raffreddamento ad acqua di Lenovo consente al nuovo elaboratore di Enea di trovare un nuovo equilibrio tra prestazioni e sostenibilità



## Oleodotto Transalpino (TAL)

L'idraulica applicata trasporta l'energia del mondo

- **Lunghezza Totale:** 753 km – Porto di Trieste - Ingolstadt
- **Paesi Coinvolti:** Italia, Austria, Germania, Repubblica Ceca
- **Capacità di Trasporto:** oltre 40 milioni di tonnellate di greggio all'anno
- **Diametro della Condotta:** 1.016 mm
- **Materiale:** Acciaio ad alta resistenza
- **Numero di Stazioni di Pompaggio:** 12
- **Punto più Alto:** Felbertauern, Austria (1.572 m s.l.m.)



**Potenza di calcolo:** oltre **9 petaflops**, equivalenti a novemila trilioni di calcoli al secondo.

**Tecnologia di raffreddamento:** utilizza il sistema **Lenovo Neptune**, che impiega acqua per raffreddare direttamente i componenti interni. Portata volumetrica: 24 L/s

# Correnti a superficie libera

## *Canali Aperti*

**“Cosa succede all’acqua quando il canale si restringe?”**

 *profili di corrente, altezza di un canale.*

**•“Se un fiume scende veloce da un pendio e poi entra in una zona più piatta, cosa succede all’acqua?”**

 *risalto idraulico, transizione brusca.*

**•“Sai che il risalto idraulico viene usato volontariamente in ingegneria per rallentare l’acqua?”**

 *uso del risalto per dissipare energia in canali e scarichi, proteggere strutture a valle.*



# Correnti a superficie libera

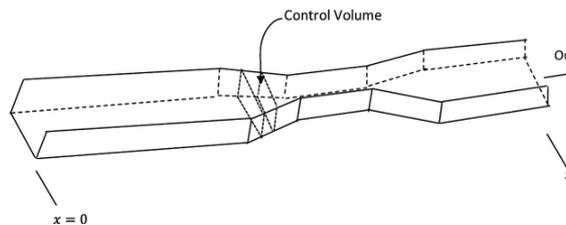
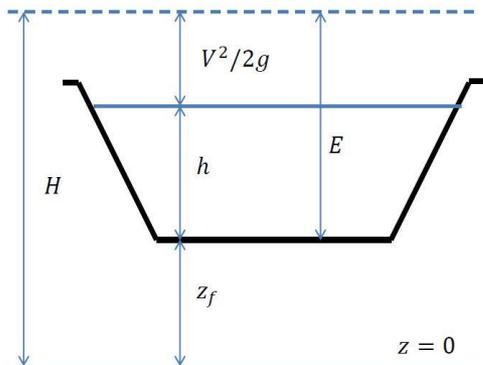
## Canali Aperti

“Cosa succede all’acqua quando il canale si restringe?”

👉 profili di corrente, **altezza di un canale**.

•“Se un fiume scende veloce da un pendio e poi entra in una zona più piatta, cosa succede all’acqua?”

👉 risalto idraulico, transizione brusca.



$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} = z_f + h + \frac{V^2}{2g}$$



# Correnti a superficie libera

## *Canali Aperti*

“Cosa succede all’acqua quando il canale si restringe?”

👉 *profili di corrente, altezza di un canale.*

•“Se un fiume scende veloce da un pendio e poi entra in una zona più piatta, cosa succede all’acqua?”

👉 **risalto idraulico**, transizione brusca.



# Correnti a superficie libera

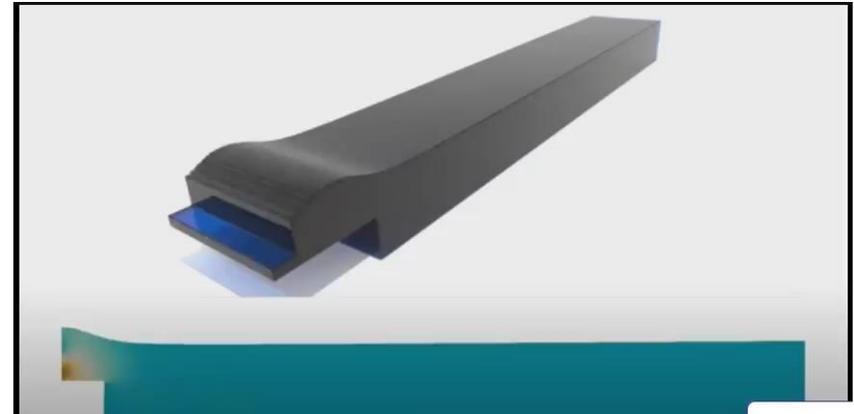
## *Canali Aperti*

“Cosa succede all’acqua quando il canale si restringe?”

👉 *profili di corrente, altezza di un canale.*

•“Se un fiume scende veloce da un pendio e poi entra in una zona più piatta, cosa succede all’acqua?”

👉 **risalto idraulico**, transizione brusca.



# Moto vario: colpo d'ariete

## ⚠ *Colpo d'Ariete*

•“Hai mai sentito un rumore secco quando chiudi un rubinetto?”

È il colpo d'ariete: un'onda di pressione che si riflette nel tubo.

👉 *transitori, onde di pressione, compressione.*

•“Perché non si possono chiudere le valvole troppo velocemente in un impianto idraulico?”

Si generano onde di sovrappressione pericolose.

👉 *protezione da sovrappressioni, tempi di chiusura.*

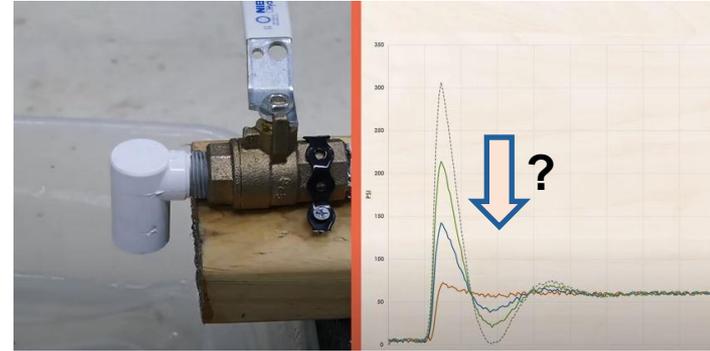
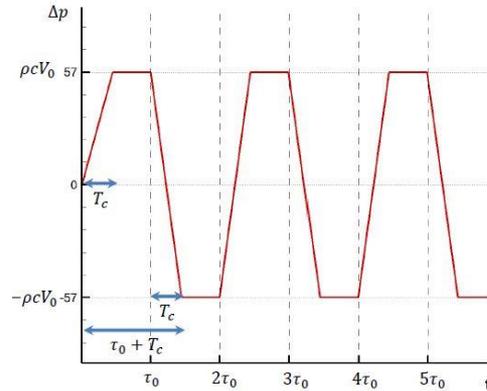
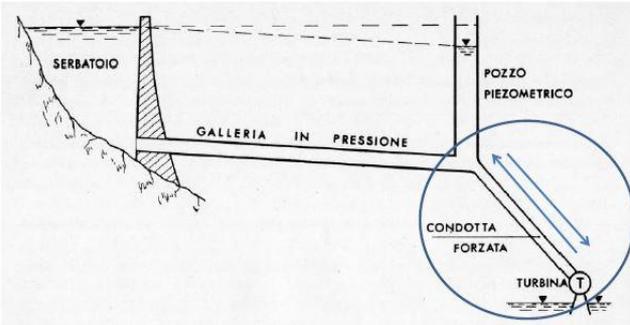
## Pipe Broken from Water Hammer



# Colpo d'ariete



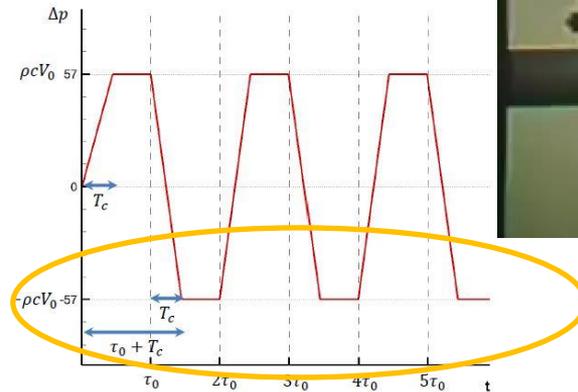
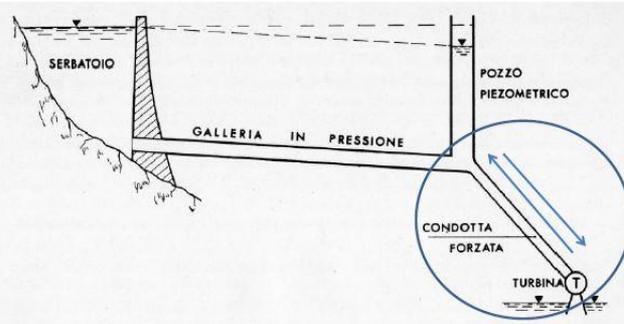
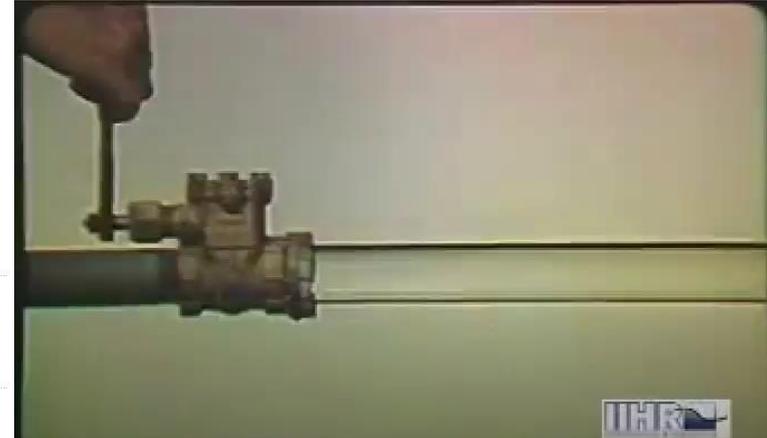
$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot (v_0 - v_1)$$



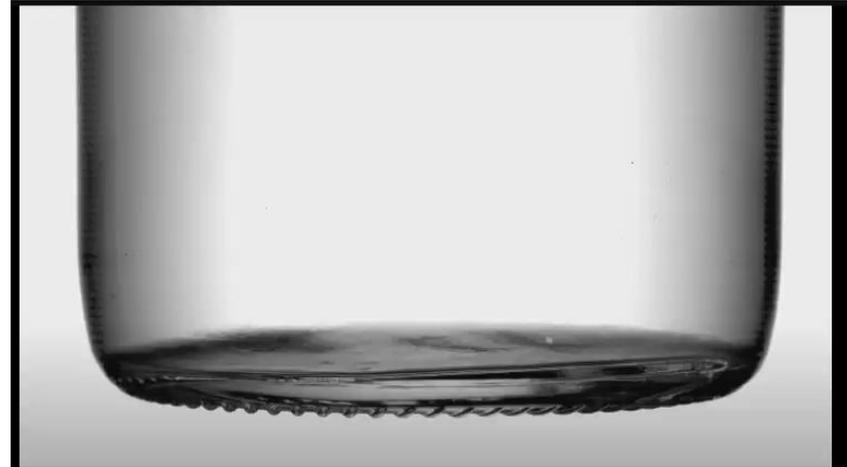
# Colpo d'ariete



$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot (v_0 - v_1)$$



# Colpo d'ariete



# Moto vario: oscillazioni di massa

## Oscillazioni di massa

•“Cosa succede se una pompa immette più acqua di quanta ne esce da un serbatoio?”

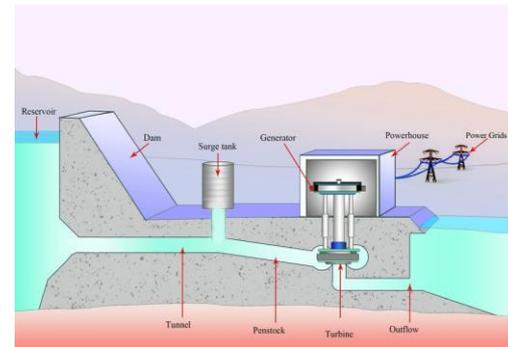
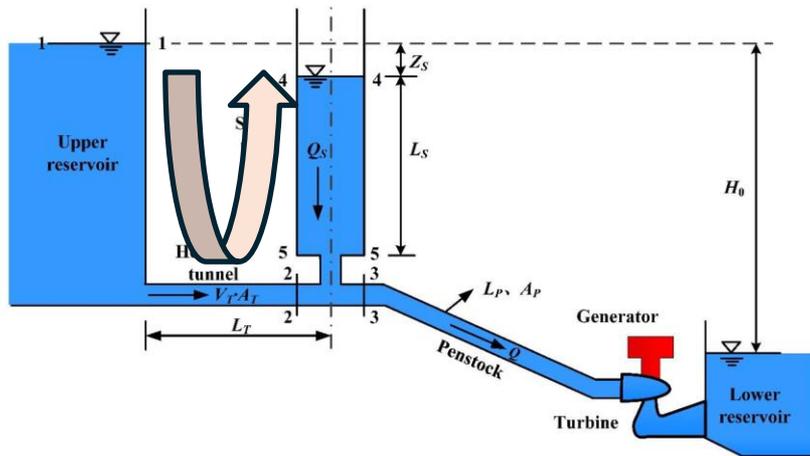
Il livello sale. Se succede il contrario, scende.

👉 bilancio di massa, variabilità nel tempo.

•“Come si stabilizza il livello in un serbatoio con più utenti collegati?”

Con pompe a velocità variabile, valvole, torri piezometriche.

👉 controllo, regolazione, oscillazioni smorzate.



# Moto vario: oscillazioni di massa

## Oscillazioni di massa

•“Cosa succede se una pompa immette più acqua di quanta ne esce da un serbatoio?”

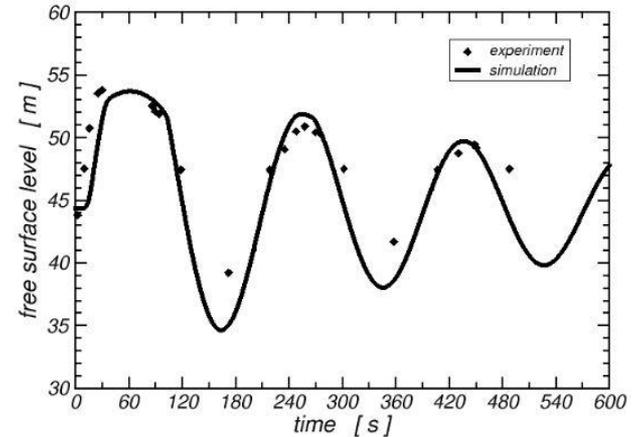
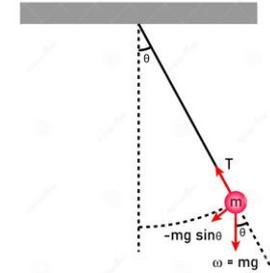
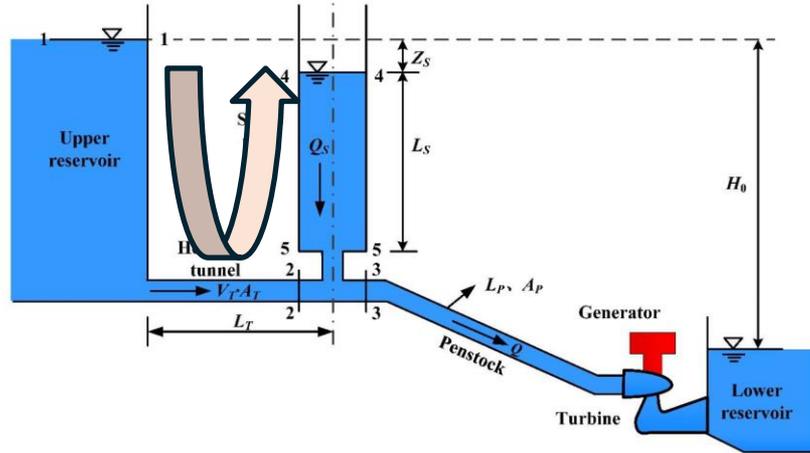
Il livello sale. Se succede il contrario, scende.

👉 bilancio di massa, variabilità nel tempo.

•“Come si stabilizza il livello in un serbatoio con più utenti collegati?”

Con pompe a velocità variabile, valvole, torri piezometriche.

👉 controllo, regolazione, oscillazioni smorzate.

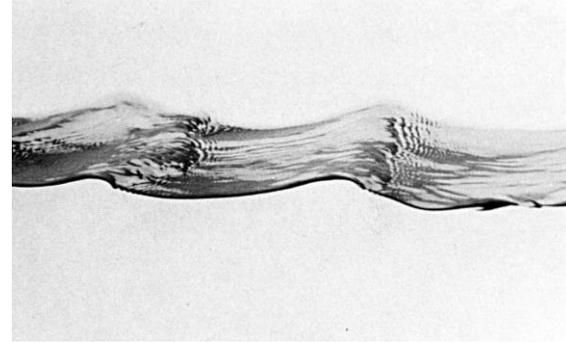


# Maritime Hydraulics

Il corso di **idraulica marittima** è una branca specialistica dell'ingegneria idraulica che si occupa dei fenomeni fisici legati all'interazione tra il mare (o grandi corpi idrici) e le opere antropiche, come porti, dighe, frangiflutti, ma anche delle dinamiche costiere naturali



# Cos'è un'onda ?



# Cos'è un'onda ?

George Airy assume che le onde siano:

- **piccole** rispetto alla profondità e alla lunghezza d'onda (piccole ampiezze → onde lineari),
- Il fluido sia **incomprimibile** e **irrotazionale** (niente vortici),
- Il fondo sia **orizzontale** e la profondità costante.

Con queste ipotesi, si può usare il **potenziale di velocità**  $\phi(x, z, t)$  per descrivere il moto del fluido, e risolvere la **Laplace**:

$$\nabla^2 \phi = 0$$



# Cos'è un'onda ?

George Airy assume che le onde siano:

- **piccole** rispetto alla profondità e alla lunghezza d'onda (piccole ampiezze → onde lineari),
- Il fluido sia **incomprimibile** e **irrotazionale** (niente vortici),
- Il fondo sia **orizzontale** e la profondità costante.



Con queste ipotesi, si può usare il **potenziale di velocità**  $\phi(x, z, t)$  per descrivere il moto del fluido, e risolvere la **Laplace**:

$$\nabla^2 \phi = 0$$



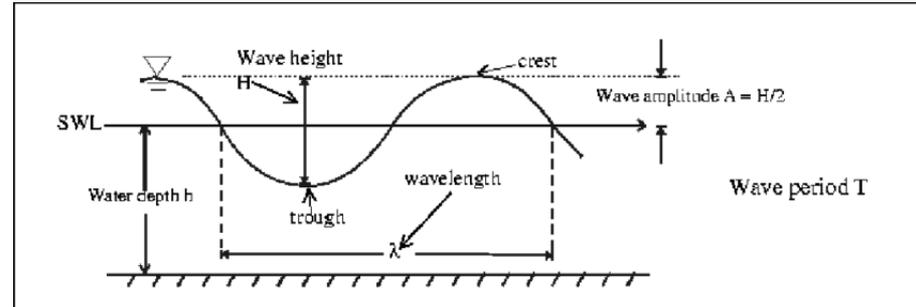
Poi si impongono le **condizioni al contorno**

- Superficie libera (pressione atmosferica)
- Fondo impermeabile (nessun flusso normale)



L'onda è modellata come funzione sinusoidale

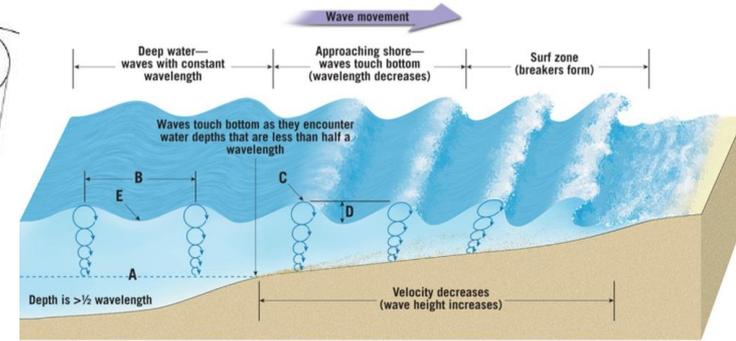
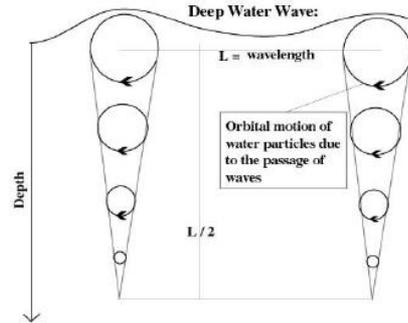
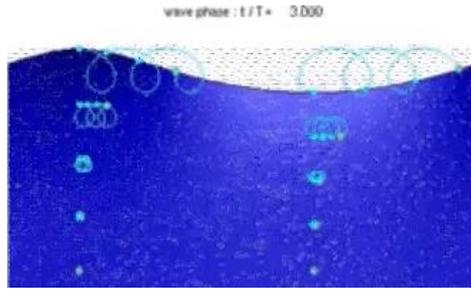
$$\eta(x, t) = a \cos(kx - \omega t)$$



# Teoria lineare

L'onda è modellata come funzione sinusoidale

$$\eta(x, t) = a \cos(kx - \omega t)$$



**Cosa descrive la teoria di Airy**

1. **Orbite ellittiche** delle particelle d'acqua sotto l'onda (circolari in acque profonde).

2. **Decadimento verticale** dell'effetto ondoso (si smorza con la profondità).

3. **Relazione tra lunghezza d'onda e periodo**: la famosa **relazione di dispersione**:  $\omega^2 = gk \tanh(kh)$

# Teoria lineare

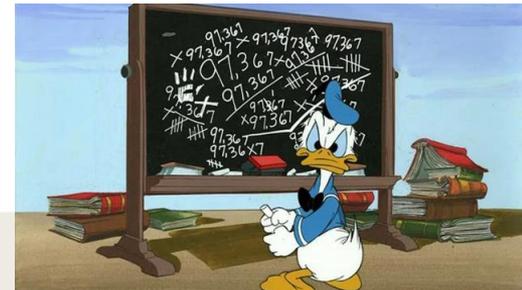
L'onda è modellata come funzione sinusoidale

$$\eta(x, t) = a \cos(kx - \omega t)$$

Si derivano equazioni per:

- **Pressioni** sotto l'onda
- **Velocità** orizzontali e verticali
- **Energia trasportata e forze sulle strutture**

$$p(x, z, t) = \rho g \eta(x, t) \cdot \frac{\cosh[k(z + h)]}{\cosh(kh)}$$

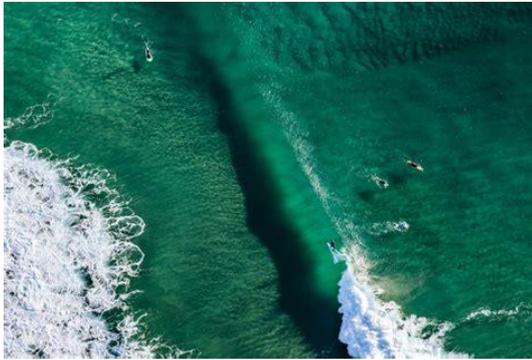


# Trasformazione delle onde in acque basse

Quando le onde si avvicinano alla costa:

- **Shoaling** (cambiamento di altezza)
- **Refrazione** (le onde si incurvano verso le profondità minori)
- **Diffrazione** (quando incontrano ostacoli come moli o isole)
- **Frangimento**: un'onda si rompe se il rapporto tra altezza e profondità supera un certo valore

Le onde si frangono dove trovano un fondale basso, ma non tutte lo fanno nello stesso modo. I surfisti studiano la **batimetria** (la forma del fondale) per trovare i punti dove l'onda frange meglio e più regolarmente.



# Idraulica delle onde

## Tipi di strutture marittime e interazione con le onde

### Struttura verticale

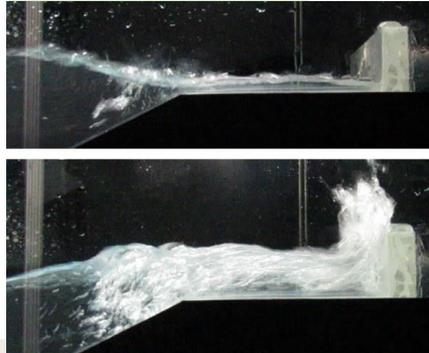
(es: moli, paratoie, dighe):

- Le onde urtano **perpendicolarmente** alla parete.
- Possono **riflettersi quasi completamente**, generando **sovrappressioni significative** (impatti impulsivi se l'onda si rompe).
- In presenza di frangimento, si può avere **colpo d'ariete marittimo** (pressione d'urto molto elevata.  $>200$  kPa).

### Struttura inclinata

(es: scogliera, frangiflutto a scogliera):

- Dissipa parte dell'energia tramite **risalita dell'onda** e **frangimento graduale**.
- Le forze sono più distribuite e generalmente **minori**.
- Si progetta in modo da evitare riflessione, ma c'è maggiore occupazione spaziale.



# Idraulica delle onde

## Tipi di strutture marittime e interazione con le onde

### Strutture galleggianti

- È posizionato **parallelo alla costa** o all'opera da proteggere.
- Le onde lo colpiscono → parte dell'energia viene **riflessa** o **dissipata**.
- Il resto passa sotto, ma in modo **smorzato**, riducendo **moto ondoso e turbolenza** dietro.



PONTOON Twin pontoon	<p>SECTION</p>	Catamaran shape
Open compartment	<p>PLAN</p>	Sometime called Alaska type
A frame	<p>SECTION</p>	
Twin log	<p>SECTION</p>	Deck is open wood frame
Pontoon with kelp wave attenuation	<p>SECTION</p>	

## Tipi di strutture marittime e interazione con le onde

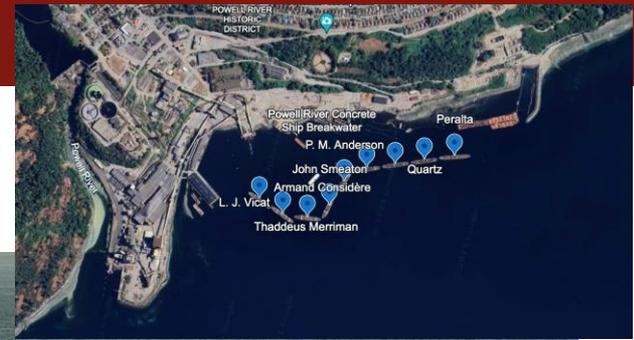


### 1. Powell River Floating Breakwater (Canada)

Situato nella Columbia Britannica, questo frangiflutto galleggiante è composto da navi in cemento armato risalenti alla Seconda Guerra Mondiale.

Le navi, note come "The Hulks", sono state assemblate per formare una barriera protettiva per un impianto di produzione di pasta di legno, creando una zona d'acqua calma per la lavorazione del legname.

È considerato uno dei più grandi frangiflutti galleggianti al mondo.



# Correnti litoranee e trasporto solido

Le onde non portano solo energia, ma anche **sedimenti**: sabbia, limo, ghiaia.

- Si parla di **longshore drift**, il trasporto lungo costa causato dall'incidenza obliqua delle onde.
- Si modellano i cambiamenti morfologici della costa, essenziali per capire l'**arretramento o avanzamento della linea di riva**.



