



LICEO SCIENTIFICO - ARTISTICO STATALE "GALILEO GALILEI"

Via Gen. Planelli, n.c. - 70032 BITONTO (Bari)

Tel./Fax: 080 3715242

C.F. : 80015030721 - Codice Univoco Ufficio: UFTL8X

www.lsgalilei.edu.it - e-mail: baps12000b@istruzione.it

Pec: baps12000b@pec.istruzione.it

Le forze intermolecolari e gli stati condensati attraverso l'angolo di contatto

Rosa di Mundo

Liceo Scientifico e Artistico G. Galilei -Bitonto (BA)

(rosadimundo@gmail.com)

Congresso della Divisione di Didattica SCI 2025

Centro Interuniversitario di Bertinoro (FC), 6 - 9 dicembre 2025

La tensione superficiale nella didattica liceale

- Se presente, ultimo paragrafo del capitolo sulle forze intermolecolari
- Riportata tra le proprietà intensive dello stato liquido

Sostanza	Tensione di vapore (mmHg)	Tensione superficiale (N/m)	Viscosità (N · s/m ²)
H ₂ O	17,5	$7,275 \cdot 10^{-2}$	1,005
CCl ₄	91	$2,643 \cdot 10^{-2}$ (*)	0,969
Hg	0,0012	$47,2 \cdot 10^{-2}$	1,685

(*) Valore a 25 °C.

“La tensione superficiale è la tendenza delle molecole della superficie a lasciarsi attrarre verso l’interno ed è tanto maggiore quanto più intense sono le forze attrattive tra le molecole del liquido.

La tensione superficiale dell’acqua è circa 3 volte maggiore di quella di CCl₄: il legame idrogeno infatti è una forza attrattiva ben più intensa delle forze di London.”

Valitutti et al., Chimica Concetti e modelli, Zanichelli

Altre definizioni



“La superficie libera dell’acqua come quella di tutti i liquidi si presenta come una membrana elastica, estremamente sottile e invisibile. La forza che conferisce tali proprietà al liquido è detta tensione superficiale: è la forza che sostiene un ago che vedi galleggiare sulla superficie dell’acqua. Nel caso dell’acqua è particolarmente elevata perché l’attrazione delle forze interne al liquido non è compensata da quelle esterne»

Tensione superficiale e bagnabilità

Bagnabilità: Capacità di una superficie solida di stabilire contatto con un liquido per effetto di **forze intermolecolari** che si stabiliscono tra le due parti

- Quindi 2 fasi in gioco
(in realtà sono 3)

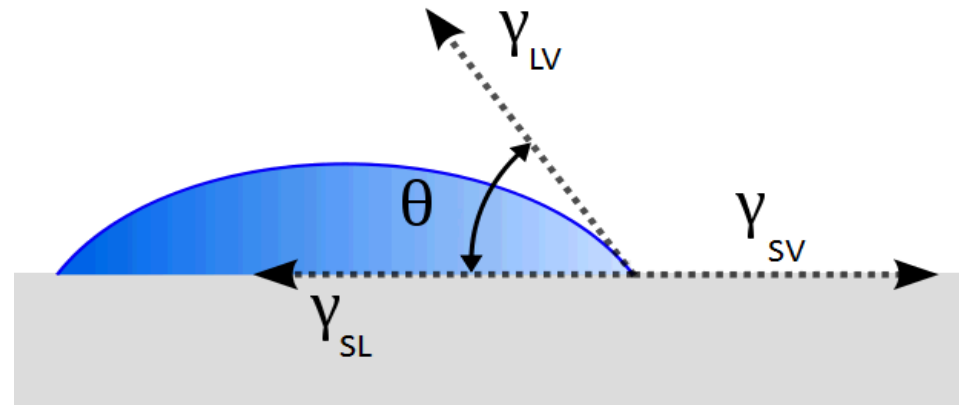
Ora poniamo l'attenzione sulla forma di una **goccia** posta su una superficie:

- Quali informazioni ci può dare?
- E' correlata alle forze di coesione?



Tensione superficiale e angolo di contatto

L'angolo θ è determinato dal bilanciamento delle forze di coesione e quelle di adesione all'interfaccia



T. Young, 1805

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta$$

Energia superficiale
del solido

energia superficiale
del liquido

1) **Informazione sui liquidi**

A parità di solido $\gamma_{LV} \downarrow \Rightarrow \theta \downarrow$

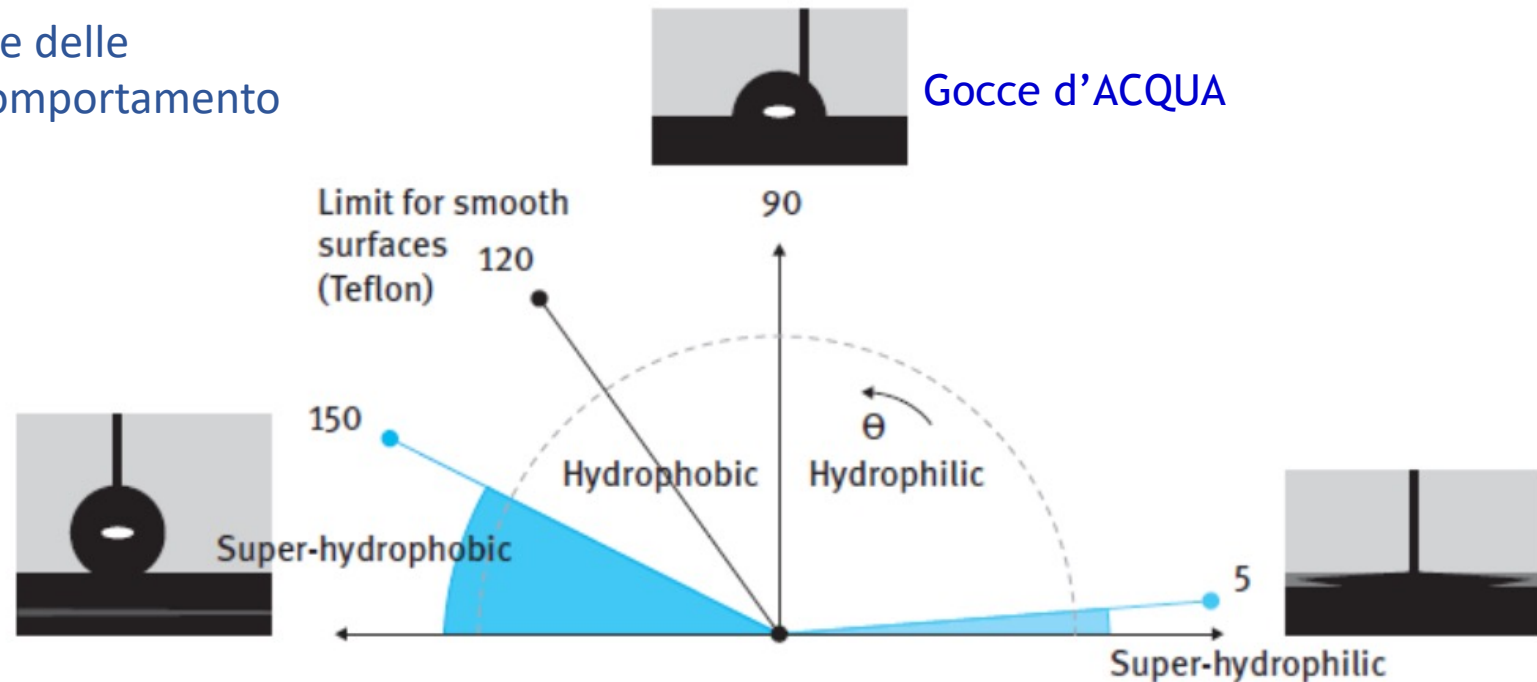
La tensione superficiale e l'angolo di contatto

2) Informazione sulle superfici solide

A parità di liquido: $\gamma_s \downarrow \Rightarrow \theta \uparrow$



Ne deriva una classificazione delle superfici solide in base al comportamento idrofilo/idrofobo



Obiettivo del percorso

Approfondire sperimentalmente la tensione superficiale di liquidi e solidi

- Rafforzare le conoscenze sulle forze intermolecolari e gli stati condensati
- Veicolare il concetto di superficie
- Introdurre alle applicazioni: le superfici superidrofobe

Destinatari:

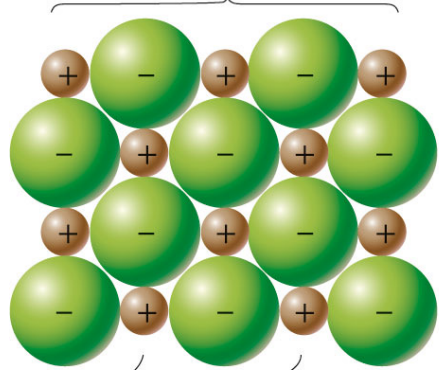
- ✓ Corso curricolare di Liceo scientifico Opzione Scienze Applicate (classi 3^a)
- ✓ Percorso extracurricolare (POC, percorsi di orientamento complementari) per 3^a e 4^a

“Scienze in lab” Percorsi 2024 per potenziare le azioni e i **percorsi** di orientamento nelle classi terze, quarte e quinte

Prerequisiti fondamentali

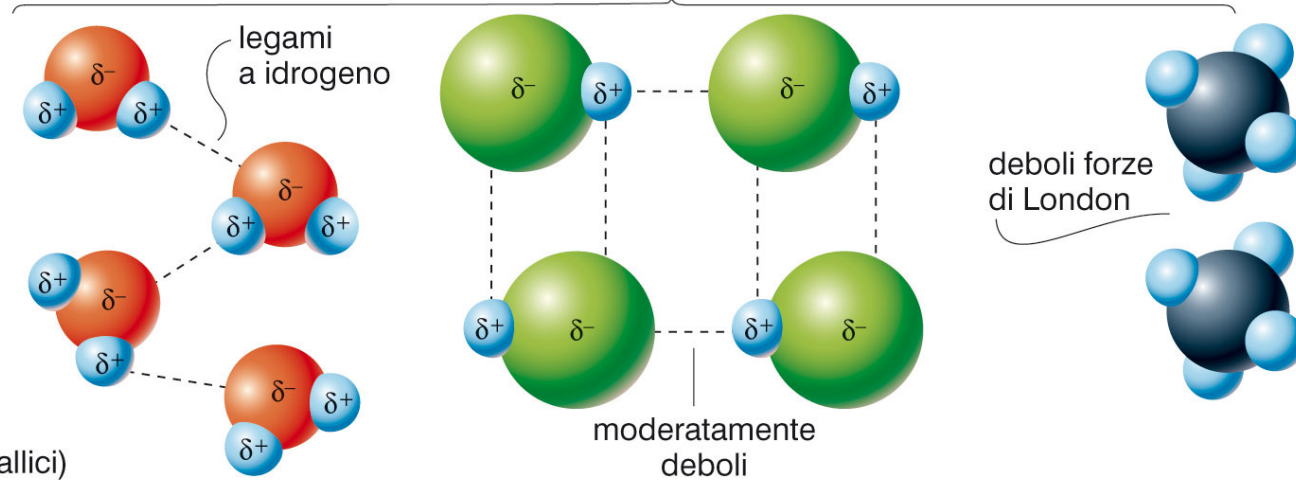
- ✓ Conoscere del legame chimico
- ✓ Saper classificare le forze intermolecolari in base alla loro forza (energia)

forze interatomiche 400 kJ mol^{-1}



legami forti (solidi ionici, solidi covalenti reticolari, solidi metallici)

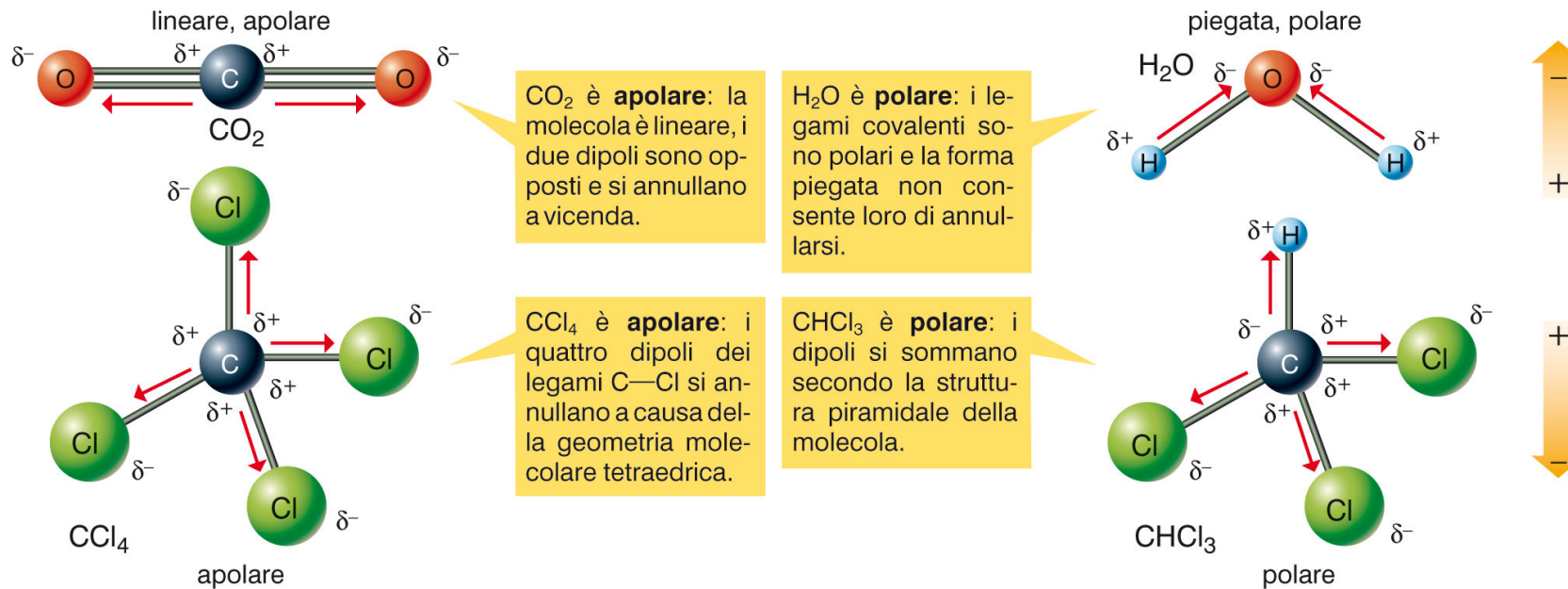
forze intermolecolari da 40 a $0,1 \text{ kJ mol}^{-1}$



← Energia

Prerequisiti fondamentali

✓ La polarità delle molecole



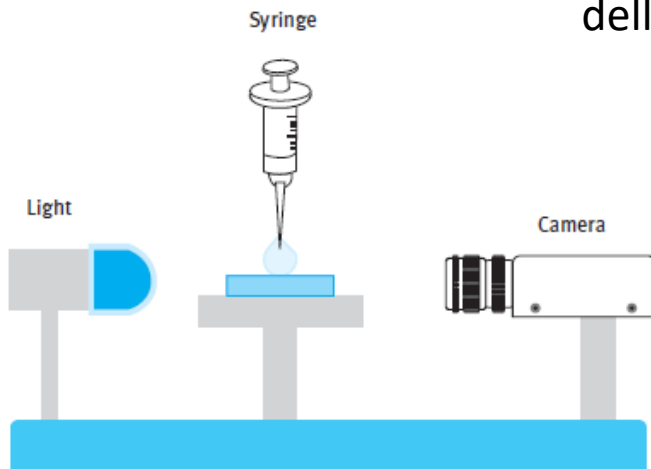
Proprietà microscopica generalmente collegata nel macroscopico alla **solubilità** (simile/simile)

Metodologia

- ✓ La tensione superficiale è misurata indirettamente attraverso **l'angolo di contatto**

Contesto laboratoriale
facilmente fruibile

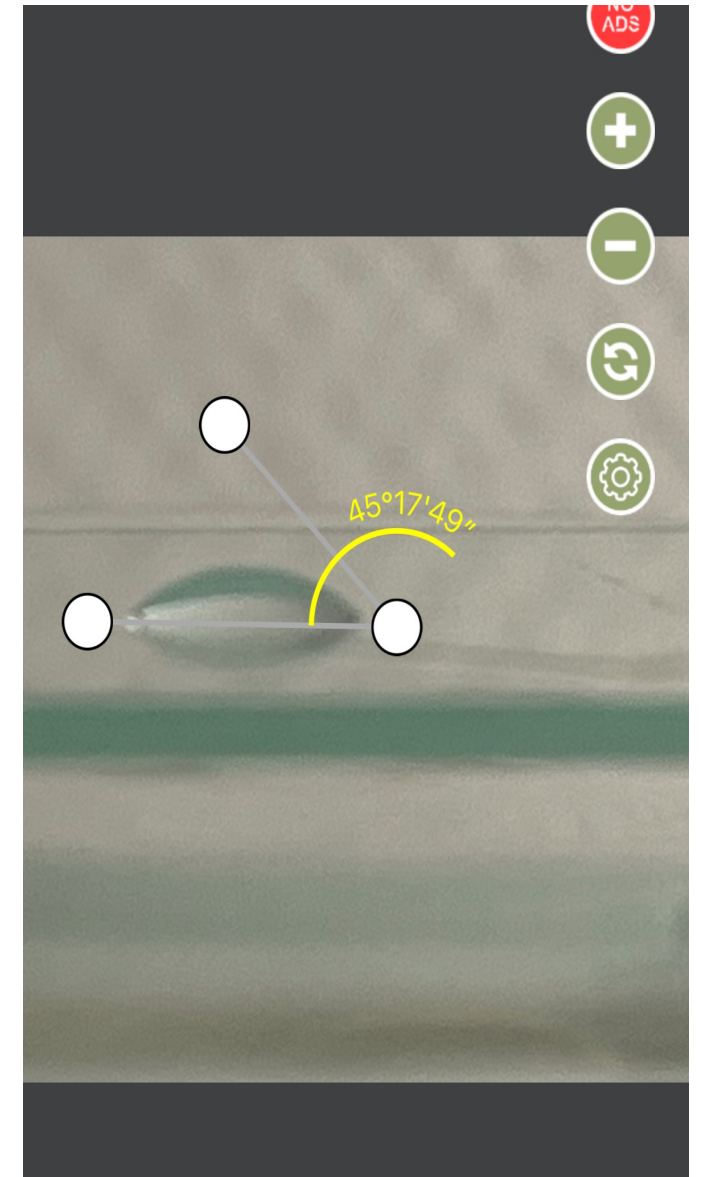
- ✓ Con pipette monouso o pasteur, piccole quantità di liquido (gocce del diametro di 2-3 mm), ripresa della goccia con **fotocamera digitale**



Apparato convenzionale

- ✓ Foto elaborata con applicazione per misura di angoli

Solo misura statica

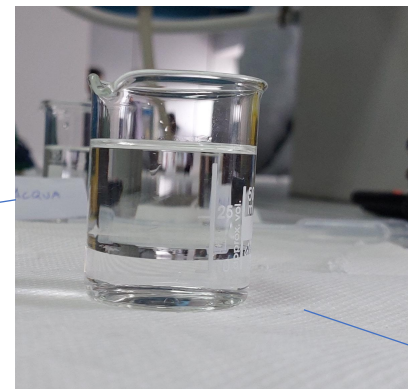
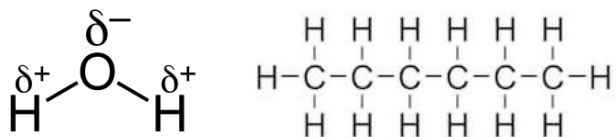


Metodologia

- ✓ **FASE 1** Si confrontano **liquidi diversi** in termini di tensione superficiale testando la modalità di adesione (angolo di contatto) su una superficie esempio
- ✓ **FASE 2** Si utilizza l'acqua per determinare il carattere idrofilo/idrofobo di **solidi diversi**
- ✓ **FASE 3** Si sperimenta la realizzazione di una superficie **superidrofoba**

Fase 1: prove di miscibilità tra i liquidi

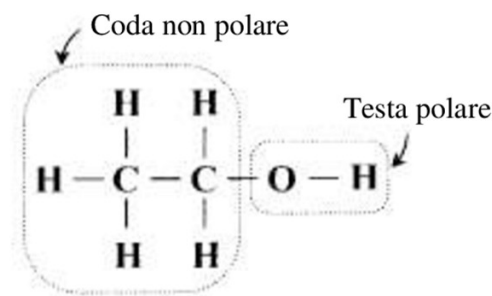
- Acqua + Esano: sistema bifasico, miscuglio eterogeneo



- Acqua + Etanolo: sistema monofasico, miscuglio omogeneo o soluzione
- Esano + Etanolo: sistema monofasico, miscuglio omogeneo o soluzione

Stimolo all'interpretazione:

- ✓ Interazione polare-apolare non conveniente energeticamente
- ✓ Etanolo sostanza anfipatica



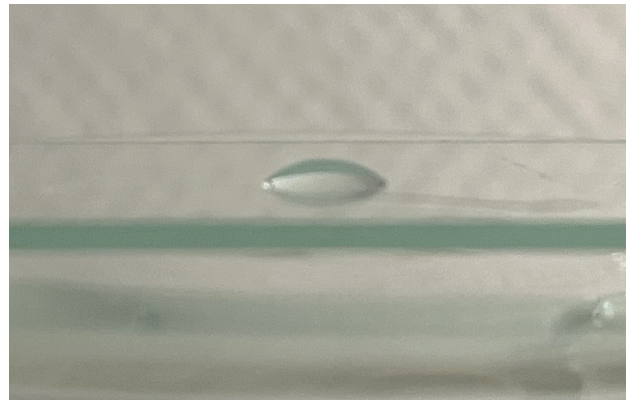
Fase 1:

angolo di contatto vetro-liquidi diversi

Angolo (°)	acqua	etanolo	esano
v. medio	45	5	0

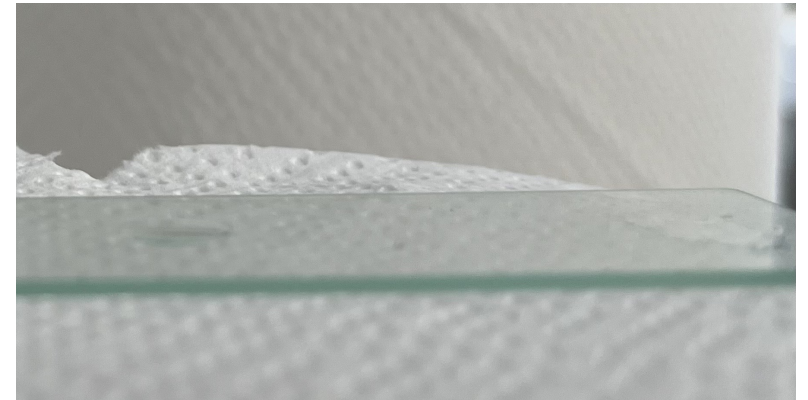
Risultati

acqua



45°

etanolo



5°

esano

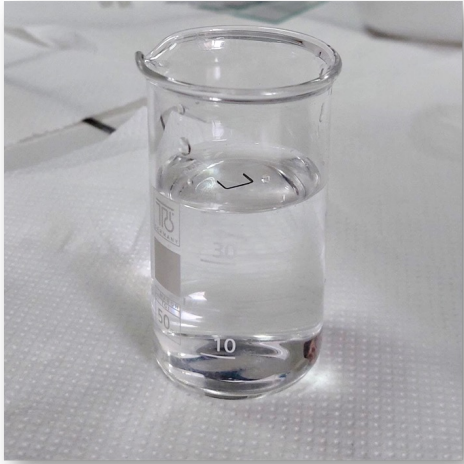
0°

Stimolo all'interpretazione:

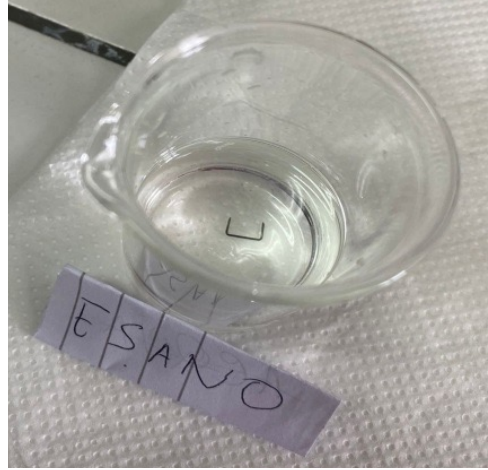
- ✓ L'acqua è il liquido con le più intense forze di coesione

- ✓ Gli idrocarburi sono i liquidi che "bagnano" di più

Fase 1: correlazione con altre osservazioni



Acqua



esano

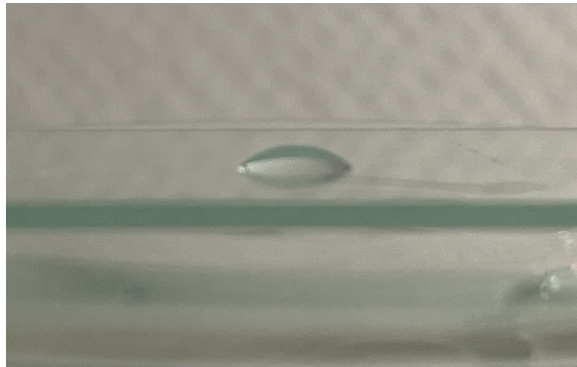
Un altro modo per confrontare la tensione superficiale



più in generale la polarità

Esperimento 3: angolo di contatto acqua-materiali diversi

vetro



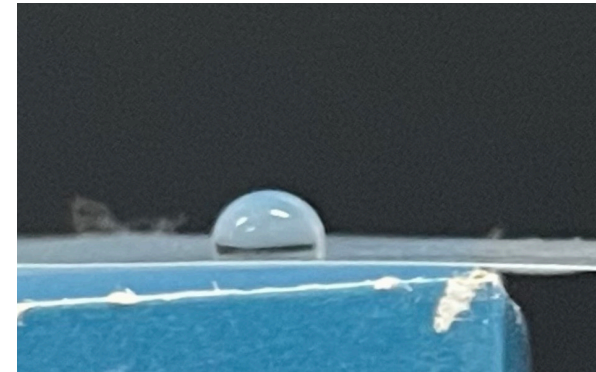
45°

marmo



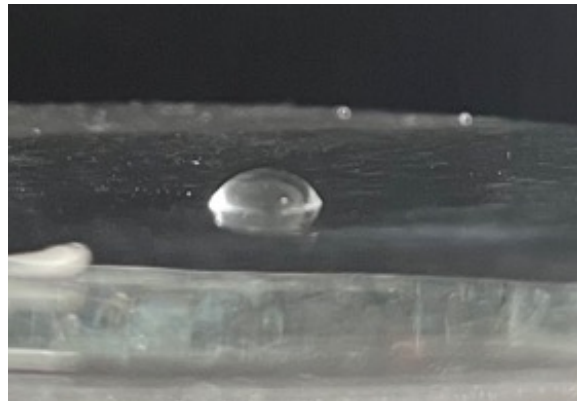
67°

parafilm



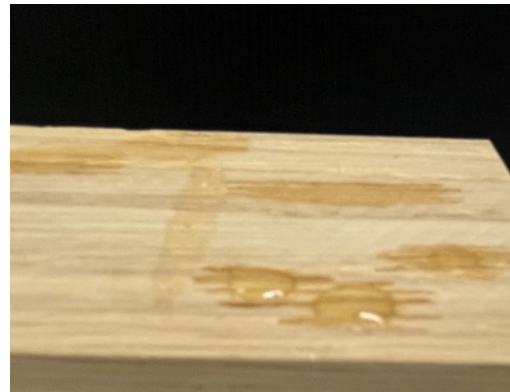
94°

alluminio



60°

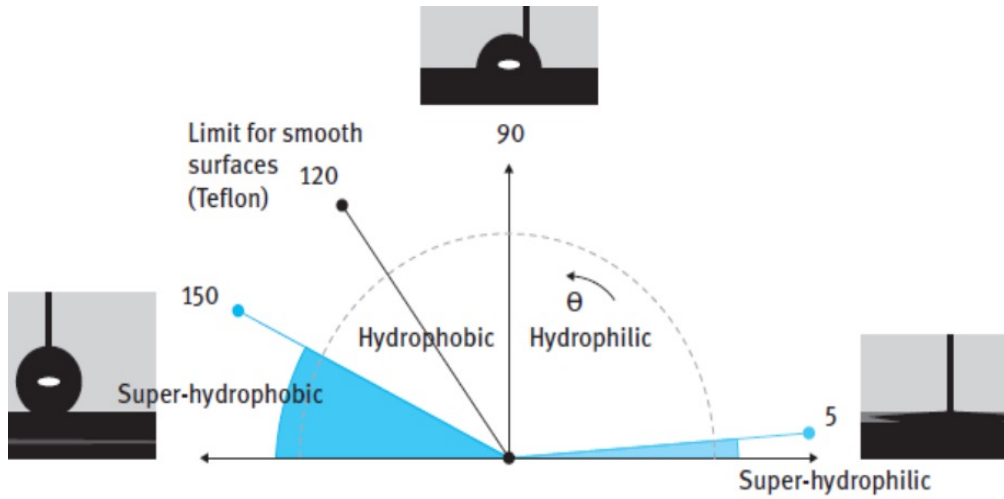
Legno (rovere)



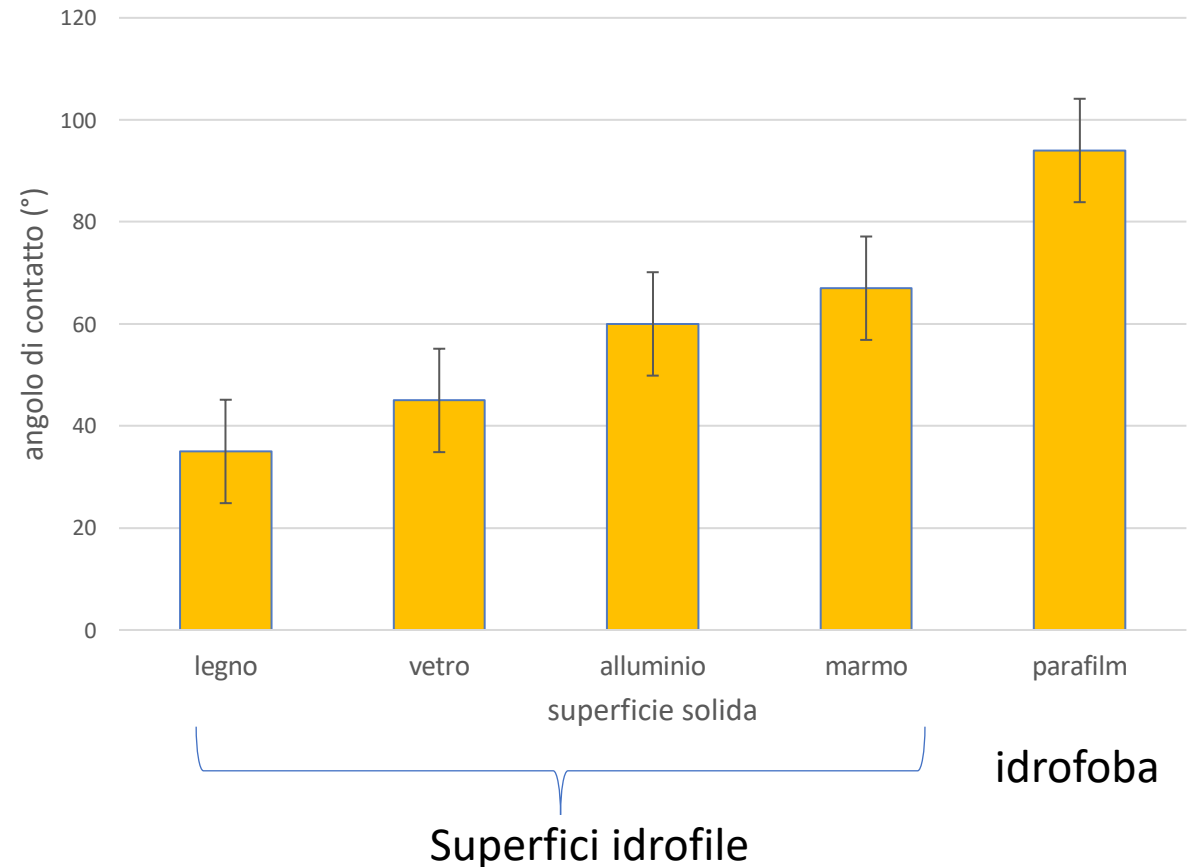
35°

Ma nel tempo parte della goccia è
assorbita per capillarità

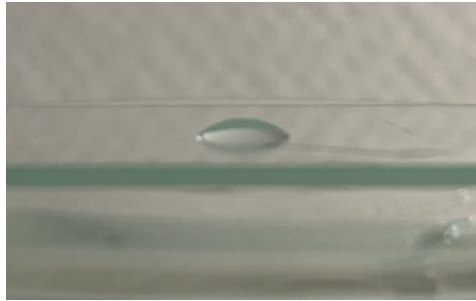
Esperimento 3: angolo di contatto acqua-materiali diversi



Classificazione del comportamento



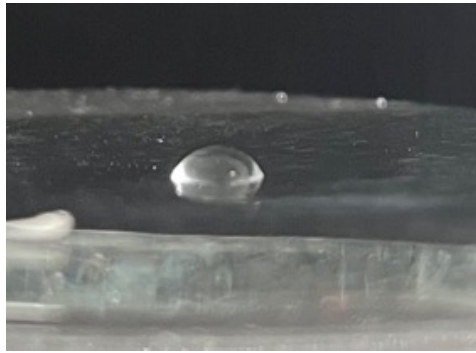
Considerazioni sui materiali: dal macro al micro



- Vetro: SiO_2 amorfo
Legame covalente polare



- marmo: CaCO_3 ad alto grado di compattazione
Legame ionico *roccia metamorfica*



- alluminio: solido metallico
Legame metallico
(o legame covalente metallo-ossigeno considerando la superficie ossidata)

Solidi con alte
forze di coesione,
(ad alta energia)



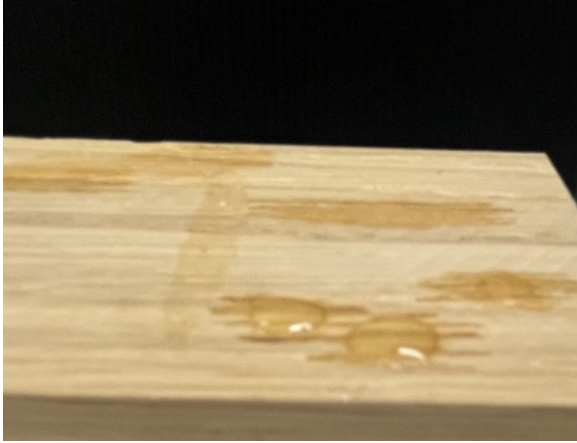
idrofili

correlazione con altre
proprietà

- ✓ Elevati punti di fusione

Considerazioni sui materiali: dal macro al micro

➤ legno



Cellulosa/lignina

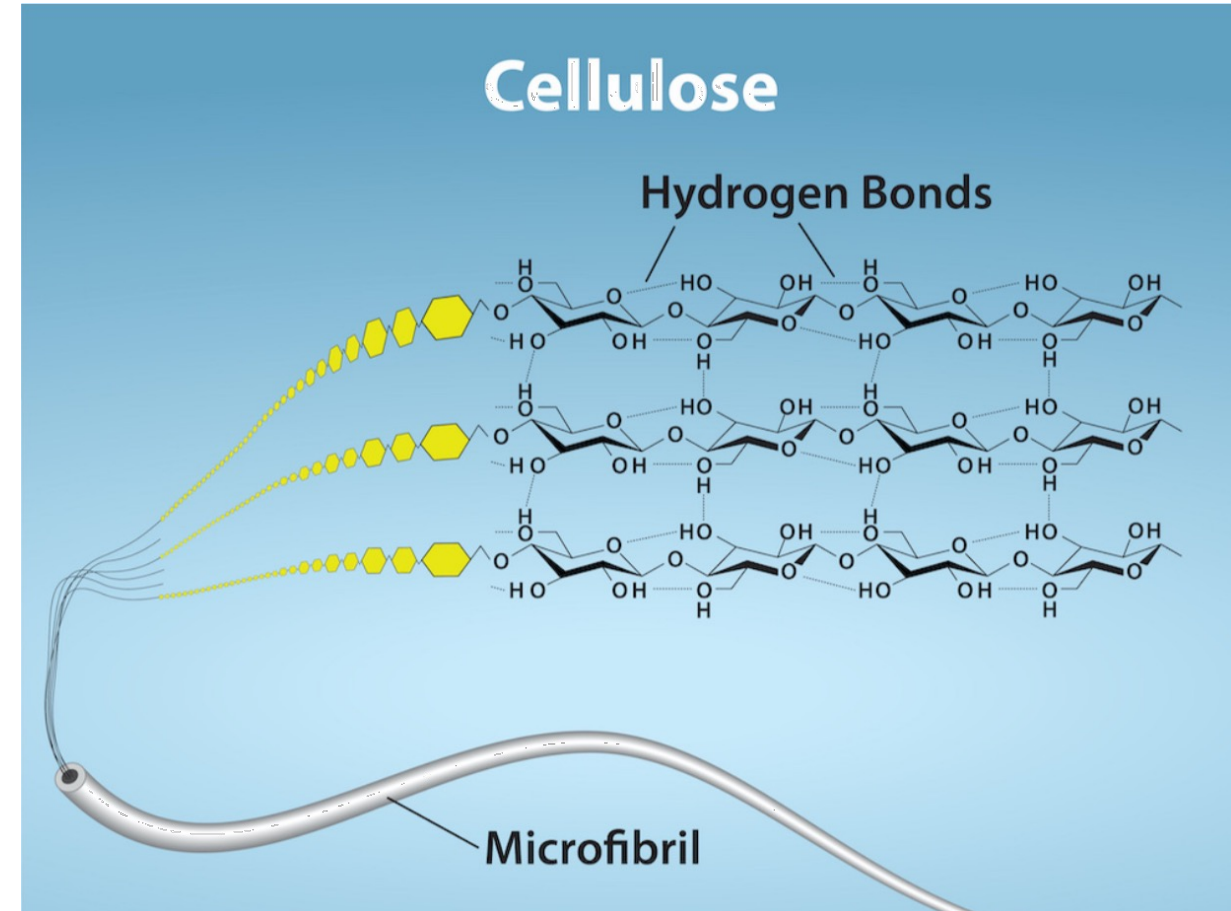
polisaccaride

Legami covalenti polari,
legame idrogeno

idrofilo

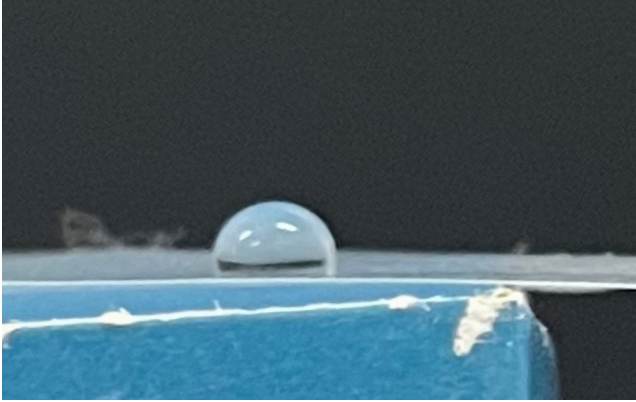
Materiale polimerico ad alta energia

Con struttura vascolare che favorisce
assorbimento capillare (coll. Biologia)



Considerazioni sui materiali: dal macro al micro

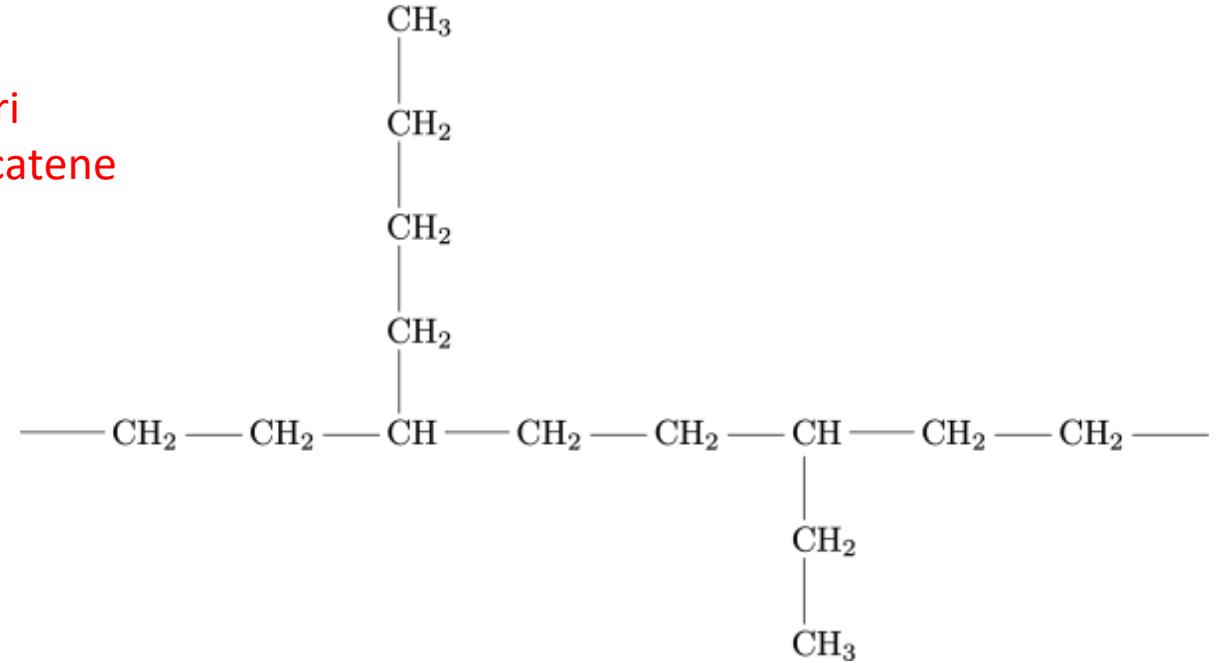
➤ parafilm



IDROFOBO

poliolefine

Legami covalenti apolari
Forze di London tra le catene



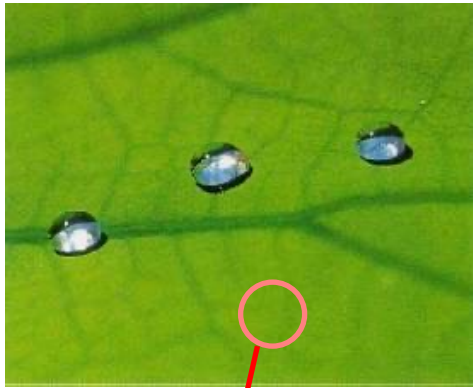
Materiale polimerico a bassa energia

Stimolo all'interpretazione:

La composizione idrocarburica (CH_x), apolare,
conferisce carattere idrofobo

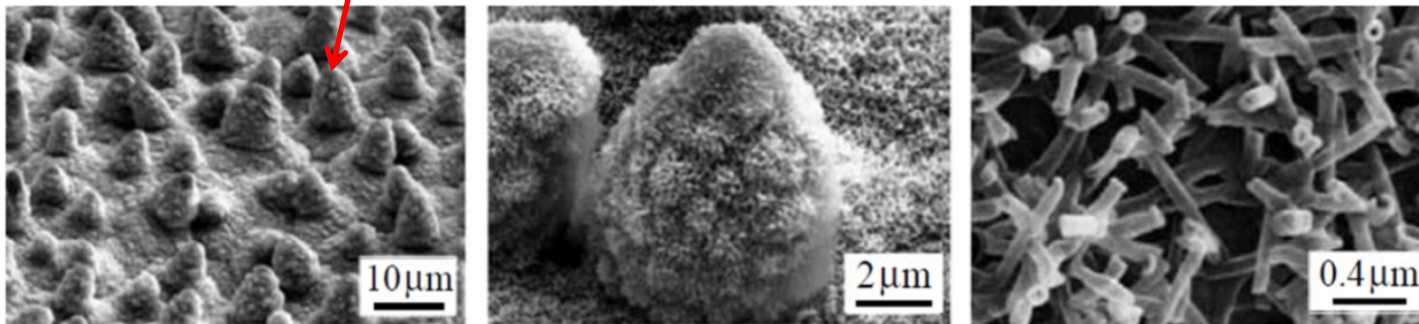
Esperimento 4

Realizziamo materiali con effetto Loto (o superidrofobi)



La pianta del Loto protegge le sue foglie dalle contaminazioni con una superficie **AUTOPULENTE** sulle sue foglie: la goccia scivola portando con sé lo sporco

La superficie non solo ha una composizione chimica a bassa energia ma anche una **micro-nano-tessitura**



➤ Possiamo ottenerla anche
nel nostro LAB?

Metodologia

➤ Esperimento su Legno

Procedimento:

- Usare un campione con superficie pulita e asciutta;
- spruzzare la soluzione “**rivestimento legno o pietra**” sul campione e per confronto su vetro;
- attendere da **2 a 6 ore** che si asciughi completamente;
- Testare la superficie rivestita con differenti liquidi (acqua, bibita, caffè, acqua/terra)
- fotografare frontalmente le gocce per misurare l'angolo di contatto (in particolare con acqua per confrontarlo con la parte non trattata)

- Per applicazioni in cui la superficie è esposta all'acqua piovana ma non è soggetta a sforzo meccanico

- Consigliato per superfici **porose**

- Si può testare anche con tessuto
‘**spray rivestimento tessuti**’

Nanoschool Box

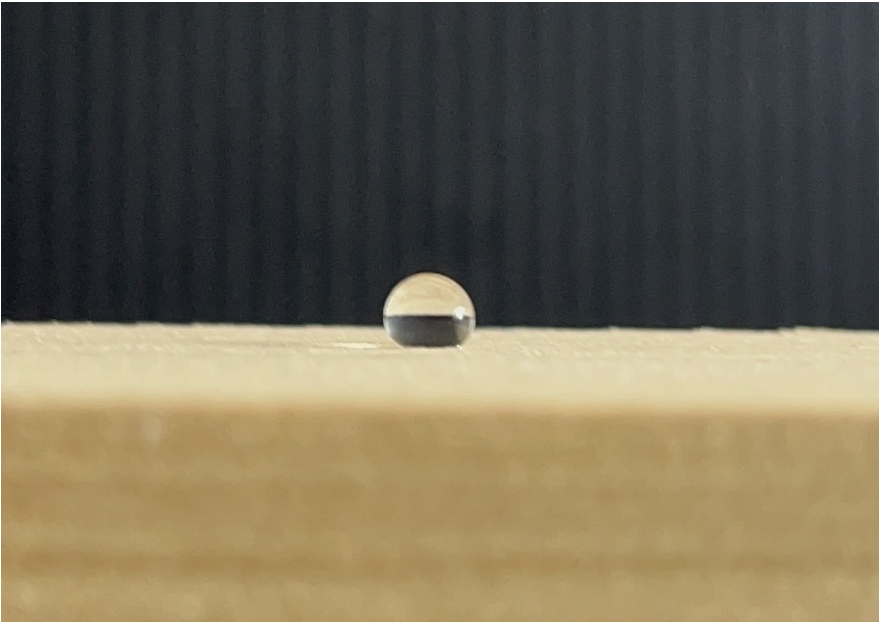
Kit didattico della Advanced Materials Science



Rivestimento legno o pietra:
Miscela di polisilossanici, fluoroalchilici,
idroformiati

Risultati

➤ Legno Tulipier trattato



Angolo di contatto: 155°

✓ Superficie superidrofoba!

✓ Con vero effetto LOTO:
Goccia instabile che scivola via

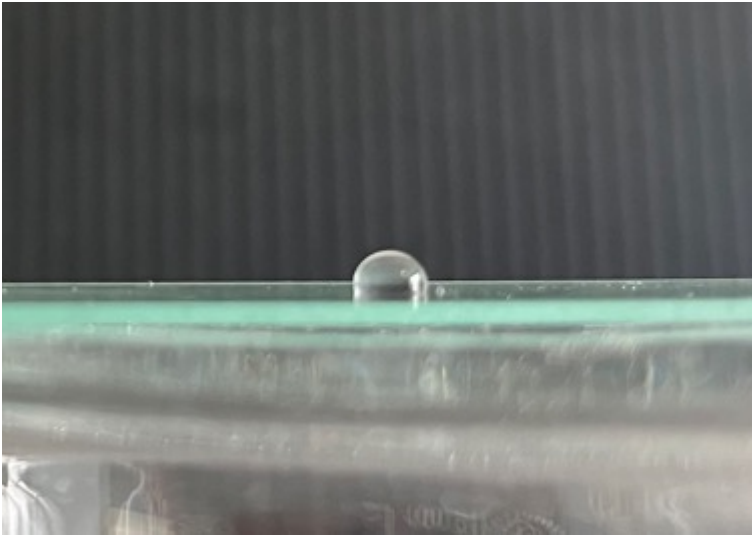


✓ L'effetto varia a seconda del legno utilizzato: ruolo della **texture**

Risultati

*Misura di controllo/confronto su
superficie liscia*

➤ Vetro trattato con lo stesso spray



✓ L'angolo è aumentato
da 45 a **97°**

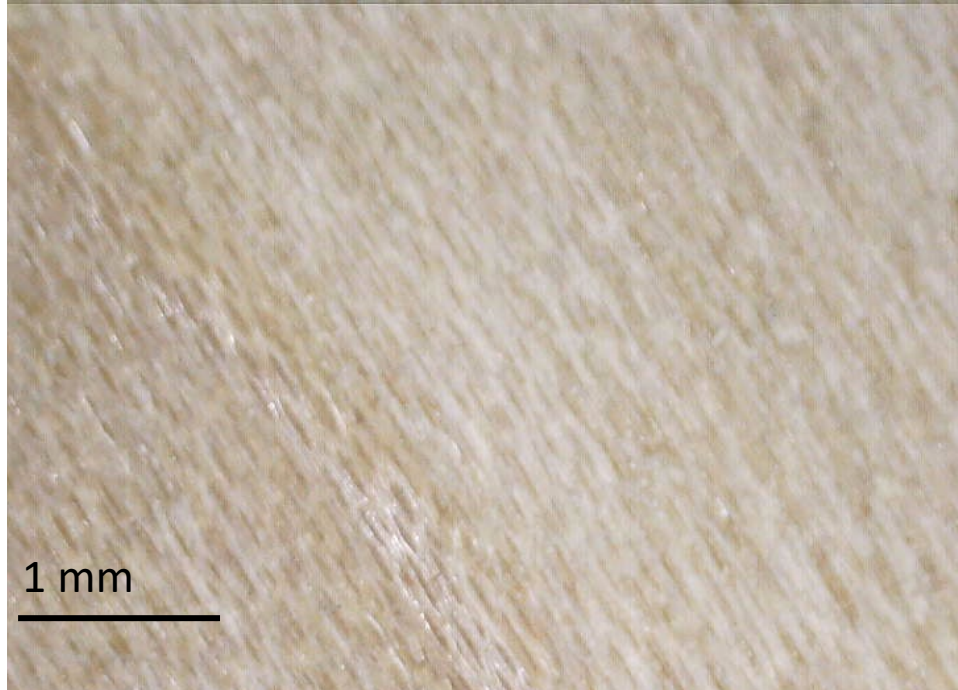
Stimolo all'interpretazione:

- ✓ il film di rivestimento aderisce anche su vetro
- ✓ Il film ha una composizione chimica dal comportamento idrofobo

Legno: osservazioni allo stereoscopio

Tulipier

Frontale

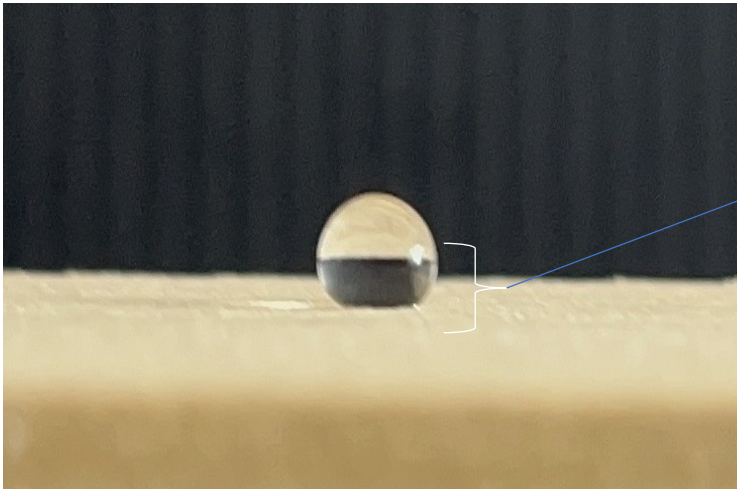


Laterale



- ✓ Stimolo all'interpretazione:
la tessitura della superficie riduce ulteriormente l'adesione tra
liquido e solido **favorendo l'intrappolamento di ARIA**

Verso un modello interpretativo



Legno superidrofobo:

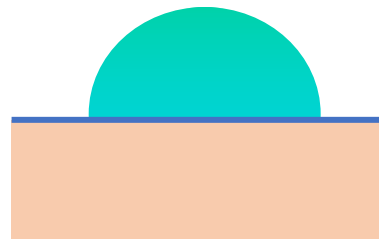
La curvatura della membrana superficiale di acqua al contatto col solido è simile a quella che essa assume con l'ARIA



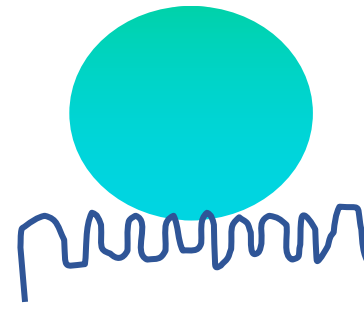
NB L'aria è idrofoba: forma sferica



Film di rivestimento



Vetro trattato



Legno trattato

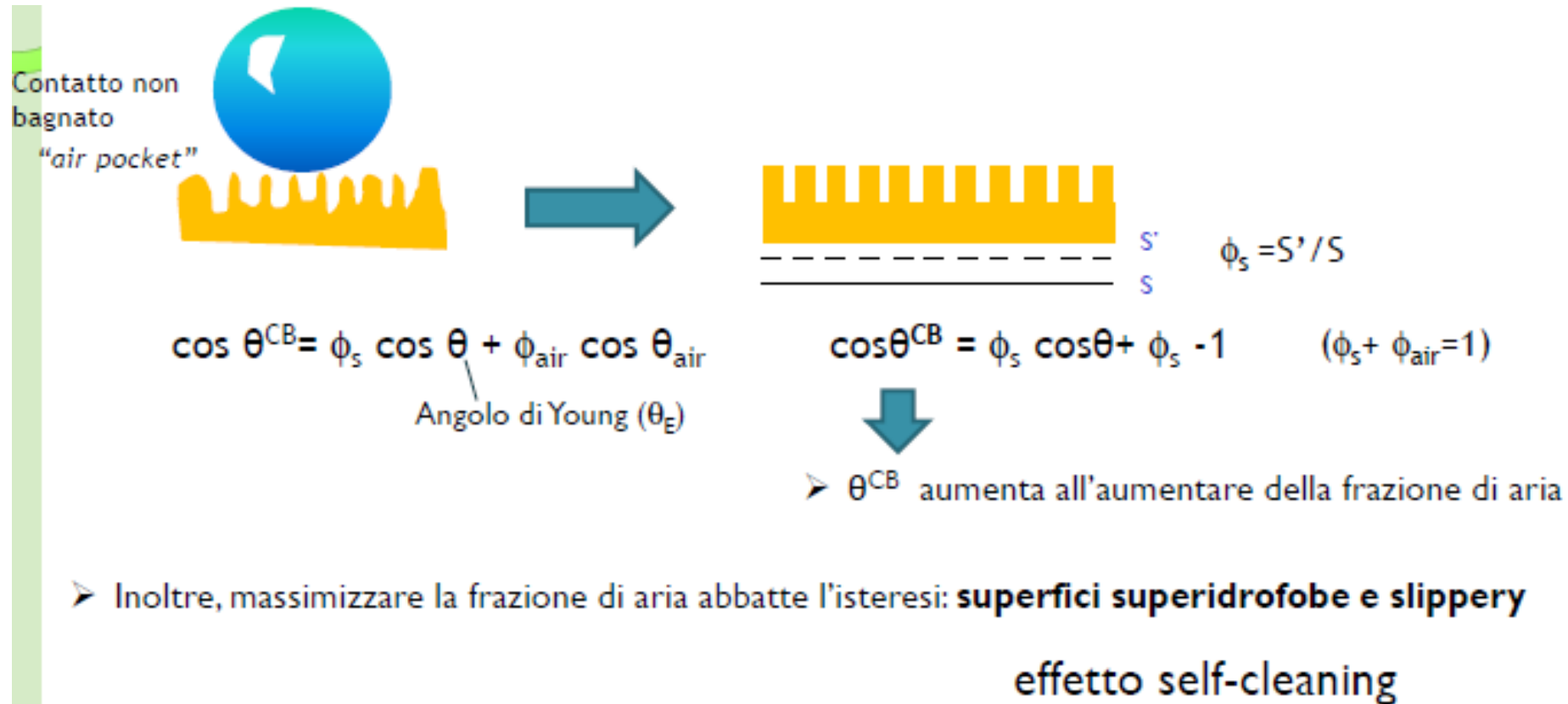
Il film di rivestimento idrofobo favorisce l'intrappolamento di aria nelle cavità della superficie legnosa

Conclusioni

- ✓ L'angolo di contatto può essere utilizzato in un **contesto laboratoriale fruibile** da studenti di liceo
- ✓ Può costituire un mezzo efficace per rafforzare la comprensione del legame chimico e delle forze intermolecolari e della loro **correlazione con le proprietà macroscopiche**
- ✓ Può stimolare la voglia di **esplorare** con mezzi propri le proprietà di materiali liquidi e solidi
- ✓ Può suggerire modalità innovative per **modificare la materia in modo vantaggioso** (applicazioni tecnologiche)

Studi di riferimento

- modello di Cassie-Baxter per materiali superidrofobi



Cassie, A. B. D.; Baxter, S. *Trans. Faraday Soc.* 1944

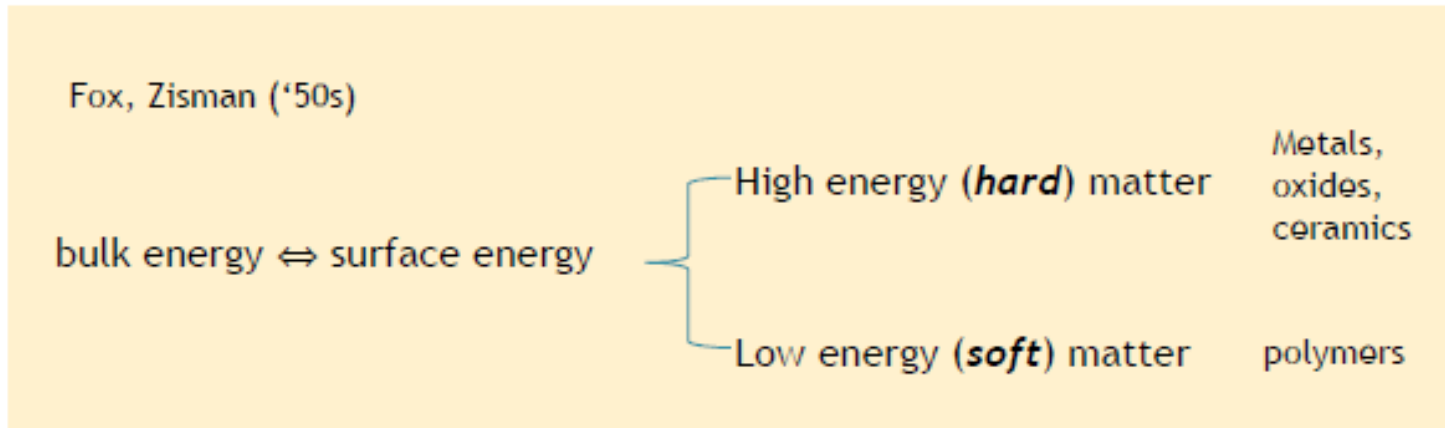
Studi di riferimento

- corrispondenza tra energia superficiale ed energia del bulk

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos\theta_E$$

Il liquido è costante: $\gamma_{SV} \downarrow \Rightarrow \theta_E \uparrow$

Grande classificazione dei materiali in base alla **energia superficiale**...



Importanza della forza
del legame tra gli
atomi/molecole del
solido

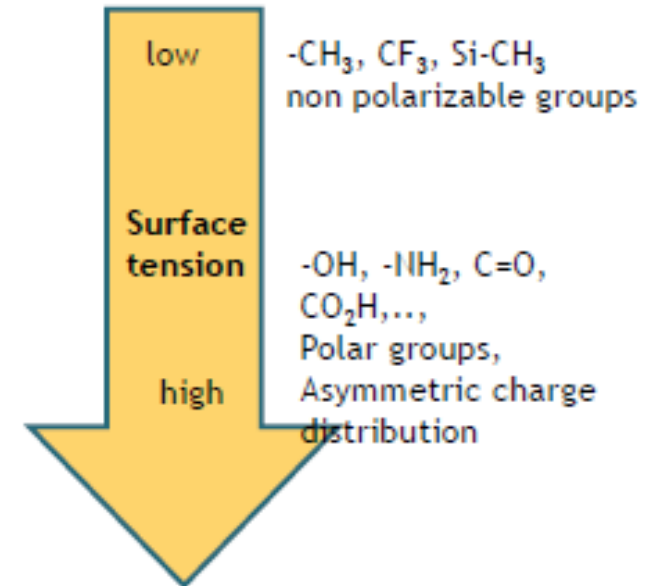
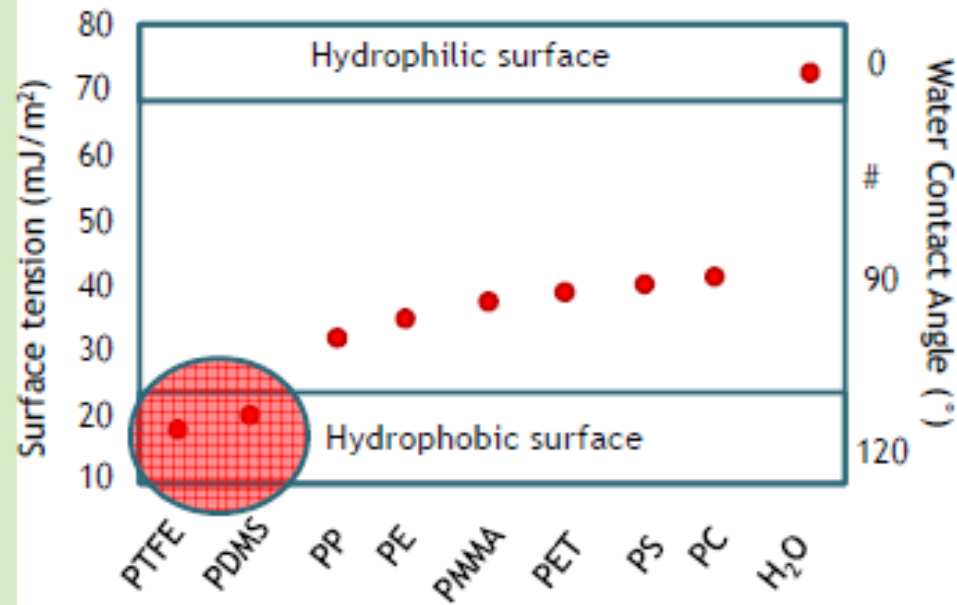
Studi di riferimento

■ Angolo di contatto e chimica delle superfici

➤ Lo stesso liquido su solidi diversi:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos\theta_E$$

Il liquido è costante: $\gamma_{SV} \downarrow \Rightarrow \theta_E \uparrow$



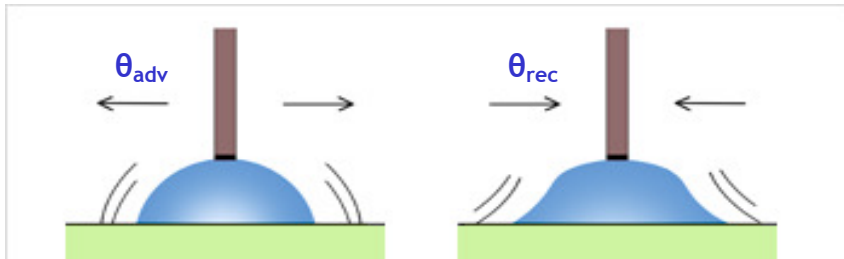
Polymer surfaces, From Physics to Technology
Garbassi, Morra, Occhiello, 1993

Studi di riferimento

- Isteresi dell'angolo di contatto

θ_E è l'angolo di EQUILIBRIO che sulle superfici ideali è l'unico angolo possibile

➤ Nelle superfici reali invece:



Isteresi dell'angolo di contatto: differenza tra angolo di advancing e di receding

“Real world surfaces commonly exhibit hysteresis of 10 ° or more”

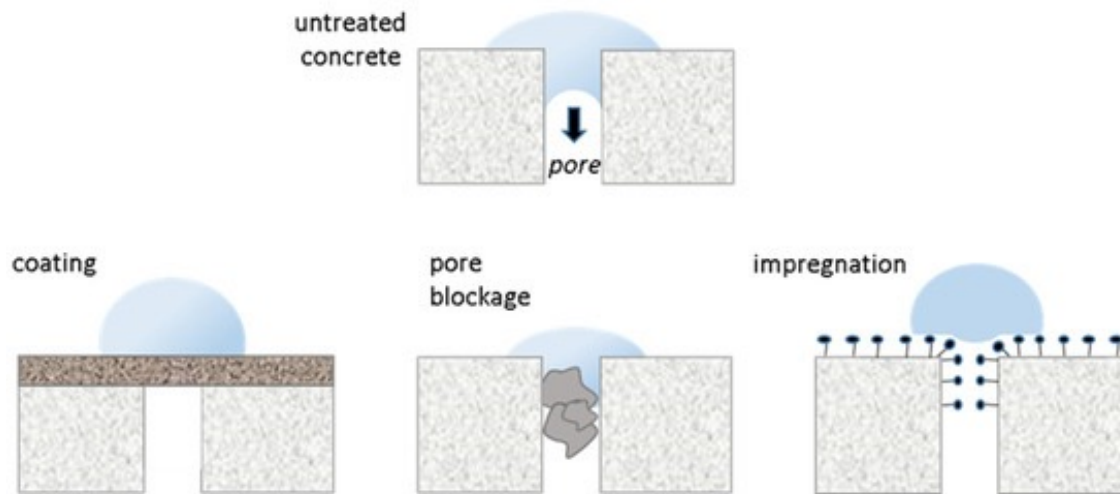
“Due to chemical and/or morphological heterogeneities that are differently stimulated in wetting and de-wetting”

(De Gennes, 1985)

Studi di riferimento

- Modifica idrofoba di materiali porosi

Il caso, tra gli altri, dei materiali cementizi



R. Di Mundo *et al.*,
Recent Advances in Hydrophobic and Icephobic Surface
Treatments of Concrete, *Coatings*, 2020

