

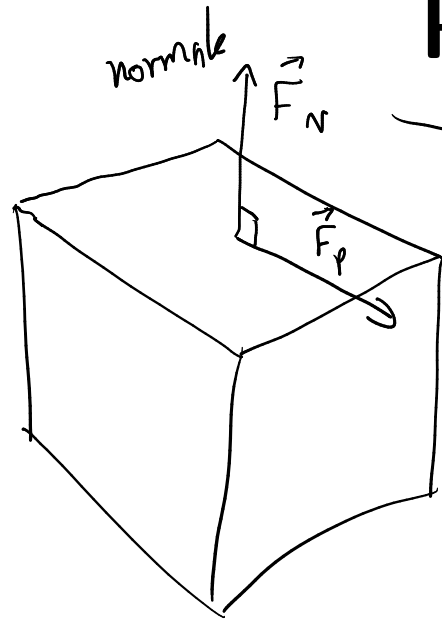
Fisica Generale 1 – 018IN

Solidi e fluidi

Prof. Pierre Thibault
pthibault@units.it



Proprietà dei solidi



→ tensione/compressione

parallela

forza di taglio "shear"

forza / area : "sforzo"

"stress"

Compressione / tensione

Taglio

$$\sigma_t = \frac{F_N}{A} \quad \text{sforzo di tensione}$$

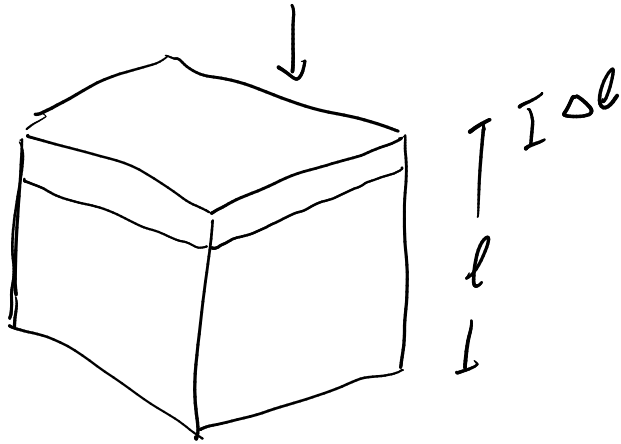
$$\sigma_s = \frac{F_P}{A}$$

sforzo di taglio

Forza normale applicata su tutte le facce : $p = \frac{F_N}{A}$ "pressione"

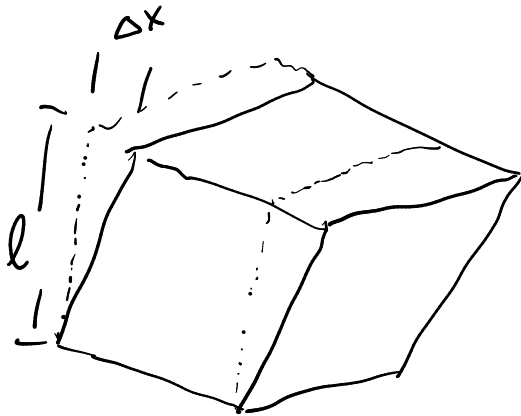
Proprietà dei solidi

Deformazioni: "strain"



$$\epsilon_t = \frac{\Delta l}{l}$$

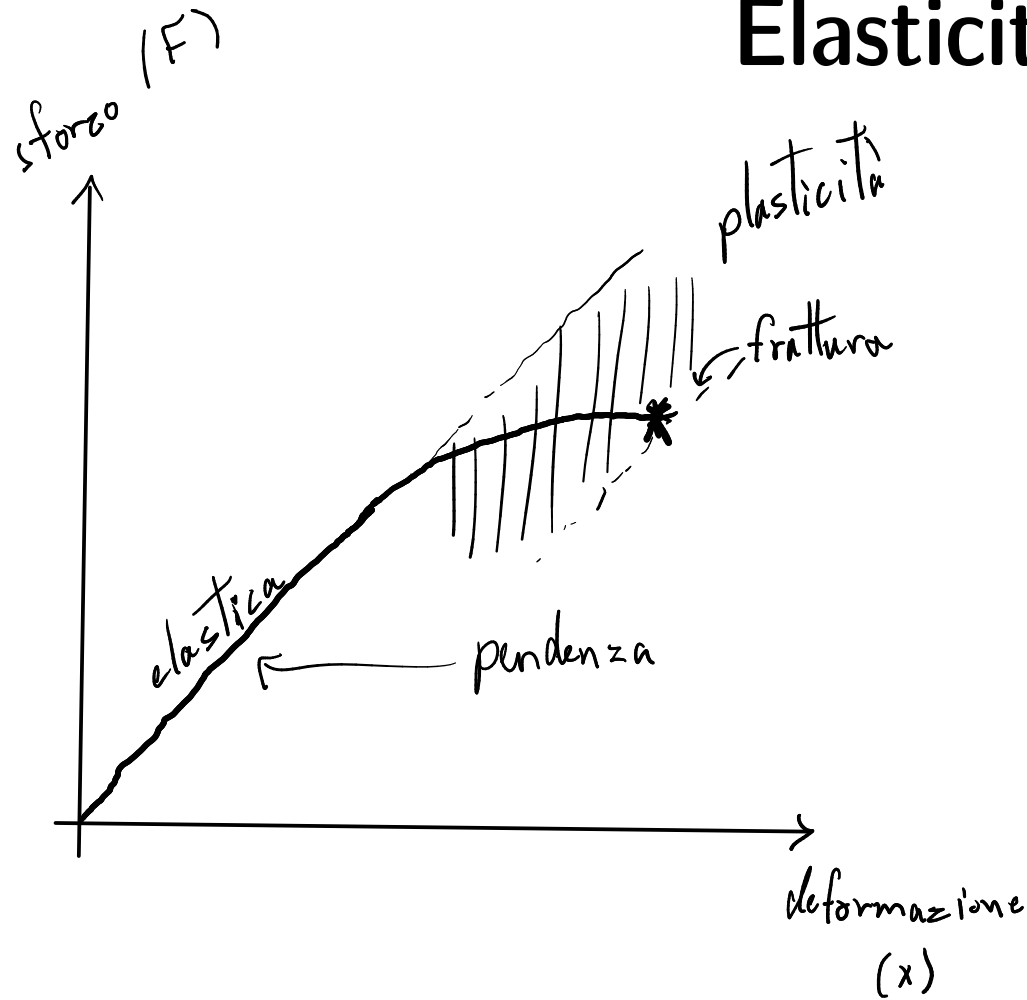
deformazione
di trazione
"normal strain"



$$\epsilon_s = \frac{\Delta x}{l}$$

deformazione da
taglio
"shear strain"

Elasticità



$$\frac{\sigma_t}{\epsilon_t} = \frac{F_t/A}{\Delta l/l} = Y$$

modulo di Young

$$\frac{\sigma_s}{\epsilon_s} = \frac{F_s/A}{\Delta x/l} = S$$

modulo di taglio

$$B = \frac{\Delta P}{\Delta V/V}$$

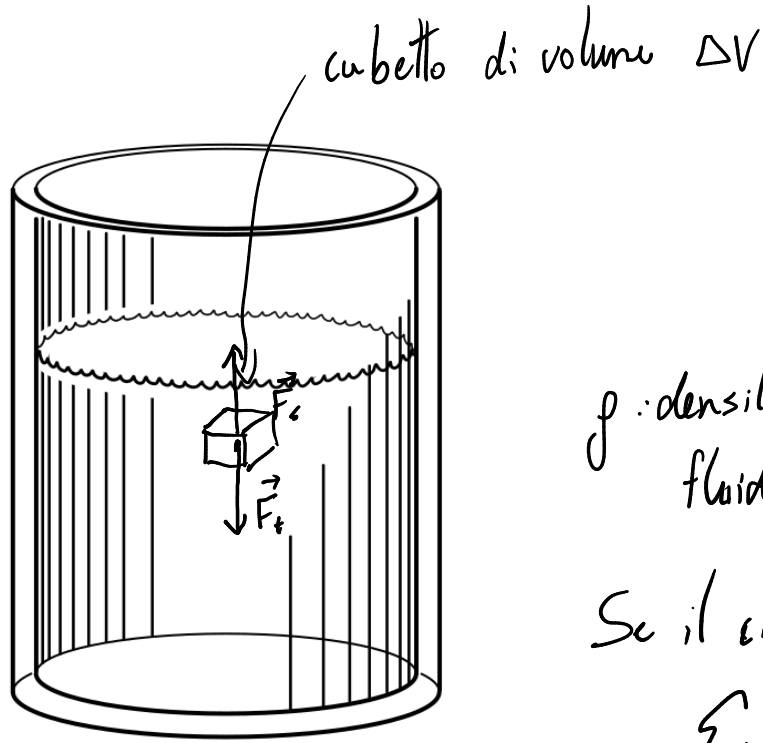
modulo di compressione

"Bulk modulus"

Densità

Materiale	Densità ρ (kg/m ³)	Materiale	Densità ρ (kg/m ³)
Alluminio	2.7×10^3	Legno	0.7×10^3
Ottone	8.4×10^3		
Rame	8.9×10^3	Sangue	1.05×10^3
Oro	19.3×10^3	Alcol etilico	0.81×10^3
Iridio	22.6×10^3	Glicerina	1.26×10^3
Ferro o acciaio	7.8×10^3	Mercurio	13.6×10^3
Piombo	11.3×10^3	Acqua	1.00×10^3
Platino	21.4×10^3	Acqua marina	1.03×10^3
Tungsteno	19.3×10^3		
		Aria	1.29
Osso	1.8×10^3	Elio	0.179
Mattone	$1.4\text{-}2.2 \times 10^3$	Idrogeno	0.090
Calcestruzzo	2.4×10^3	Vapore acqueo (100 °C)	0.6
Diamante	3.5×10^3	Esafluoruro di uranio	15
Vetro	2.6×10^3		
Ghiaccio	0.92×10^3	Spazio interstellare	3×10^{-22}
Nylon	1.1×10^3	Sole (media)	1.4×10^3
Roccia (media)	2.8×10^3	Terra (media)	5.5×10^3
Gomma (dura)	1.2×10^3	Stella di neutroni	10^{17}

Fluidi



$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \Delta m \vec{g} + \vec{F}_s \stackrel{\text{equilibrio}}{=} 0$$

$$\vec{F}_s = -\Delta m \vec{g}$$

spinta dovuta al
fluido attorno il
cubo

ρ : densità del
fluido

$$\vec{F}_s = -\Delta V \rho \vec{g}$$

Se il cubo è occupato da un altro materiale:

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \Delta m \vec{g} - \Delta V \rho \vec{g}$$

per un corpo di altra forma
(somma sui cubetti)

$$\vec{F}_r = m \vec{g} - \rho V \vec{g}$$

Principio di Archimede

« Un corpo che è immerso parzialmente o totalmente in un fluido riceve una spinta di intensità pari al peso del fluido spostato e diretta verso l'alto lungo una retta passante per il centro di gravità del fluido spostato. »

Pressione

Pressione: forza per unità di area

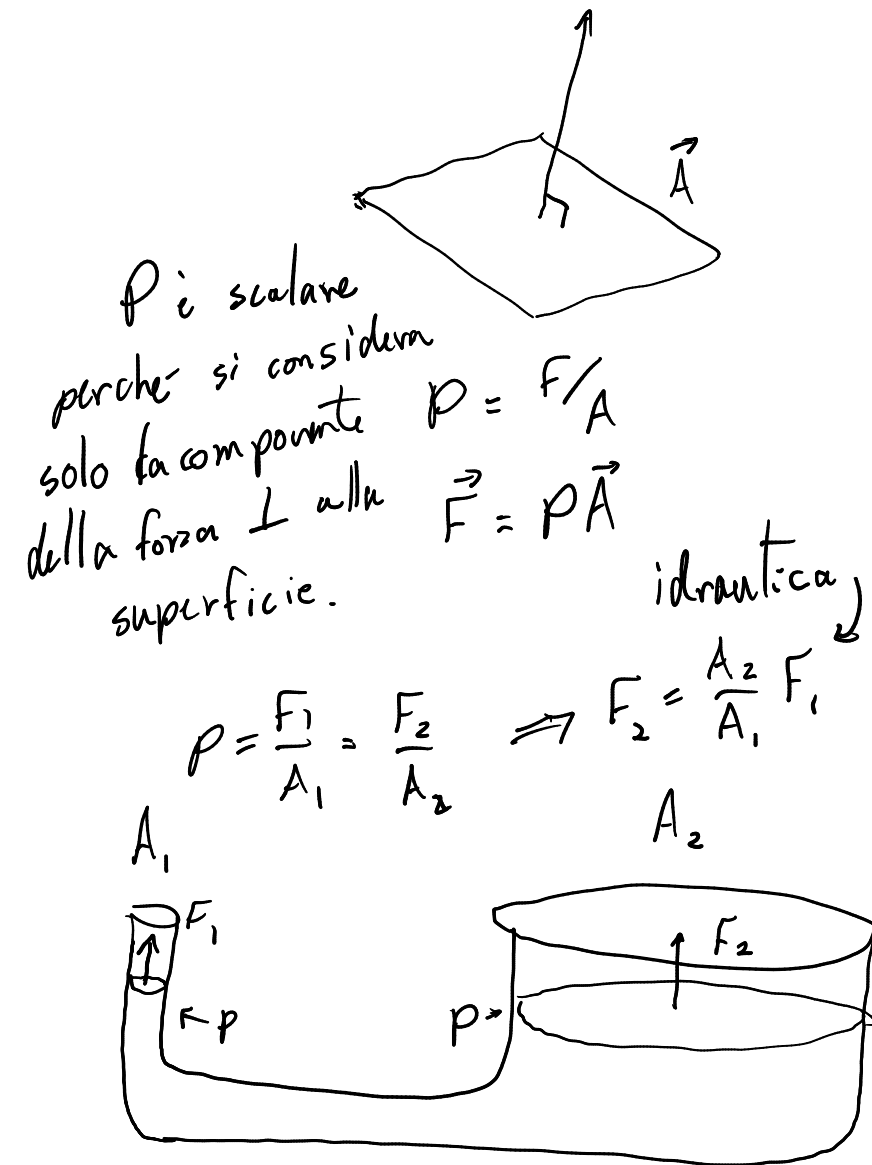
Unità: $\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ "Pascal"

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 750 \text{ Torr}$$

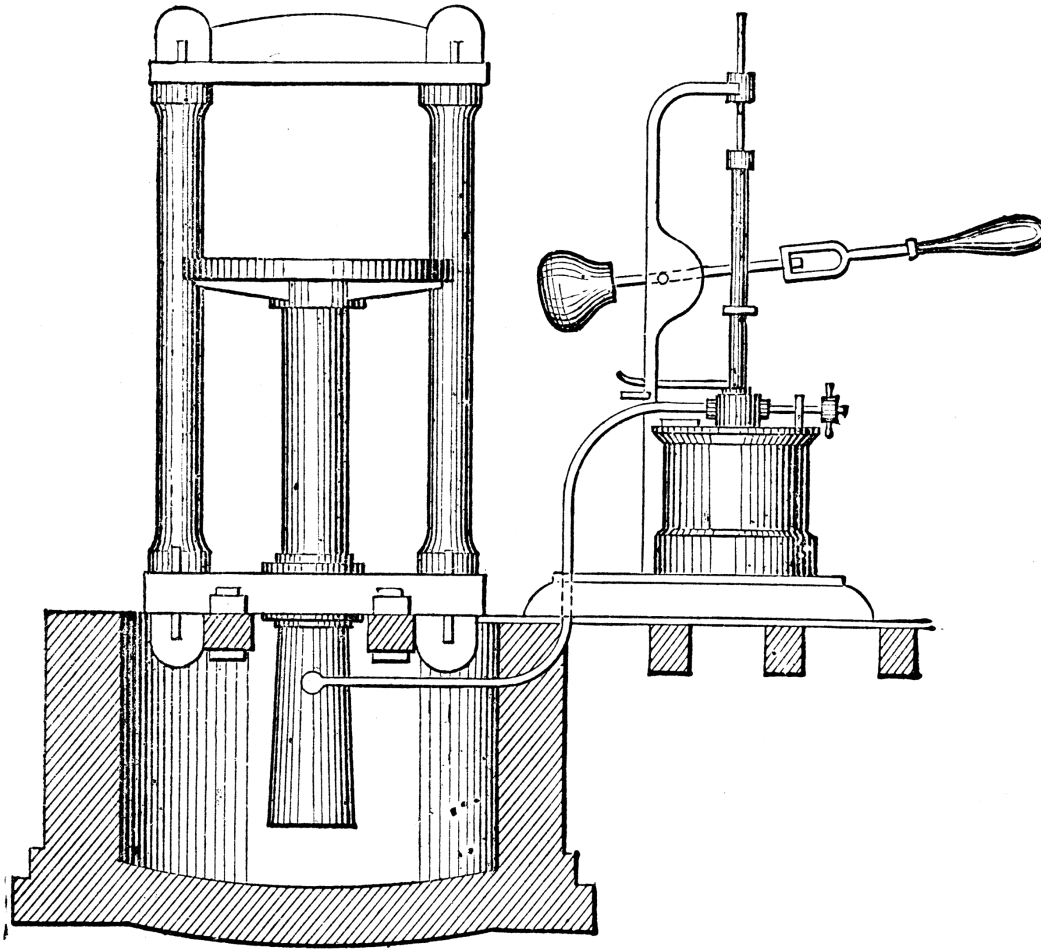
$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$$

Principio (legge) di Pascal:

"la pressione esercitata su un fluido vien trasmessa inalterata in ogni punto del fluido e alla superficie del suo contenitore"



Pressa idraulica



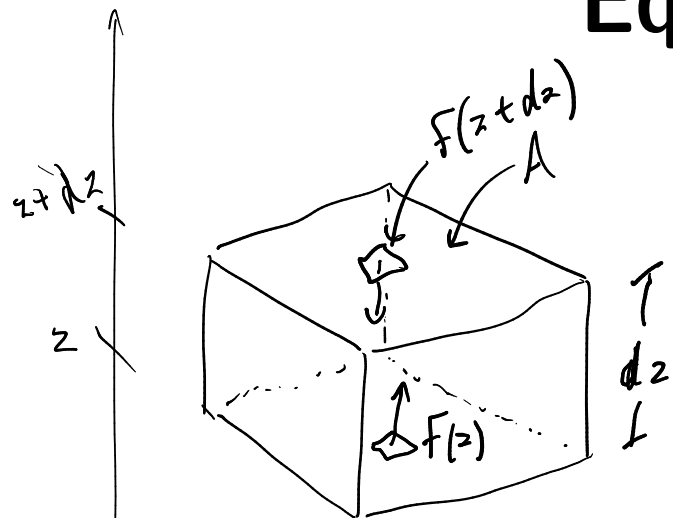
Fonte: Benson John Lossing, ed. The New Popular Educator
(London, England: Cassell & Company Limited, 1891)



Joseph Bramah (1748 -
1814)



Equilibrio idrostatico



fluido sottomesso
alla gravità

Risultante delle forze applicate dal fluido
sulle facce del parallelepipedo.

Risultante orizzontale nulla

Risultante lungo asse z :

$$V = A dz$$

$$F_s = F(z) - F(z+dz)$$

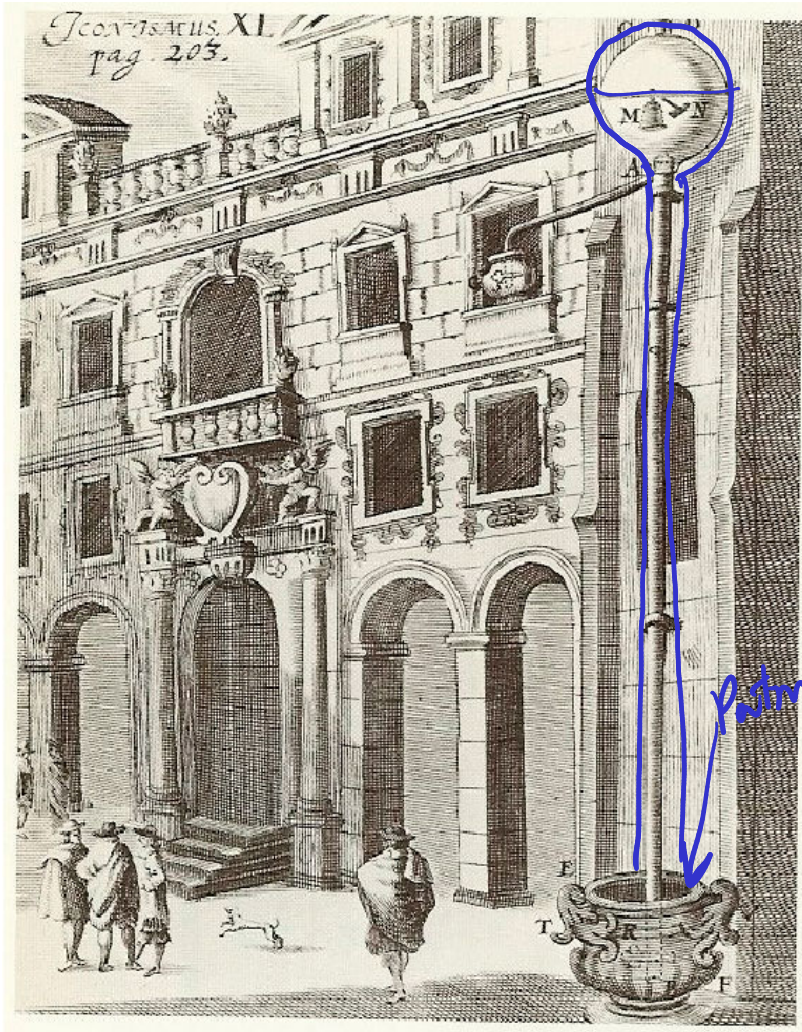
$$\rho g V = p(z)A - p(z+dz)A$$

$$\rho g = \frac{p(z) - p(z+dz)}{dz} = - \frac{dp}{dz}$$

$$\boxed{\frac{dp}{dz} = -\rho g}$$

equazione dell'equilibrio
idrostatico

Pressione in una colonna di fluido



Esperimente di Gasparo Berti, descritta da Gaspar Schott, Technica curiosa, sive, Mirabilia artis, Würzburg (1664).

Acqua: fluido incompressibile

$\Rightarrow \rho$ indipendente da p

$$\frac{dp}{dz} = -\overbrace{\rho g}^{\text{costante}} \Rightarrow \int dp = \int -\rho g dz$$

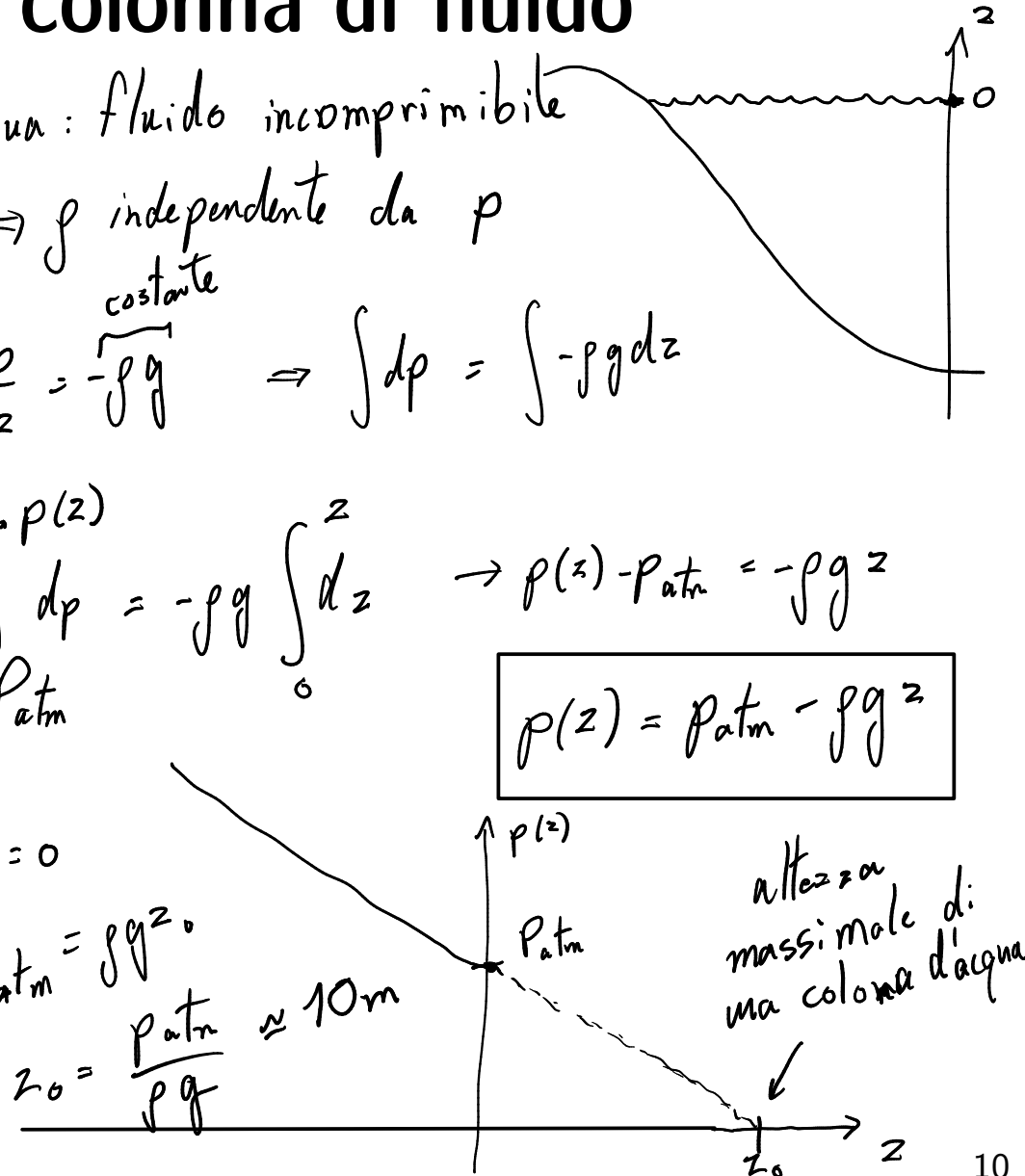
$$\int_{p_{atm}}^{p(z)} dp = -\rho g \int_0^z dz \rightarrow p(z) - p_{atm} = -\rho g z$$

$$p(z) = p_{atm} - \rho g z$$

$$p(z_0) = 0$$

$$\Rightarrow p_{atm} = \rho g z_0$$

$$z_0 = \frac{p_{atm}}{\rho g} \approx 10 \text{ m}$$



Esempio

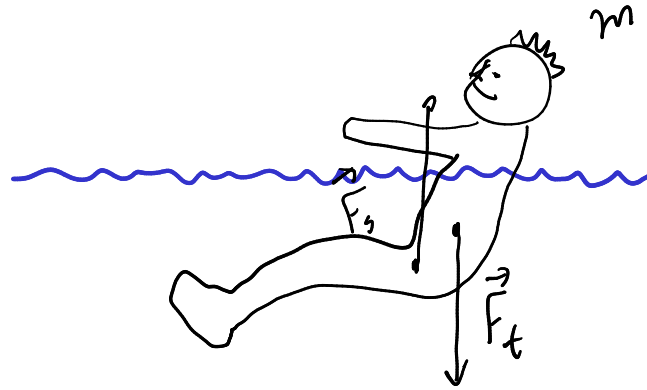
La densità dell'acqua molto salata del Mar Morto è 1.24 g/L .
Circa quale frazione del corpo di un bagnante rimane emerso?

A. 10 %

B. 20 %

C. 25 %

D. 50 %



$$m = V_{\text{tot}} \rho_0 \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{densità del bagnante} \\ = \text{densità dell'acqua} \end{array}$$

$$V_{\text{tot}} \rho_0 = V_p$$

$$\text{frazione emersa: } 1 - \frac{V}{V_{\text{tot}}} = 1 - \frac{\rho_0}{\rho} = 1 - \frac{1}{1.24} \approx 20\%$$

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = 0 = \vec{F}_t + \vec{F}_s$$

$$\vec{F}_t = m \vec{g}$$

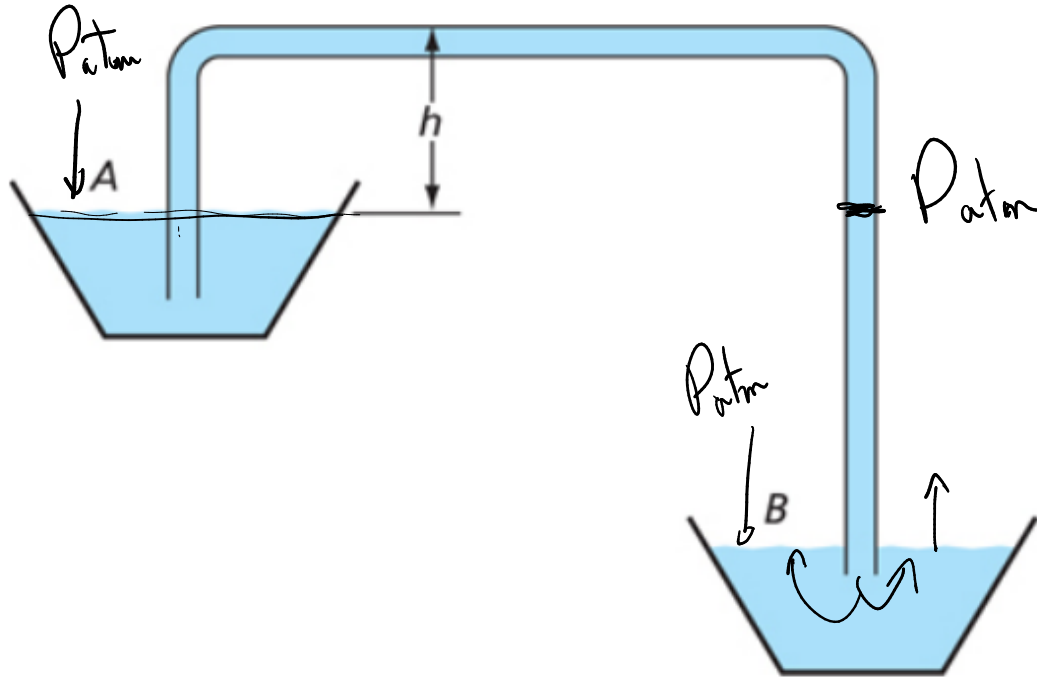
$$\vec{F}_s = -V_p \rho \vec{g}$$

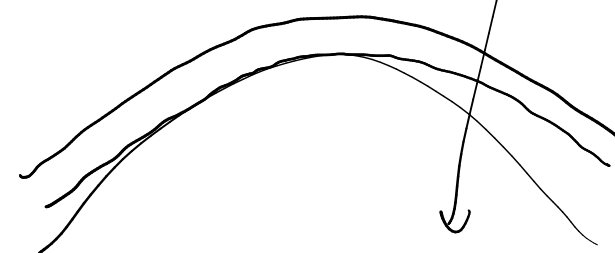
volume immerso

$$m \vec{g} = V_p \rho \vec{g}$$

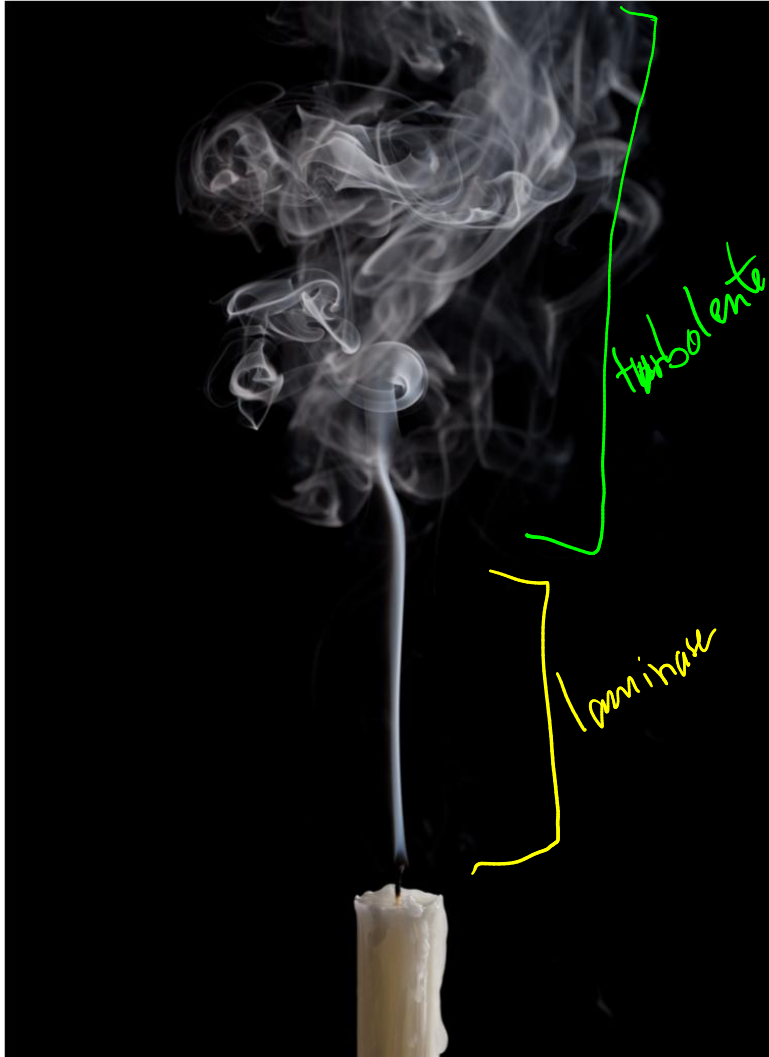
$$m = V_p \rho$$

Esempio: sifone



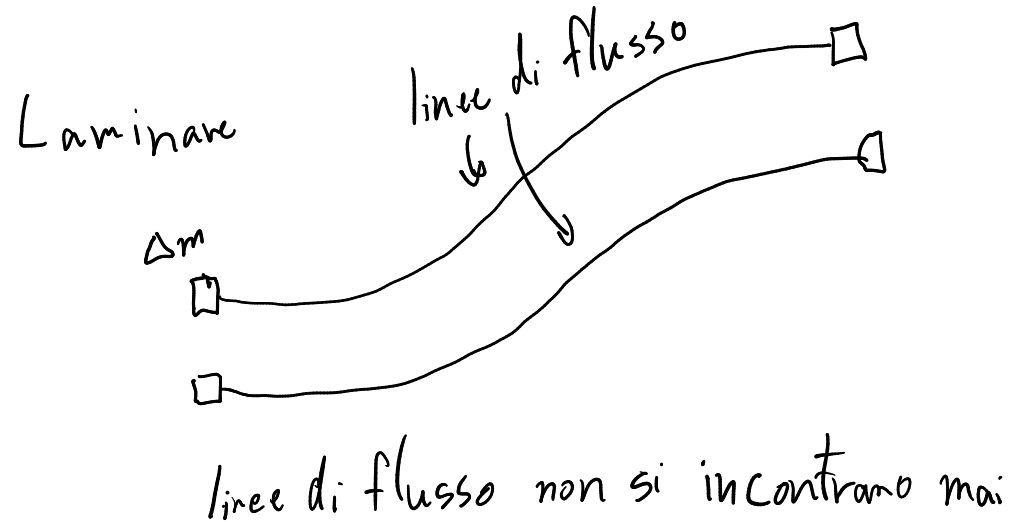
$$z_0 = \frac{P_{atm}}{\rho g} \rightarrow \rho g = \frac{P_{atm}}{z_0}$$

$$p(z) = P_{atm} \left(1 - \frac{z}{z_0}\right)$$

Flussi laminare e turbolente



Turbolente: molto complicato

dissipazione dell'energia in
scale sempre più piccole



Equazione di continuità

$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$

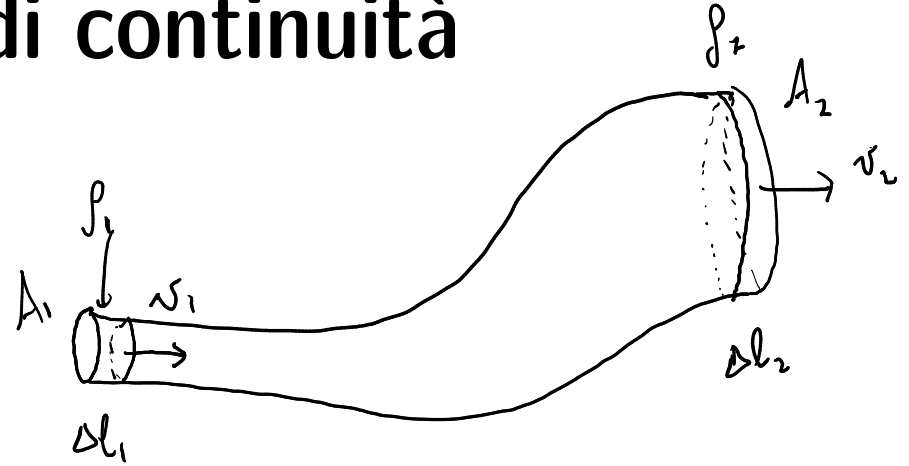
(la materia si conserva)

$$\Delta m_1 = \rho_1 A_1 \Delta l_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t$$

$$\Delta m_2 = \rho_2 A_2 \Delta l_2 = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

equazione di continuità



fluido incompressibile:

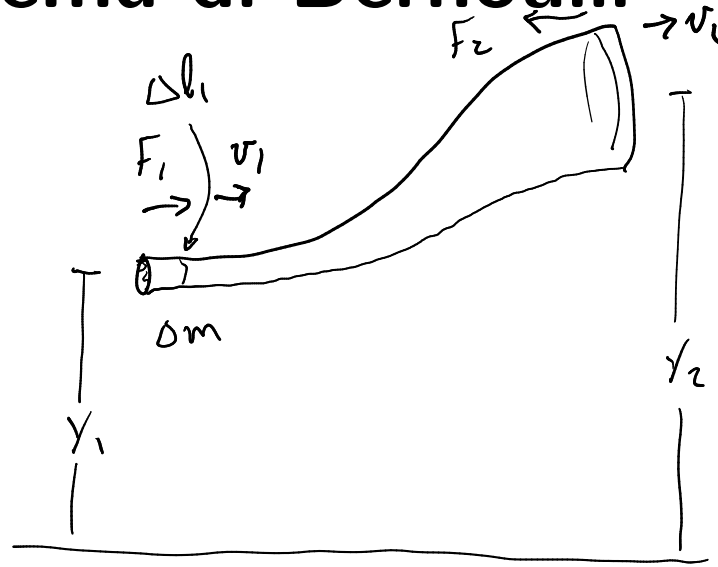
$$\rho_1 = \rho_2$$

$$\Rightarrow v_1 A_1 = v_2 A_2$$

Teorema di Bernoulli



Daniel Bernoulli
(1700-1782)



Conservazione dell'
energia applicata
a un fluido
incomprimibile

$$E_1 = \Delta m g y_1 + \frac{1}{2} \Delta m v_1^2$$

$$E_2 = \Delta m g y_2 + \frac{1}{2} \Delta m v_2^2$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 = W_{\text{ext}} = F_1 \Delta l_1 - F_2 \Delta l_2$$

Teorema di Bernoulli

$$F_1 = p_1 A_1 \quad F_2 = p_2 A_2$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$$

(fluido incomprimibile)

$$W_{\text{ext}} = F_1 \Delta l_1 - F_2 \Delta l_2 = p_1 A_1 \Delta l_1 - p_2 A_2 \Delta l_2 = p_1 \Delta V_1 - p_2 \Delta V_2$$

$$= (p_1 - p_2) \Delta V$$

$$\Delta m / \Delta V = \rho$$

$$\Delta E = \Delta m g y_2 + \frac{1}{2} \Delta m v_2^2 - \Delta m g y_1 - \frac{1}{2} \Delta m v_1^2 = (p_1 - p_2) \Delta V$$

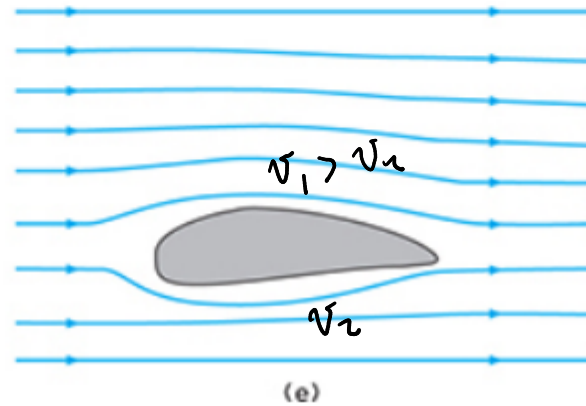
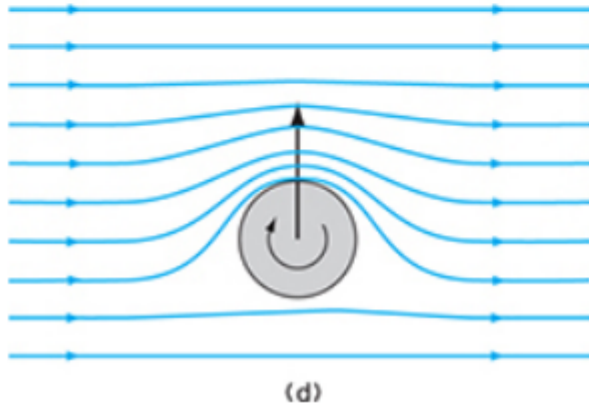
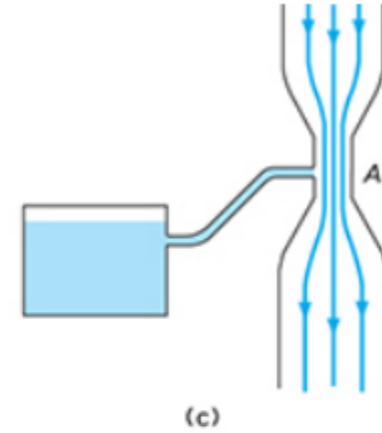
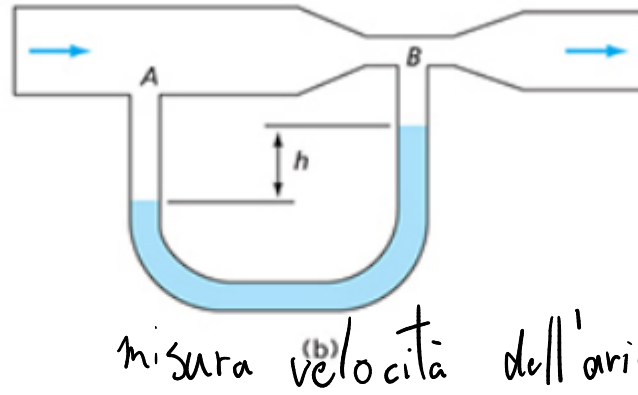
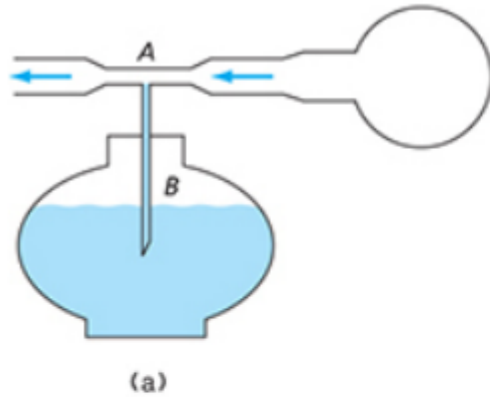
$$\rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2 = \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \text{costante}$$

$$\boxed{\rho + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{costante}}$$

Teorema di
Bernoulli

Teorema di Bernoulli

effetto Venturi



effetto Magnus

portanza

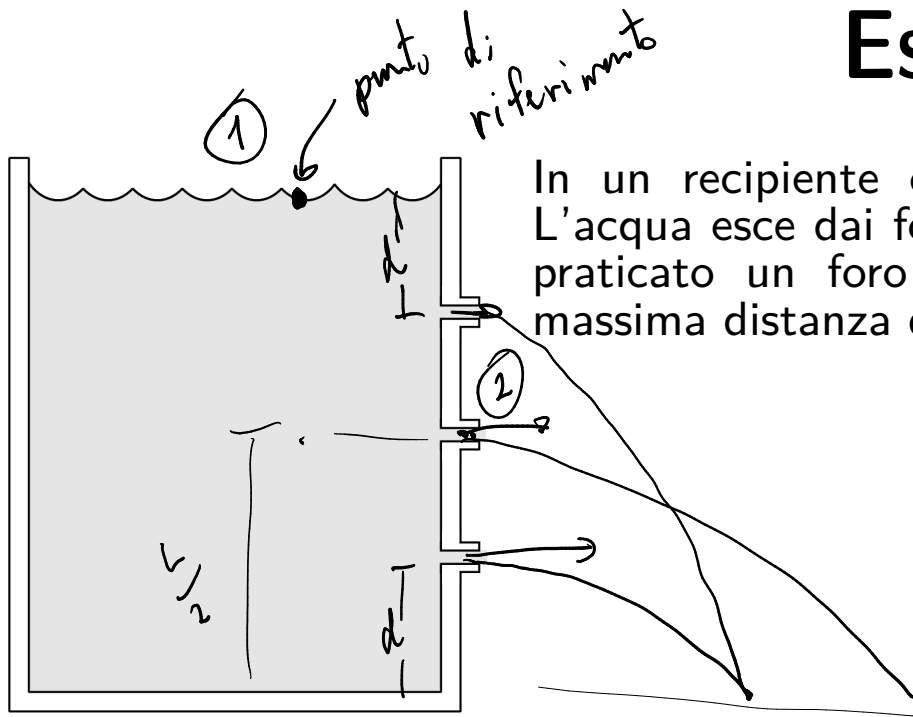
Viscosità



forza dovuta a un attrito interno
come forza da taglio

$$F = \underbrace{\eta}_{\text{viscosità}} \frac{Av}{h}$$

Esempio



In un recipiente cilindrico pieno d'acqua sono praticati diversi fori. L'acqua esce dai fori in direzione orizzontale. A che altezza deve essere praticato un foro perché l'acqua che ne zampilla tocchi terra alla massima distanza dal cilindro? Si ammetta che il fluido non sia viscoso.

$$\textcircled{1} \quad p + \rho g y + \underbrace{\frac{1}{2} \rho v^2}_0 = C$$

$$p_{\text{atm}} + \rho g L$$

$$\textcircled{2} \quad p_{\text{atm}} + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = C$$

traiettoria del fluido

$$x = vt$$

$$y = -\frac{1}{2} g t^2 + h$$

$$t = \sqrt{\frac{2(h-y)}{g}}$$

tempo di caduta

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

gittata

$$x = v \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$\rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \rho g L$$

$$v = \sqrt{2g(L-h)}$$

$$x = \sqrt{4h(L-h)}$$

massimo quando
 $h = L/2$

Fine della prima parte