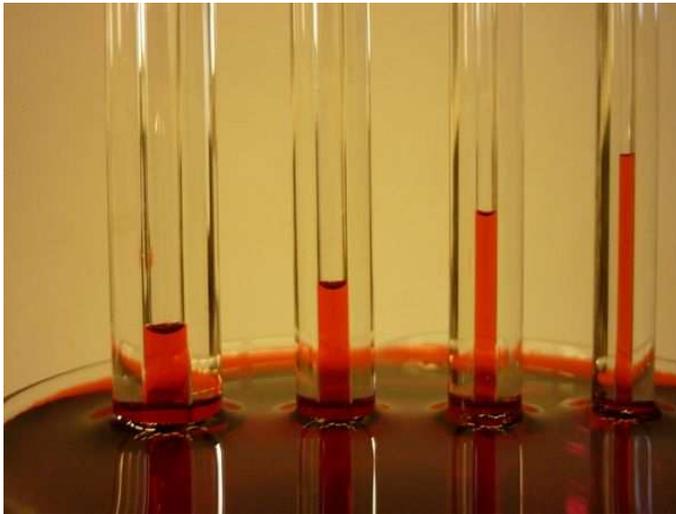


Tensione superficiale nei liquidi

nei liquidi si osservano fenomeni non spiegabili con le proprietà viste finora



salita capillare



gerride sull'acqua
e non solo ...



bolle e lamine liquide

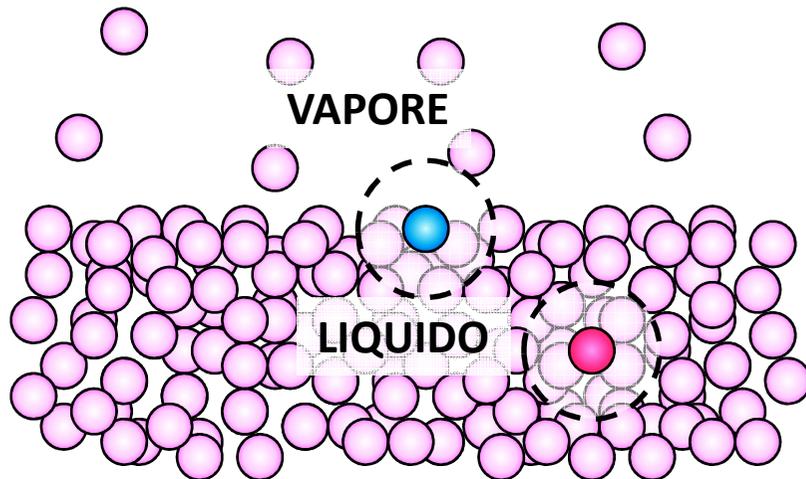
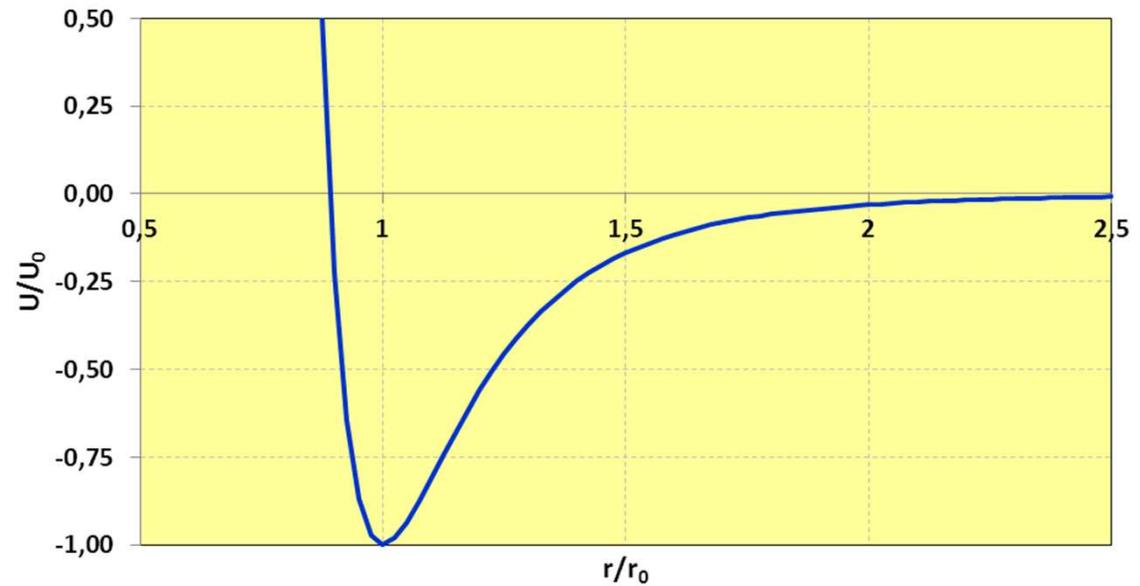
essi dipendono dalle proprietà di **coesione** delle molecole del liquido
e di **adesione** alle pareti

Forze intermolecolari

Si possono descrivere con un potenziale come quello di **Lennard-Jones**

$$U(r) = U_0 \left[\left(\frac{r_0}{r} \right)^{12} - 2 \left(\frac{r_0}{r} \right)^6 \right]$$

forze a **corto raggio**



le molecole alla superficie interagiscono con un numero minore di altre molecole:
la loro energia potenziale è maggiore di quella di una molecola all'interno del liquido.

Tensione superficiale

se le molecole superficiali hanno un'energia più elevata, si può associare alla superficie libera S un contributo di energia potenziale **proporzionale ad S** :

$$U_{SUP} = \sigma S$$

essendo σ la «**tensione superficiale**», che si misura in $[\sigma] = \frac{J}{m^2} = \frac{N}{m}$

il termine di volume invece è essenzialmente costante (per liquidi di densità costante, a temperatura costante, come supporremo) e pertanto può essere ignorato .



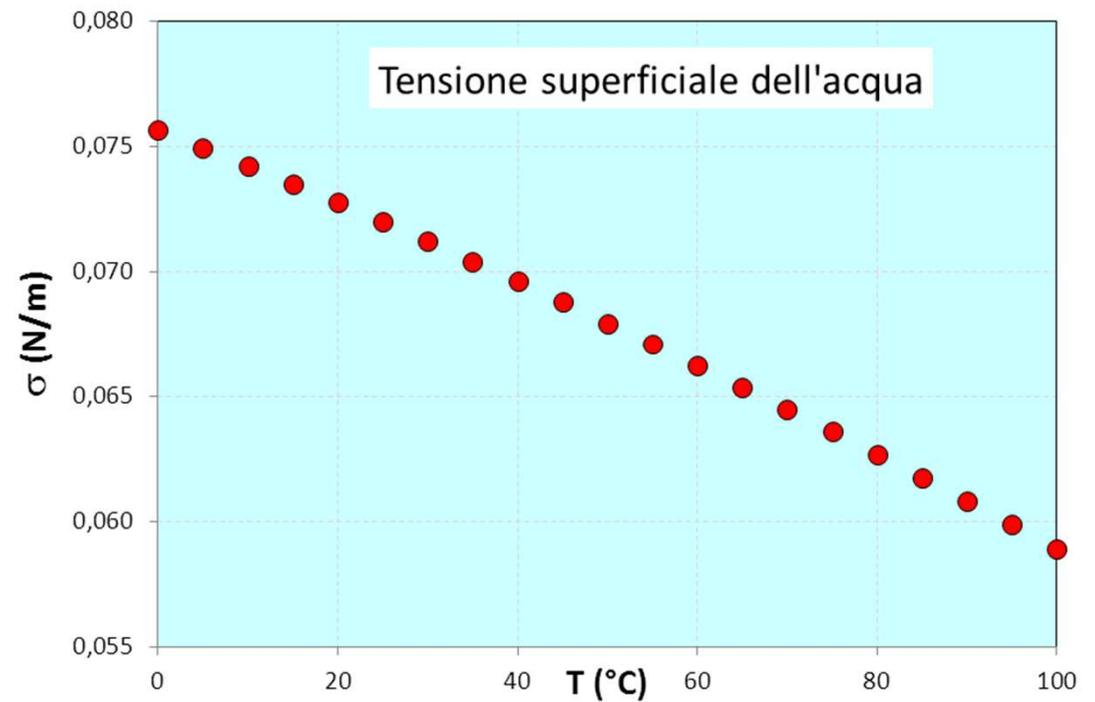
in mancanza di altri contributi, la configurazione di **equilibrio** corrisponde alla **minima superficie** (tenendo conto delle condizioni al contorno)

Tensione superficiale

fluido	σ (N/m) a 20°C
acqua	0,0728
alcool etilico	0,0232
alcool metilico	0,0233
benzene	0,0289
mercurio	0,487

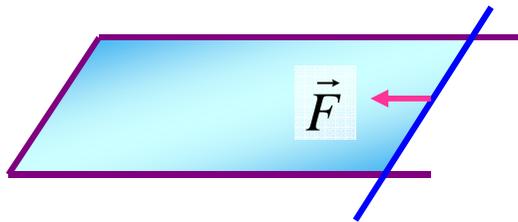
alcuni valori di tensione superficiale
a 20 °C

dipendenza dalla
temperatura



Tensione superficiale. Lamine liquide

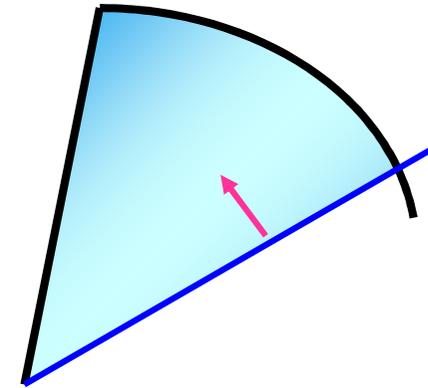
La tensione superficiale si manifesta come forza parallela alla superficie libera



$$F = 2\sigma \ell$$



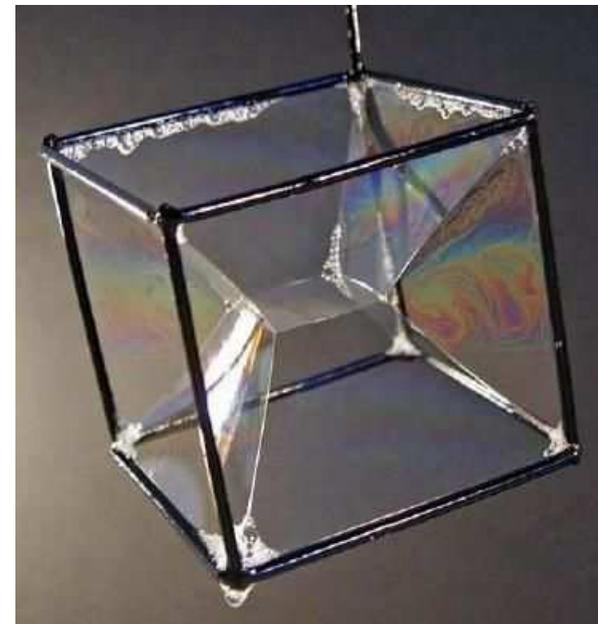
fattore 2 perché ...



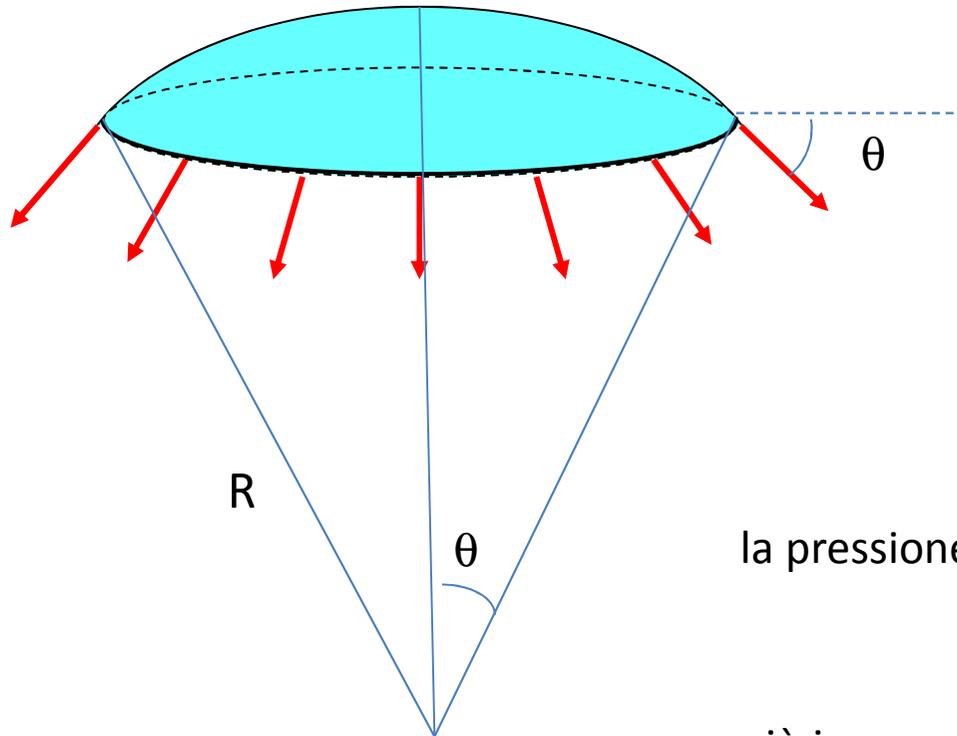
per spostare la sbarretta mobile di una quantità Δx si deve compiere un lavoro

$$L = F\Delta x = 2\sigma \ell \Delta x = \sigma \Delta S$$

compatibilmente con i vincoli, la superficie libera assume il minimo valore possibile



Tensione superficiale. Legge di Laplace



$$F = 2\pi R \sigma \sin^2 \theta$$

$$S = \pi R^2 \sin^2 \theta$$

$$\Delta p = \frac{F}{S} = \frac{2\sigma}{R}$$

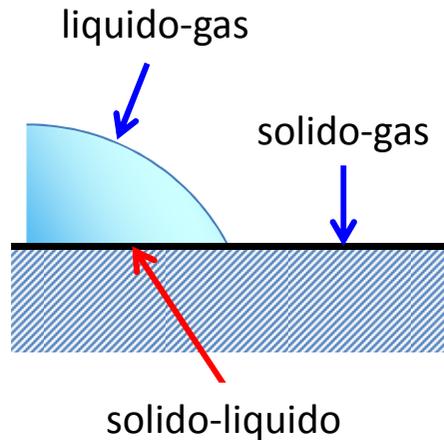
la pressione è **maggiore sul lato concavo**

più in generale:

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

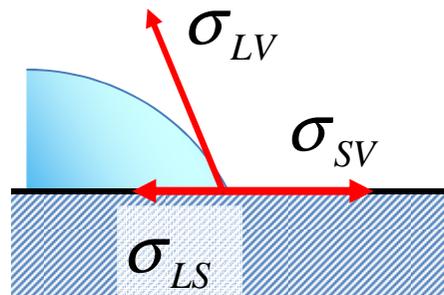
Nel caso di una bolla (in aria) bisogna moltiplicare per 2

Tensione superficiale. Contatto liquido-solido-gas



con lo stesso ragionamento fatto per la superficie libera del liquido

$$U_{SUP} = \sigma_{LS} S_{LS} + \sigma_{SV} S_{SV} + \sigma_{LV} S_{LV}$$



spesso si rappresenta come equilibrio (*) di 3 forze applicate sulla linea di contatto.

(*) equilibrio solo parallelamente al piano

dalla condizione

$$\Delta S_{LS} = -\Delta S_{SV}$$

si ricava

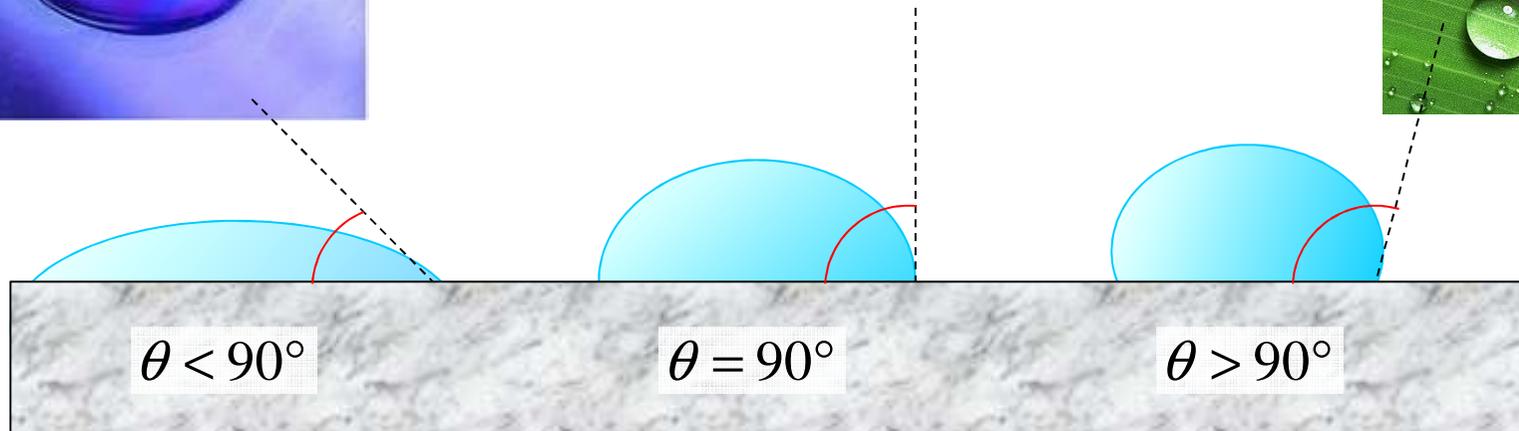
$$\cos \theta = \frac{\sigma_{SV} - \sigma_{LS}}{\sigma_{LV}}$$

come si vede, quest'angolo è caratteristico del sistema liquido-solido utilizzato

Tensione superficiale. Contatto liquido-solido-gas



$$\cos \theta = \frac{\sigma_{SV} - \sigma_{LS}}{\sigma_{LV}}$$



il **liquido bagna** la parete
(«wetting»)

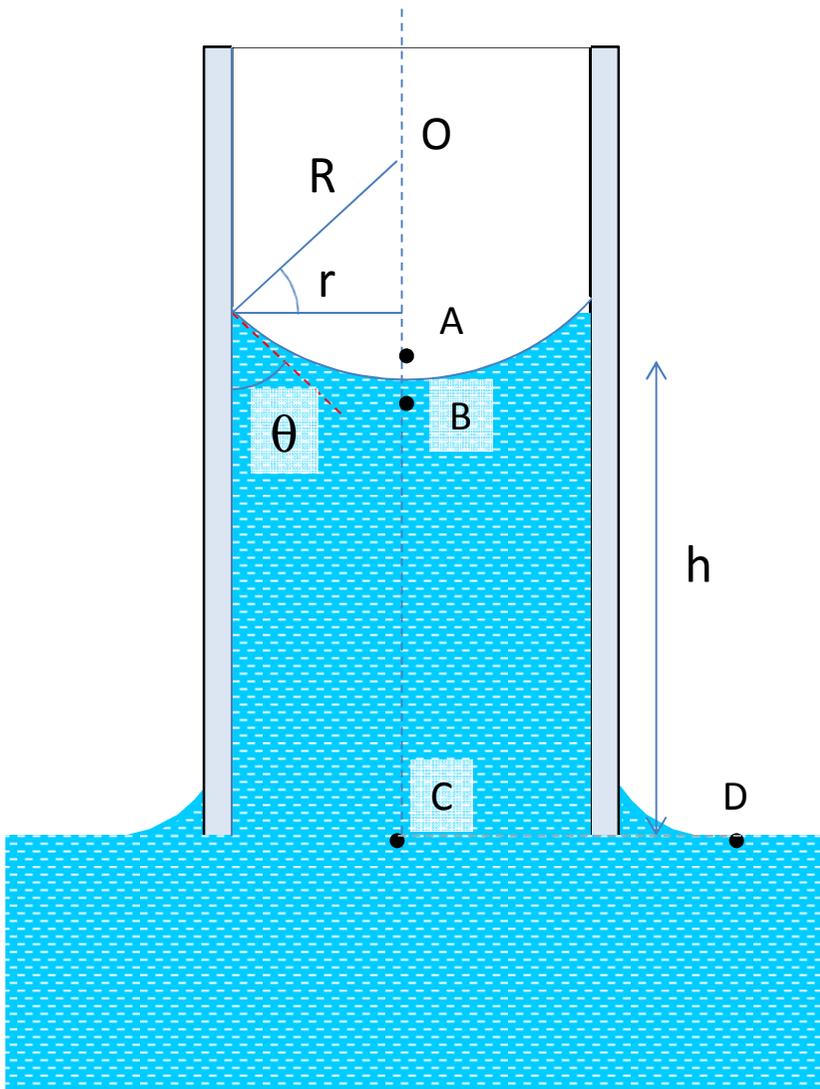
il **liquido non bagna** la parete
(«non wetting»)

se $\theta=0^\circ$ si dice che **il liquido bagna perfettamente**.

l'angolo di contatto è **caratteristico della combinazione liquido-solido**, ma dipende dalla temperatura e **in parte anche dalla «storia»** del contatto (isteresi).

Salita capillare

si consideri un liquido che bagna le pareti, in un tubicino «capillare»



θ : angolo di contatto

σ : tensione superficiale del liquido

r: raggio del tubicino capillare

approssimazione di menisco sferico

$$r = R \cos \theta$$

$$p_A = p_C = p_D = p_0$$

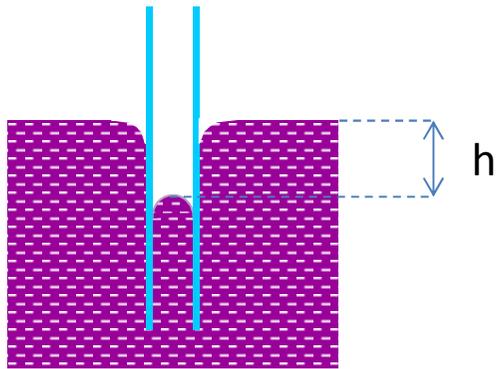
$$p_B = p_A - \frac{2\sigma}{R} = p_0 - \frac{2\sigma}{r} \cos \theta$$

$$p_C = p_B + \rho g h \quad \Rightarrow$$

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta$$

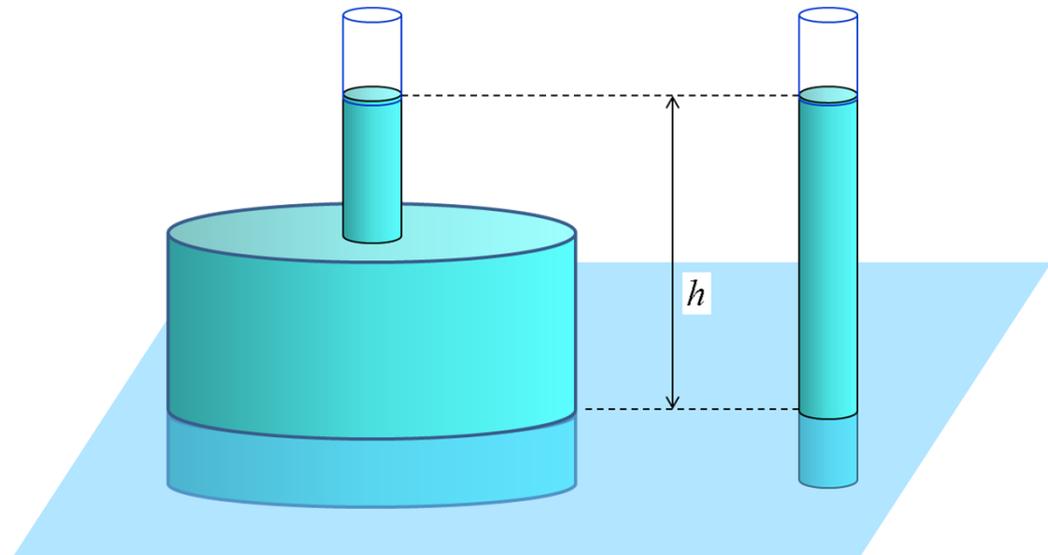
Legge di Jurin

«Salita» capillare – discussione -1



La **legge di Jurin** descrive anche la «depressione capillare» nel caso di liquidi che non bagnano la parete (angolo di contatto $\theta > 90^\circ$)

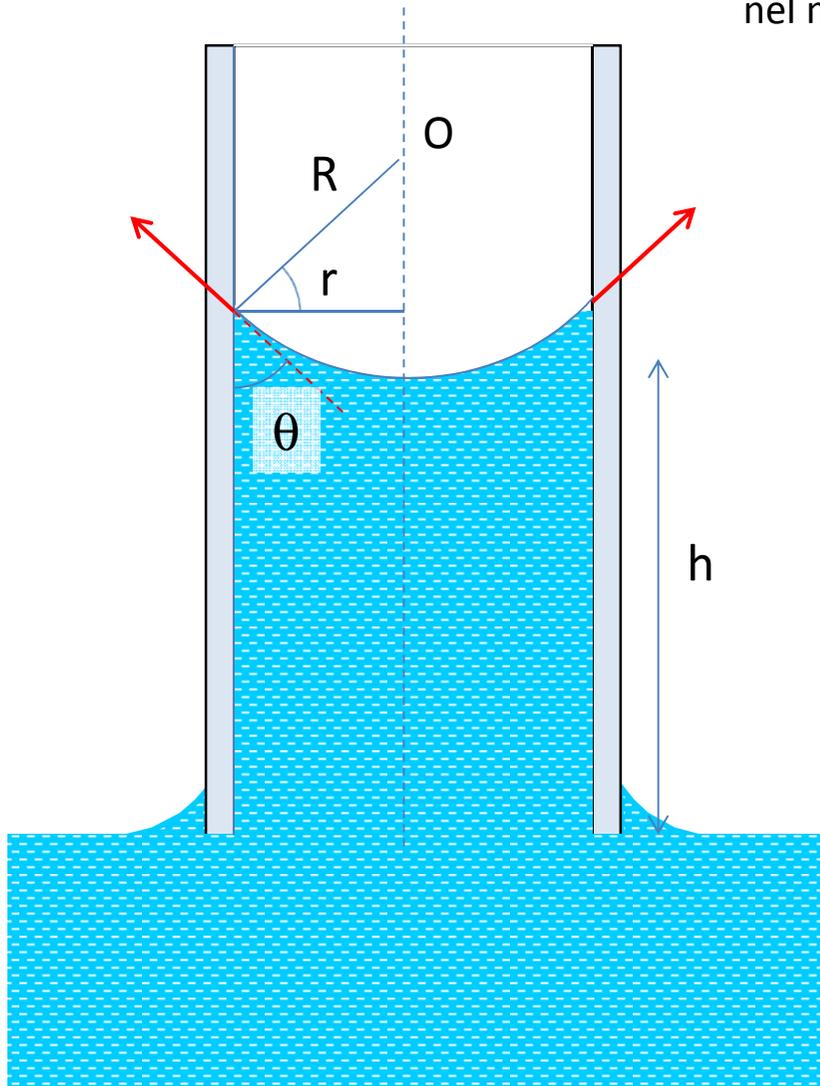
Nella deduzione della L. Jurin compare la sezione del capillare nella posizione del menisco. E' quindi possibile che il capillare sostenga un volume di liquido molto maggiore, senza modificare il dislivello h . Questo fatto è probabilmente in relazione con la **salita della linfa negli alberi** più alti.



una deduzione della L. Jurin basata sull'equilibrio delle forze sembra contraddire con questo risultato ... dov'è l'errore?

«Salita» capillare – discussione - 2

la L.Jurin si ottiene spesso imponendo l'equilibrio delle forze, nel modo seguente:



la risultante della forza di tensione superficiale

$$F_{SUP} = 2\pi r\sigma \cos \theta$$

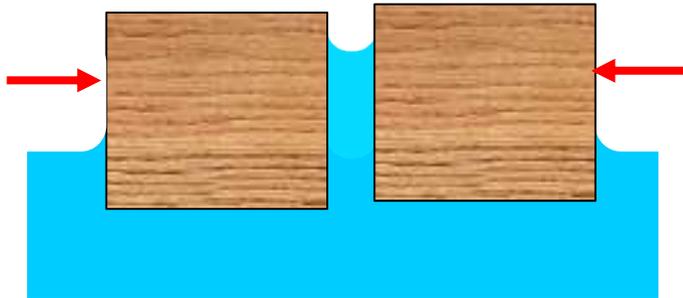
orientata in su, deve equilibrare la forza peso agente sulla colonna liquida:

$$F_G = \rho Vg = \rho g \pi r^2 h$$

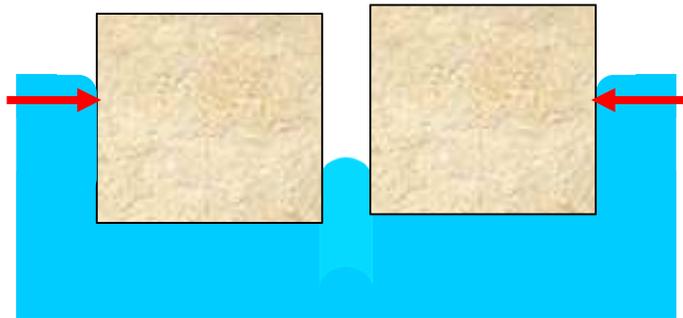
uguagliando le due espressioni si trova la L.Jurin

Questo fatto però sembra contraddire quanto affermato nel lucido precedente. Che succede?

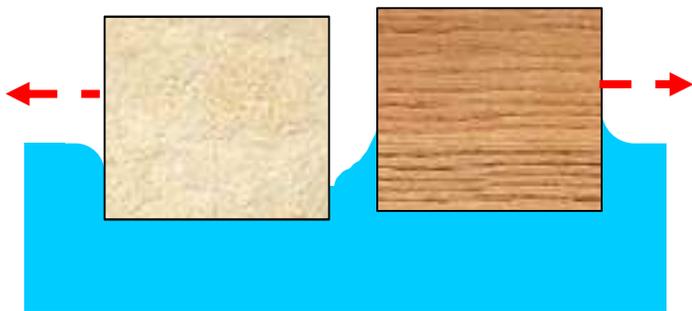
«Salita» capillare – discussione - 3



«attrazione» fra corpi che si bagnano



«attrazione» fra corpi che non si bagnano



«repulsione» fra un corpo che si bagna ed uno che non si bagna (*non sempre*)

la situazione è complessa, ma in linea di massima valgono queste indicazioni