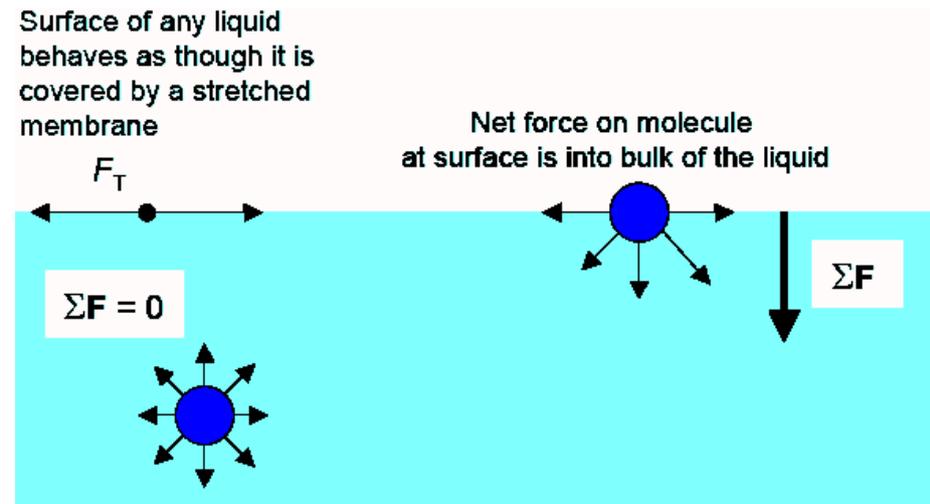


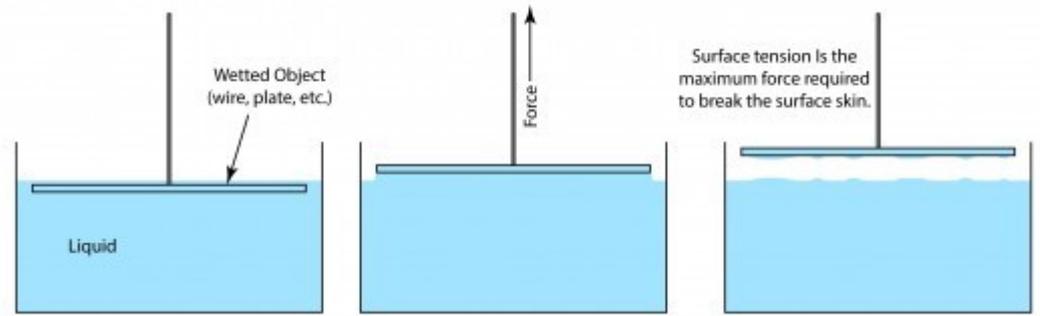
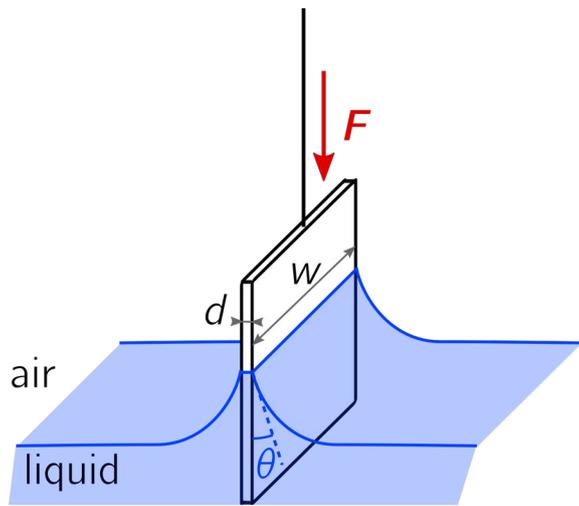
## Forze di Van Der Waals:

Attrattive a lunga distanza (dipoli, dipoli indotti ...)

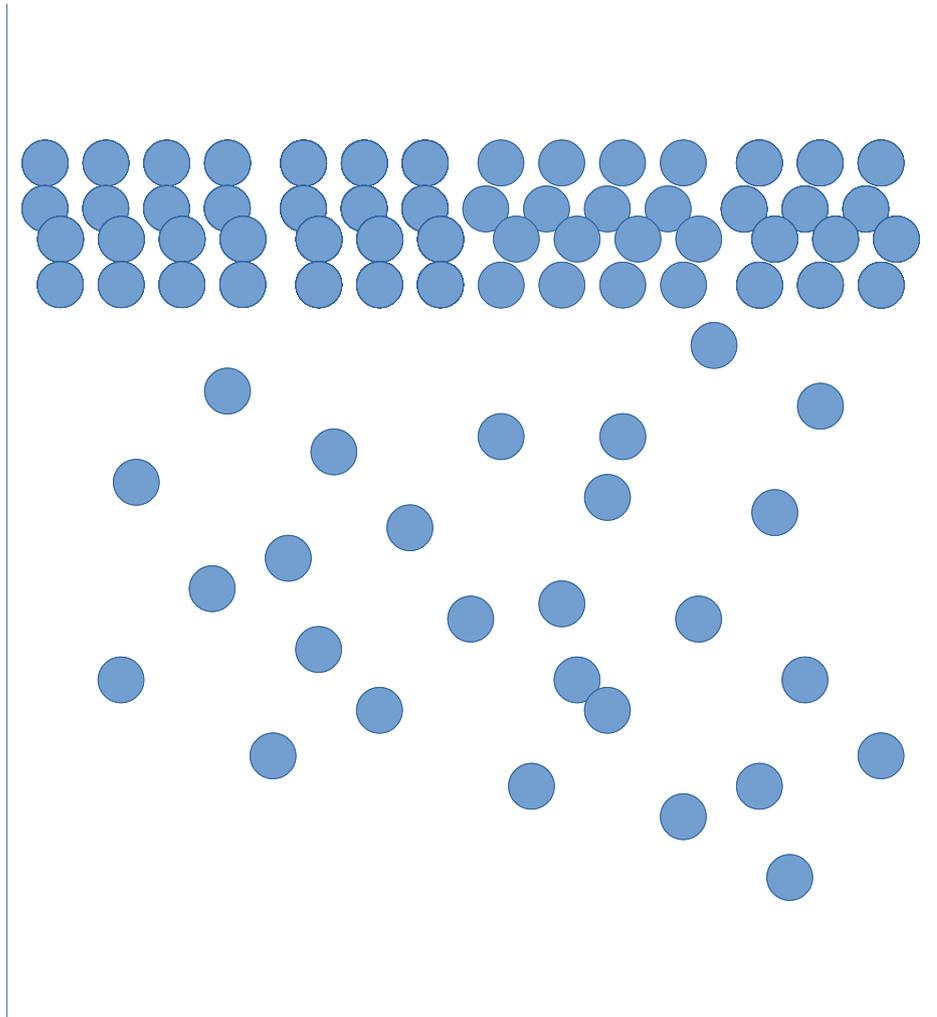
Repulsive a corta distanza (carica positiva dei nuclei)

**Tensione superficiale: forza che agisce sulla superficie verso l'interno del liquido. Questo crea una forza di pressione che tende a far contrarre il liquido nella forma di minor area.**





**A causa dell'attrazione verso il basso, aumento di densità superficiale.**

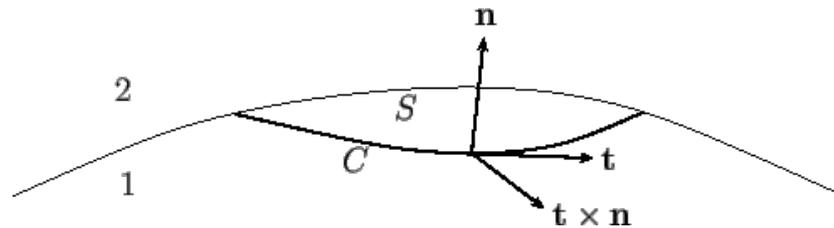


La tensione superficiale è una proprietà intrinseca del liquido e dipende dal tipo e intensità delle forze di Van der Waals. E' una forza per unità di lunghezza. Ad esempio, misura la forza che agisce su entrambi i lati del segmento AB. La direzione della forza è perpendicolare ad AB e tangente alla superficie del liquido.

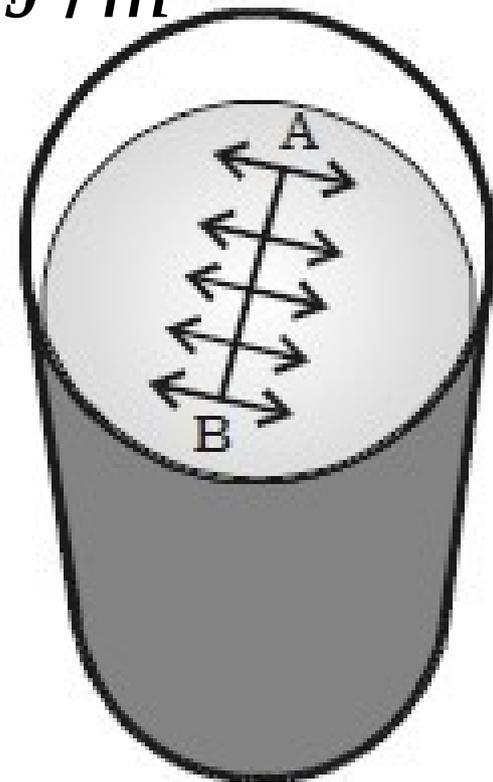
La tensione è definita come  $\gamma = 1 \text{ N/m} = 1 \text{ J/m}^2$

Più in generale in forma vettoriale:

$$\mathbf{F}_T = \gamma \mathbf{t} \times \mathbf{n}$$



Essa tende sempre a ridurre l'area della superficie di un fluido. In figura 'tira' in modo da riportare la superficie alla forma piatta.



*Force on a liquid surface*

# Surface Tension of some Liquids

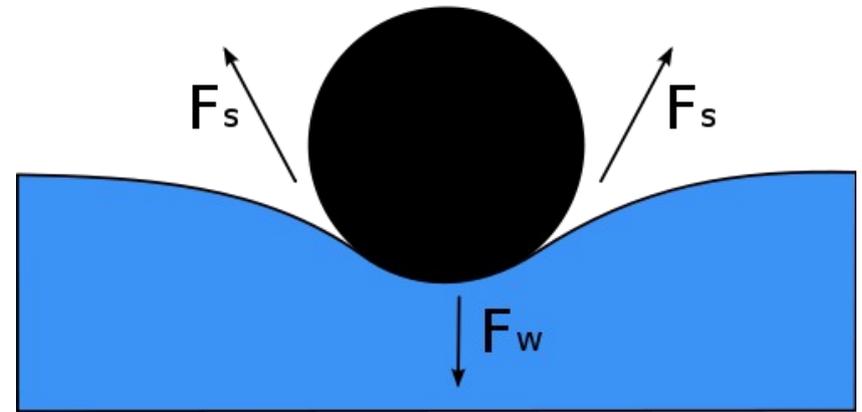
**Table 2.1:** Surface tensions  $\gamma$  of some liquids at different temperatures  $T$ .

Substance	$T$	$\gamma$ (mNm <sup>-1</sup> )	Substance	$T$	$\gamma$ (mNm <sup>-1</sup> )			
Water	10°C	74.23	Mercury	25°C	485.48			
	25°C	71.99		Phenol	50°C	38.20		
	50°C	67.94			Benzene	25°C	28.22	
	75°C	63.57				Toluene	25°C	27.93
	100°C	58.91					Dichloromethane	25°C
Argon	90 K	11.90	<i>n</i> -pentane		25°C	15.49		
Methanol	25°C	22.07	<i>n</i> -hexane	25°C	17.89			
Ethanol	10°C	23.22	<i>n</i> -heptane	25°C	19.65			
	25°C	21.97	<i>n</i> -octane	10°C	22.57			
	50°C	19.89		25°C	21.14			
1-propanol	25°C	23.32		50°C	18.77			
	25°C	24.93		75°C	16.39			
1-butanol	25°C	22.54		100°C	14.01			
2-butanol	25°C	23.46	Formamide	25°C	57.03			
Acetone	25°C							

All'aumentare della temperatura la tensione superficiale diminuisce a causa dell'agitazione termica.

$$mN = 10^{-3} N$$

**Come fa un ago a galleggiare?**  
La tensione parallelamente alla superficie. Questa si incurva e quindi compare una componente verso l'alto che controbilancia il peso dell'ago. Questo perché la tensione tende sempre a ridurre l'area che si allarga invece con la pressione dell'ago.



## **Legge di Laplace (o Young-Laplace)**

$$\Delta p = 2 \frac{\gamma}{R} \quad R = \textit{curvature radius}$$

La tensione superficiale introduce un'ulteriore pressione che dipende dalla curvatura della superficie. La tensione tende ad annullare la curvatura.

# Capillarità

**Forze di coesione  $F_c$** : tra molecole dello stesso tipo

**Forze di adesione  $F_a$** : tra molecole di tipo diverso

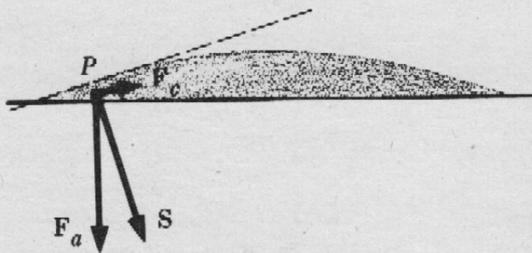


FIGURA 9.9

Le forze di coesione e di adesione su una molecola al bordo di una goccia d'acqua depositata su vetro.

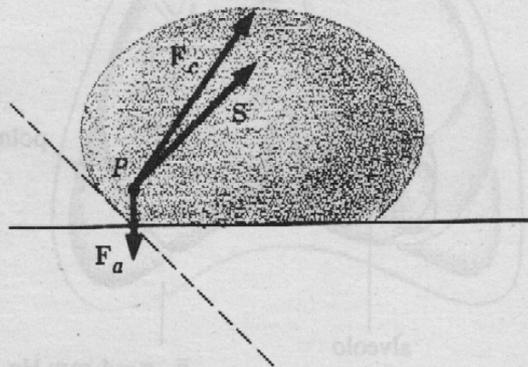
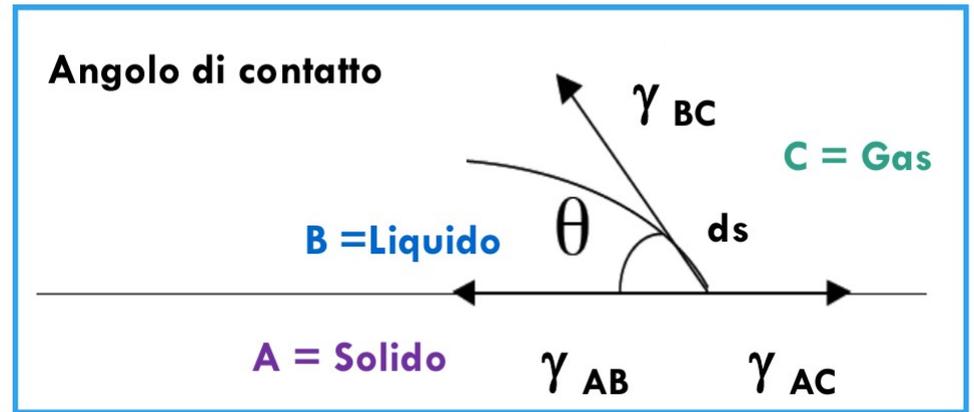
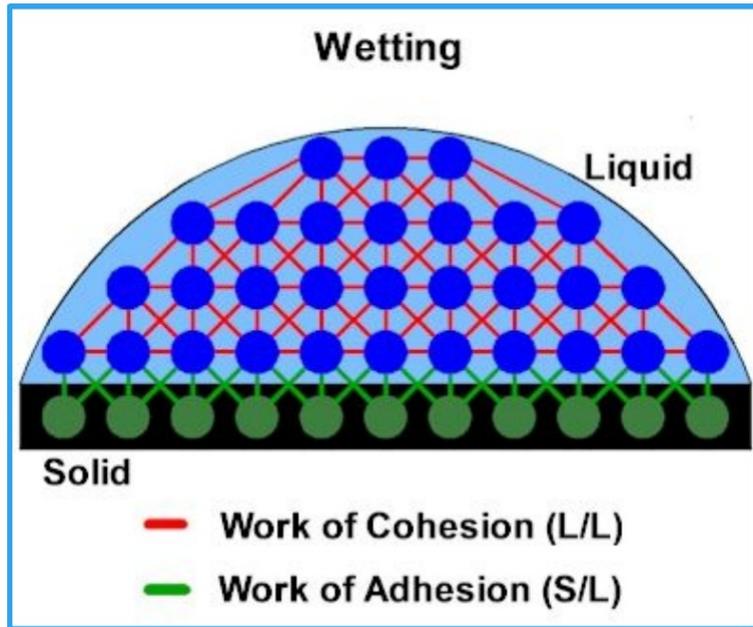


FIGURA 9.10

Le forze di coesione e di adesione su una molecola al bordo di una goccia di mercurio depositata su vetro.

**S** è la risultante delle forze somma vettoriale di  $F_c$  e  $F_a$  e determina l'angolo di contatto. Più piccolo è l'angolo di contatto (che dipende da entrambe le forze e quindi dalla composizione sia del liquido che del materiale di contatto) più piatta sarà la goccia. Se la goccia è piatta, si dice che 'bagna'.



**Capillari:** a seconda dei valori di  $F_c$  e  $F_a$ , il 'menisco' del liquido (superficie di contatto) è concavo se  $F_c < F_a$  o convesso se  $F_c > F_a$ .

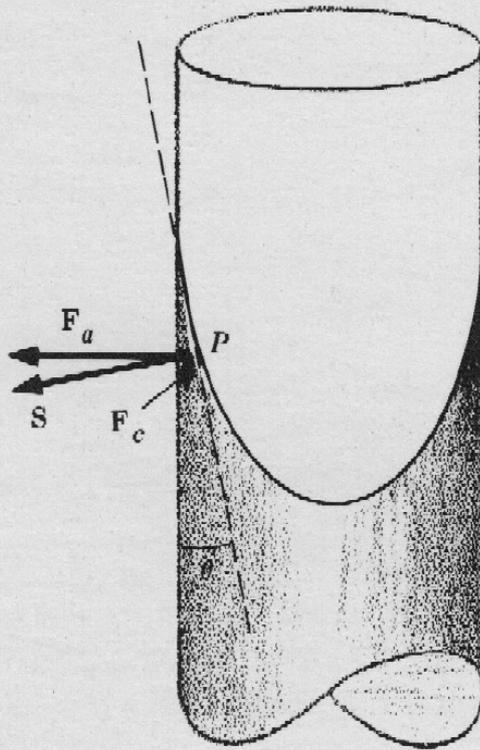
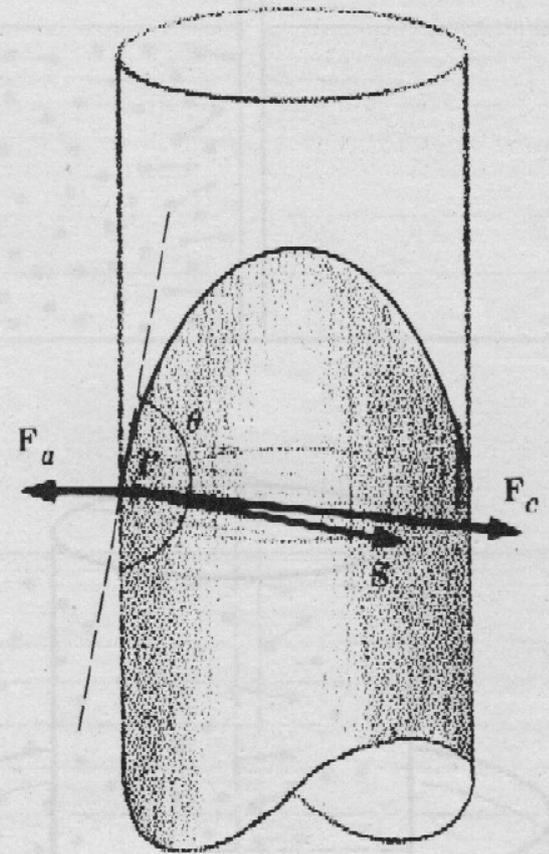


FIGURA 9.11  
Se la forza di adesione è maggiore della forza di coesione il menisco del liquido è concavo.



b  
FIGURA 9.12  
Se la forza di adesione è minore della forza di coesione, il menisco del liquido è convesso.

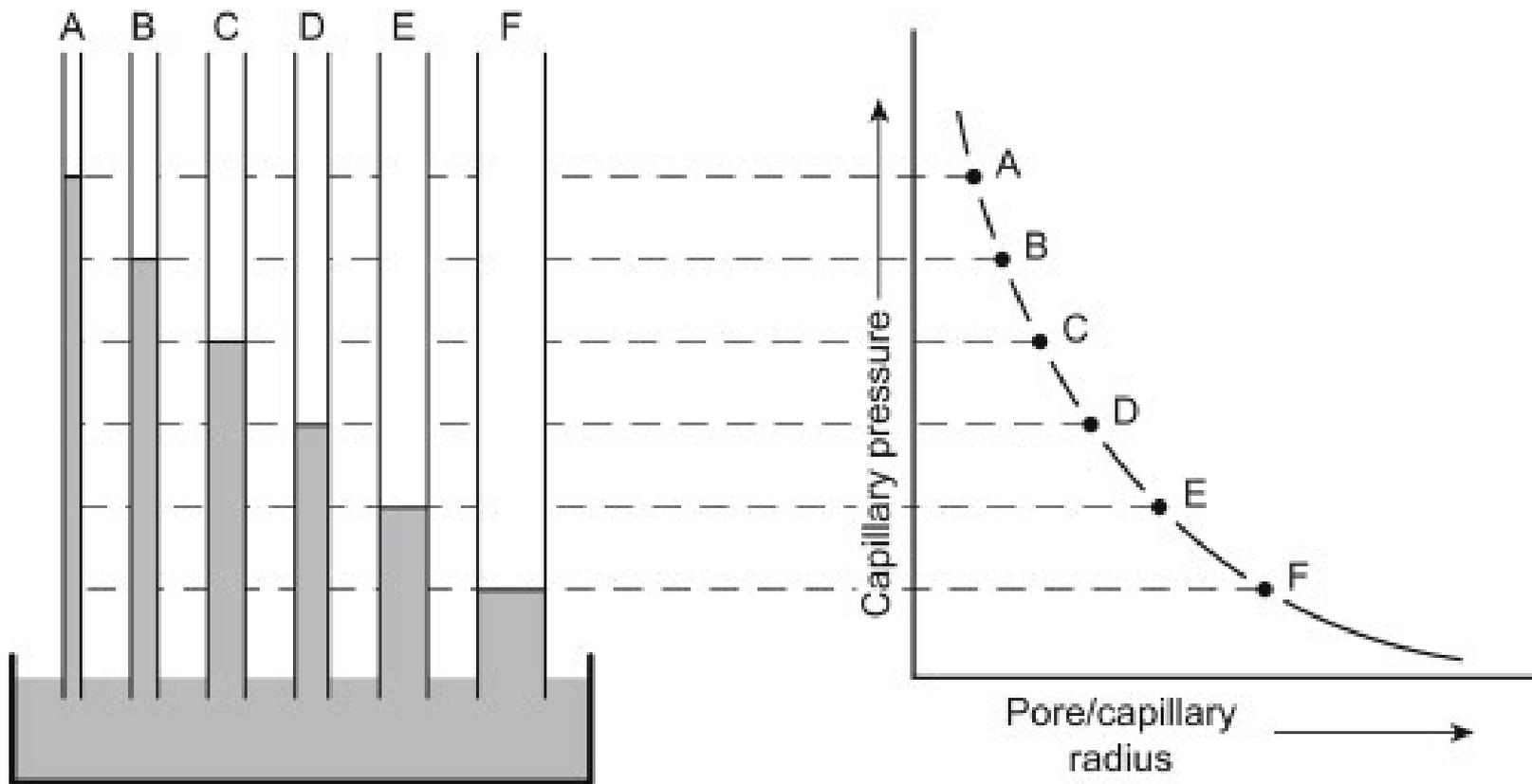
## Legge di Jurin

La tensione superficiale per la legge di Laplace causa una differenza di pressione tra l'atmosfera e il liquido. Questa differenza (a favore del liquido dove  $P$  è maggiore) causa un innalzamento del liquido (salita capillare), per la legge di Stevino, di un'altezza  $h$  data da:

$$\Delta p = \rho g h \quad (\text{Stevino}) \quad \Delta p = 2 \frac{\gamma}{R} \quad (\text{Laplace})$$

$$h = \frac{2 \gamma}{\rho g R} = \frac{2 \gamma \cos(\theta)}{\rho g r}$$

Il raggio di curvatura  $R$  è approssimato dal raggio  $r$  e il cos dell'angolo di contatto.



**Esempio sperimentale della legge di Laplace.**

## Esempio 1:

Un piccolo tubo (capillare) è inserito in acqua la quale risale di 4.5 cm lungo le pareti. Se la tensione superficiale dell'acqua è 0.072 N/m, l'angolo di contatto  $\theta = 15^\circ$ , calcolare il raggio  $r$  del tubo.

$$h = \frac{2 \gamma \cos(\theta)}{\rho g r} \Rightarrow r = \frac{2 \gamma \cos(\theta)}{\rho g h}$$

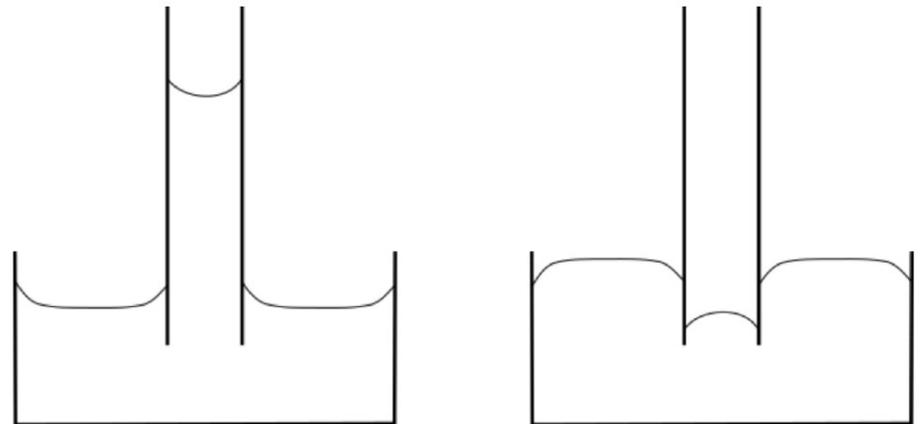
$$r = \frac{2 \cdot 0.072 \cdot 0.97}{1000 \cdot 9.8 \cdot 0.045} = 3.17 \times 10^{-4} = 0.317 \text{ mm}$$

## Esempio 2:

Un barometro al mercurio ha il raggio del tubo pari a 2.5 mm. Trovare l'errore nella misura della pressione dovuto alla tensione superficiale sapendo che la tensione superficiale del mercurio è 0.540 N/m, la sua densità pari a 13600 kg/m<sup>3</sup> e l'angolo di contatto  $\theta = 135^\circ$ .

**Attenzione:** in questo caso la pressione indotta dalla tensione superficiale è negativa perché tende a portare il liquido in basso per eliminare la curvatura sferica verso l'alto.

$$h = \frac{2 \gamma \cos(\theta)}{\rho g r} = \frac{2 \cdot 0.54 \cdot (-0.71)}{13600 \cdot 9.8 \cdot 0.0025} = -2.3 \text{ mm}$$



## Bolla di sapone (a due superfici)

Per la superficie esterna, raggio di curvatura è  $R$  e quindi la legge di Laplace implica:

$$\Delta P_1 = P_i - P_e = \frac{2\gamma}{R}$$

Lo stesso vale per la superficie interna dove il raggio è ancora approx. uguale a  $R$ , quindi sommando le due differenze di pressione si ottiene:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R}$$

