

“Gocce schizzinose: come cambiano le amicizie tra gocce e superfici”. Un laboratorio interattivo modulabile

Eva Santini, Fabrizio Valenza, Francesca Cirisano, Francesco Mocellin, Giovanna Canu

Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l'Energia (CNR-ICMATE), Genova

1. Introduzione

Il laboratorio “Gocce schizzinose” nasce dalla volontà di un gruppo di ricercatori del Consiglio Nazionale delle Ricerche, della sede secondaria di Genova dell’istituto ICMATE, Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l’Energia di far conoscere le proprie tematiche di ricerca non solo ad esperti, ma ad un pubblico più ampio. In particolare, le tematiche illustrate durante le attività del laboratorio sono incentrate su specifiche proprietà dei materiali liquidi, ossia la tensione superficiale e la bagnabilità, come verrà meglio dettagliato in seguito. La tensione superficiale, ossia la resistenza della superficie libera di un liquido, è strettamente correlata alla formazione di gocce o bolle e quindi alla produzione di sistemi dispersi, quali schiume ed emulsioni, in presenza di molecole di tensioattivo. Questo ha una notevole ricaduta in campo industriale in diversi settori, come quello alimentare (ad esempio, maionese e gelati), cosmetico (creme e detergenti corpo), farmaceutico (pomate e capsule).

D’altro canto, i fenomeni di bagnabilità, cioè la tendenza di un liquido a mantenere il contatto con una superficie solida, rivestono una significativa importanza non solo in diversi aspetti della vita quotidiana ma anche in molti settori tecnico-scientifici, coinvolgendo materiali di diversa natura (vetri, polimeri, metalli e ceramici). Infatti, le proprietà di bagnabilità delle superfici possono essere impiegate, ad esempio, in campo marittimo per evitare che gli scafi delle imbarcazioni vengano degradati da vegetazione marina, nella produzione di superfici autopulenti (vetri, pannelli solari, abbigliamento tecnico). I fenomeni di bagnabilità che coinvolgono i metalli liquidi sono invece molto importanti in processi industriali come quelli che si trovano in fonderia, nelle saldature in microelettronica, nelle giunzioni di ceramiche, nelle tecniche per brasatura,

nella produzione di compositi a matrice metallica per infiltrazione, nella produzione di schiume metalliche.

Cosa si impara? Scopo del laboratorio proposto è mostrare a visitatori/scolarresche come le proprietà dei materiali appena citate, che generalmente vengono studiate a livello di scienza di base, abbiano interessanti applicazioni tecnologiche. Gli esperimenti sono pensati per essere svolti dai partecipanti e per farli avvicinare in maniera semplice e intuitiva alla comprensione della chimica-fisica delle superfici e alla reale attività scientifica che avviene normalmente all'interno di un ente di ricerca.

2. Contenuti scientifici

Perché si formano le bolle? Cosa intendiamo quando diciamo che una superficie è bagnata? L'acqua è l'unica sostanza che bagna e che può formare le gocce? È possibile apportare dei cambiamenti alle superfici per non farle bagnare? Il laboratorio è ideato per illustrare in maniera semplice, e modulabile a seconda del target dei partecipanti, le proprietà dei liquidi che permettono di trovare le risposte a questi quesiti: la tensione superficiale e la bagnabilità.

Per capire il concetto di tensione superficiale consideriamo un bicchiere riempito con un liquido: le molecole all'interno possono interagire con le altre molecole vicine in tutte le direzioni, quindi le forze di attrazione sono equilibrate. Alla superficie, invece, le forze non sono equilibrate verso l'alto ed è per questo che le molecole dell'interfaccia hanno il potenziale e la necessità di creare nuove interazioni. Questo eccesso di forze che si viene a formare alla superficie è chiamata **tensione superficiale**, ossia la forza che si stabilisce fra le molecole di liquido che stanno in superficie a contatto diretto con l'aria, nella zona di confine tra due sostanze diverse (aria e liquido). Queste molecole, infatti, grazie alla loro grande attrazione formano una specie di pellicola resistente: in natura abbiamo evidenza di questo fenomeno osservando alcuni piccoli insetti capaci di camminare sull'acqua.

Questo concetto viene spiegato attraverso un esperimento che consiste nella "rottura" della tensione superficiale mediante l'utilizzo del sapone. Il sapone, come molti altri prodotti in commercio (creme, shampoo, detersivi, farmaci...), contiene molecole che si chiamano tensioattivi, molecole caratterizzate dalla presenza nella loro struttura di un gruppo affine all'acqua (testa idrofilica) e di uno repellente all'acqua (coda idrofobica). Questa particolare

“Gocce schizzinose: come cambiano le amicizie tra gocce e superfici”

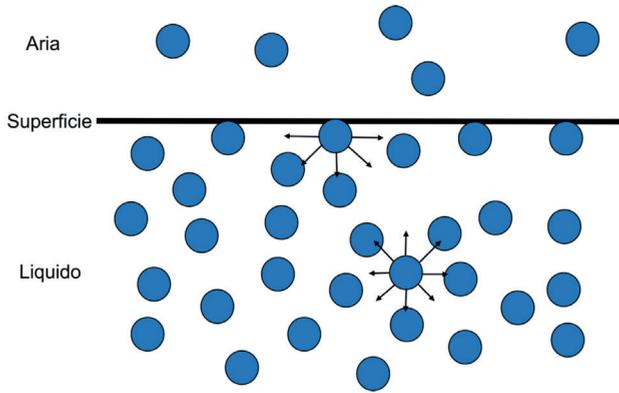


Figura 1

Forze che agiscono sulle molecole d'acqua all'interno del liquido e all'interfaccia

struttura permette il loro adsorbimento all'interfaccia acqua/aria o, nel caso di due liquidi, acqua/olio, modificandone le proprietà.

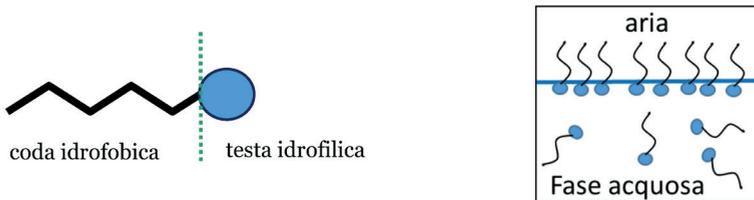


Figura 2

(sinistra) struttura di un tensioattivo e (destra) adsorbimento di tensioattivi all'interfaccia acqua/aria

Infatti, se aggiungiamo una goccia di sapone all'acqua, le molecole di tensioattivo diminuiscono la tensione superficiale dell'acqua, perché la testa idrofilica tende a legarsi alle molecole di acqua e a “rompere” la tensione superficiale.

La tensione superficiale influenza anche la bagnabilità di un liquido su un solido. L'angolo di contatto che una goccia liquida forma con una superficie solida è la grandezza che viene comunemente utilizzata dagli scienziati per misurare il grado di bagnabilità. Esso risulta dall'equilibrio tra le forze di coesione che tengono insieme le molecole del liquido (tensione superficiale) e le forze

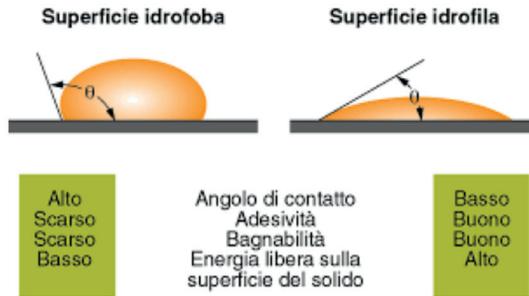


Figura 3
Bagnabilità di una superficie idrofoba e di una superficie idrofila

di adesione che causano l'interazione tra il liquido e il solido. Se ci riferiamo al liquido più comune, l'acqua, si può parlare di superfici che hanno “paura” dell'acqua e che quindi vengono definite idrofobe oppure di superfici che “amano” l'acqua e che quindi sono idrofile. Questo concetto si può allargare ad ogni tipo di liquido, come le soluzioni organiche o i metalli a temperature superiori al loro punto di fusione.

Se l'angolo di contatto è nullo, la superficie viene completamente bagnata; la superficie, invece, non è bagnata nel caso in cui l'angolo sia pari a 180° .

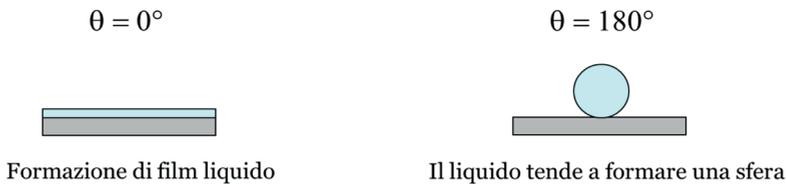


Figura 4
Casi limite di angoli di contatto

Tra le due situazioni limite, si verificano tutti gli altri casi, che vengono suddivisi in tre casi intermedi. Ci si riferisce quindi ad angoli inferiori, uguali, oppure superiori a 90° : se il liquido ha un angolo di contatto statico tra 0° e 90° bagna la superficie (se il liquido è acqua la superficie è detta idrofila), se il liquido non bagna la superficie (se si tratta di acqua la superficie è idrofoba), l'angolo di contatto è superiore 90° , e si può osservare uno stato estremo di

“Gocce schizzinose: come cambiano le amicizie tra gocce e superfici”

idrorepellenza con $\theta > 150^\circ$. In quest’ultimo caso si parla di superfici superidrofobiche, la cui importanza è soprattutto correlata agli effetti autopulenti, in particolare per tutte le applicazioni che necessitano di evitare il contatto con l’acqua.

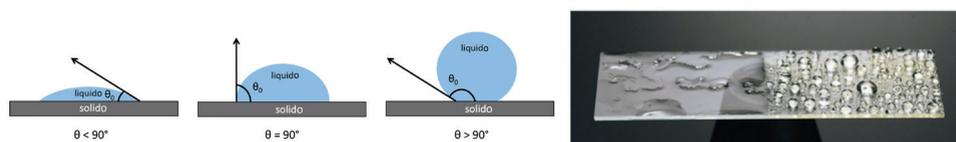


Figura 5
(sinistra) Valori dell’angolo di contatto e
(destra) bagnabilità di gocce d’acqua su superfici differenti

Tutti questi concetti, come precedentemente citato, possono essere estesi a liquidi che di solito non vediamo quotidianamente. Ad esempio, studiare i fenomeni di bagnabilità che coinvolgono i metalli liquidi, cioè al di sopra del loro punto di fusione, è molto importante nei processi industriali. Quando un metallo o lega liquida viene a contatto con un materiale solido (ad es. un contenitore per una colata o un materiale da saldare), le alte temperature danno luogo a un’elevata mobilità atomica e quindi a complessi fenomeni interfacciali che possono modificare le proprietà delle superfici a contatto; dunque, oltre agli angoli di contatto, occorre studiare e controllare questi fenomeni.

3. Come si svolge il laboratorio

Il laboratorio didattico interattivo è stato progettato fin dall’inizio come laboratorio hands on, che prevede la partecipazione attiva dei fruitori, con un target di 6-14 anni. È stata dunque prestata particolare attenzione agli aspetti legati alla sicurezza, nonché al costo e alla reperibilità dei materiali utilizzati. Inoltre, è stato curato il linguaggio, in modo da fornire informazioni corrette dal punto di vista scientifico, ma comprensibili al pubblico di riferimento. Quando necessario ricorrere ad animatori scientifici per la realizzazione del laboratorio, è stata fornita un’adeguata formazione al personale, sia riguardo ai contenuti scientifici, sia per la descrizione degli esperimenti.

Le attività del laboratorio, della durata complessiva di circa un’ora, sono organizzate in modo tale da rendere attivamente partecipe ogni visitatore.



Inizialmente, il gruppo/scolaresca è raccolto per il racconto degli argomenti scientifici che verranno affrontati, con esempi delle loro applicazioni nella vita quotidiana. A seconda dell'evento in cui il laboratorio è presentato, questa prima fase è trattata con l'ausilio di video o mediante la spiegazione dei ricercatori. A questo punto, i visitatori vengono divisi in 4 mini-gruppi e posizionati ognuno ad un proprio tavolo per svolgere l'esperimento assegnato. Per far sì che

tutti possano effettuare ogni attività proposta nel laboratorio, i 4 mini-gruppi si alternano nelle varie postazioni.

Attività del laboratorio

Il laboratorio **“Gocce schizzinose”** vuole far comprendere concetti di carattere chimico-fisico, quali la tensione superficiale e la bagnabilità, in maniera semplice e intuitiva. Il concetto di tensione superficiale viene spiegato con un esperimento che permette di determinare una rottura delle forze di coesione delle molecole d'acqua presenti in superficie, mentre la bagnabilità è affrontata considerando due punti di vista:

- l'influenza della tensione superficiale del liquido sulla bagnabilità delle superfici solide mediante prove di bagnabilità di gocce d'acqua e di soluzioni di sapone su diversi materiali.
- modifica della superficie solida per renderla superidrofobica e quindi completamente repellente all'acqua.

Attività 1. Tensione superficiale e sua modifica mediante tensioattivi

Descrizione. Alcune gocce di acquerello di diverso colore vengono versate in un piattino riempito con latte formando delle chiazze colorate. A questo punto, un cotton fioc viene intinto in un bicchiere contenente detersivo per piatti e poi appoggiato sulla superficie del latte.

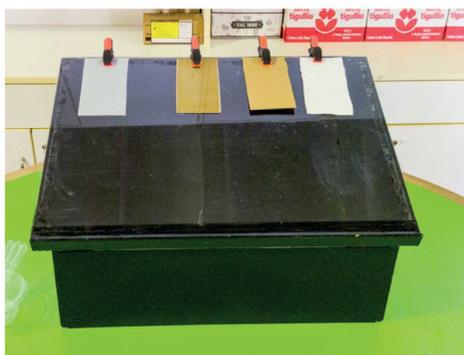
Cosa si osserva. I colori iniziano a diffondersi e ad allontanarsi dal punto in cui è stato inserito il cotton fioc, sembra che i colori scappino dal detersivo.

“Gocce schizzinose: come cambiano le amicizie tra gocce e superfici”

Perché. Il detersivo sulla estremità del cotton fioc contiene tensioattivi che a contatto con il latte ne abbassano la tensione superficiale. Questo crea un gradiente di tensione superficiale tra una zona e l'altra del piatto che determina un flusso di liquido, visibile grazie alla presenza dei colori, dalla posizione con tensione superficiale più bassa (quella dove c'è il detersivo) verso quella con tensione superficiale più elevata (l'acqua senza detersivo).

Attività 2. Bagnabilità di acqua e soluzione di sapone su diversi materiali

Descrizione esperimento. Quattro superfici differenti vengono fissate su un supporto inclinato per mezzo di pinze: teflon; ottone; pezzo di stoffa trattato con cera; pezzo di cartone trattato con rivestimento superidrofobico. Con la pipetta di plastica, su ogni superficie viene versata qualche goccia di acqua. Su tutti i substrati, successivamente, vengono versate anche gocce di una soluzione di acqua e tensioattivo (sapone):



Cosa si osserva. Si osservano i diversi comportamenti dell'acqua rispetto alle diverse superfici:

- **teflon:** si formano gocce con un angolo di contatto $> 90^\circ$. Se di piccole dimensioni, le gocce rimangono ferme, se si aumenta il volume esse tendono a scivolare verso il basso senza lasciare scia.
- **ottone:** la goccia bagna la superficie con angolo di contatto $< 90^\circ$. Le gocce tendono a non scivolare verso il basso. Per indurle a scivolare si deve aumentare il loro volume. Scivolando la goccia un po' si frammenta e lascia una piccola scia.
- **pezzo di stoffa trattato con cera:** la superficie trattata non si bagna e la goccia è in grado di scivolare sulla stoffa senza fermarsi, mentre viene assorbita quando incontra la parte non trattata.
- **cartone trattato con superidrofobico:** nella zona trattata la goccia rimbalza lasciando la superficie asciutta, mentre nella zona non trattata bagna completamente la superficie.

Allo stesso modo, si può osservare come si modifica questo comportamento quando anziché l'acqua vengono versate delle gocce di soluzione composta da acqua e sapone. Infatti, tutte le superfici si bagnano maggiormente e anche il materiale superidrofobico tende a perdere questa sua particolare caratteristica.

Perché. La tensione superficiale dell'acqua con sapone è più bassa rispetto a quella dell'acqua pura a causa della presenza di molecole di tensioattivo. Questo incide sulla diversa bagnabilità dei liquidi a parità di superficie solida.

Attività 3. Bagnabilità di metalli liquidi su diversi materiali

Descrizione esperimento. Vengono introdotti i metalli liquidi mediante l'osservazione di contenitori trasparenti sigillati contenenti mercurio liquido. Si introduce il gallio come elemento, parlando dei suoi utilizzi e del fatto che fonde a temperature prossime a quella ambiente, cioè a circa 30 °C. Se non è ancora liquido, viene fatto fondere in acqua tiepida/calda. Successivamente, mediante una siringa, l'animatore deposita delle gocce di gallio su alcuni substrati, notando che non bagna alcuni materiali (teflon o grafite) mentre ne bagna ottimamente altri, come il vetro: si mostra a questo proposito uno specchio realizzato su una capsula di vetro.

Cosa si osserva:

- il mercurio forma un menisco convesso indicante che l'angolo di contatto è molto maggiore di 90°;
- in virtù della sua alta tensione superficiale (circa 7 volte quella dell'acqua), la goccia contenuta nella scatola ha un aspetto "panciuto", perché tende a minimizzare la sua superficie;
- la provetta contenente mercurio è molto pesante!



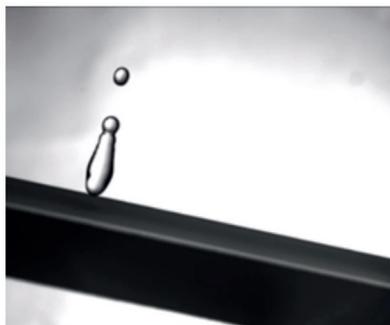
Attività 4. Modifica della superficie per renderla superidrofobica

Descrizione esperimento 1. In questo esperimento si modifica una superficie di cartone, molto idrofila, con un preparato a base di polimeri riciclati ed etil acetato, che una volta spruzzato sul cartone lo renderà superidrofobico, grazie alla deposizione di un film sottile sul solido. A questo punto sulla superficie trattata si fanno scivolare delle gocce d'acqua mediante una spruzzetta.

“Gocce schizzinose: come cambiano le amicizie tra gocce e superfici”

Cosa si osserva. Le gocce d’acqua rimbalzano sulla superficie, senza bagnarla.

Perché. La superficie superidrofobica è caratterizzata da una elevata idrorepellenza, quindi una bassa adesione con l’acqua. Nel momento in cui una goccia d’acqua viene a contatto con tale superficie, non riesce ad aderirvi e quindi a bagnarla. Questo determina un allontanamento della goccia dalla superficie mediante rotolamento o rimbalzi a seconda dell’energia con la quale l’acqua impatta sulla superficie.



Descrizione esperimento 2. In questo esperimento si modifica un pezzo di stoffa, tendenzialmente molto idrofilico, con della cera di candela. Strofinando la candela sulla stoffa e scaldando con un asciugacapelli la parte trattata per uniformare lo strato di cera, la superficie viene modificata influenzandone la bagnabilità.

Cosa si osserva. L’angolo di contatto tra solido e acqua è notevolmente aumentato, si può addirittura osservare come le gocce possano scivolare sulla stoffa trattata senza bagnarla.

Perché. La superficie idrofobica formata con la cera della candela ha una buona idrorepellenza, in quanto la cera è costituita da molecole molto apolari e, per questo, ha una bassa adesione con l’acqua. Quando una goccia d’acqua viene a contatto con la stoffa trattata essa tende a scivolarvi sopra senza bagnarla.

4. “Gocce schizzinose” come laboratorio modulabile

L’esperienza è iniziata come proposta di laboratorio interattivo, accettata ad un festival scientifico di rilevanza nazionale, il Festival della Scienza di Genova, nel 2018¹. Nel tempo, questa esperienza è continuata con l’ideazione di un altro laboratorio al Festival della Scienza, il laboratorio “IntrappolAria”², riguardante schiume ed emulsioni, fortemente correlato alle stesse tematiche e di grande interesse tecnologico. Al contempo, le attività sono state presentate ad altri eventi divulgativi, rimodulandole di volta in volta a seconda dell’evento,

¹ <http://festival2018.festivalscienza.it/site/home/programma-2018/gocce-schizzinose.html>.

² <http://festival2019.festivalscienza.it/site/home/programma-2019/intrappolaria.html>.

del tipo di pubblico e del tempo assegnato. Ad oggi, sono stati realizzati una decina di laboratori didattici³, che hanno visto la partecipazione di oltre 3200 persone (tabella 1), in prevalenza, ma non esclusivamente, studenti degli istituti comprensivi, a cui si rivolge prevalentemente questo contenuto scientifico. Altri laboratori sono già programmati e di prossima realizzazione.

Anno	Evento in presenza	Visitatori
2018	Festival della Scienza	1094
2019	Festival della Scienza	1931
2019	Dal banco di scuola...	30 ^(*)
2019	Che festival	30 ^(*)
2019	Festival dello Spazio Junior	30 ^(*) x 3 = 90
2021	Notte Europea dei Ricercatori	10 ^(**)
2022	Progetto Scuola di Genova Cornigliano	30 ^(*)
2022	Fiera Didacta Italia	26

^(*) 1 classe = 30 persone.

^(**) limitazioni causa pandemia di Covid-19

Tabella 1

Elenco dei laboratori realizzati, con riferimenti temporali e numero di partecipanti

Oltre ai laboratori didattici, l'attività divulgativa si è allargata nel tempo ad altre modalità, come realizzazione di video⁴, formazione insegnanti⁵, fino alla progettazione di kit didattici, in fase di realizzazione⁶ in collaborazione con

³ <https://www.festivaldellospazio.com/il-festival-junior-2019/>; <https://chefestival.it/>; <https://www.sharper-night.it/evento/laboratorio-gocce-e-bolle/>; https://www.cnr.it/it/evento/17822?fbclid=IwAR07G_JanyDvxo3Dd4CRxJ2lR1kQyPkC8R8X0epVEGi0wkLEL0pBSOqXNQA.

⁴ https://www.youtube.com/watch?v=yEX_LgovUP0&list=PLajkmLXJqxoXc24nR_zqj4Qtoc8_4fBZu&index=3; https://www.youtube.com/watch?v=35OCnziaw2Q&list=PLajkmLXJqxoXc24nR_zqj4Qtoc8_4fBZu&index=6.

⁵ <https://fieradidacta.indire.it/eventi/gocce-e-bolle/>; <https://www.cnr.it/it/evento/17889/didacta-2022>.

⁶ <http://sciencebox.cnr.it/index.php/sci-box/goccebolle>.

“Gocce schizzinose: come cambiano le amicizie tra gocce e superfici”

l'Unità Comunicazione del CNR, da proporre agli istituti scolastici, per permettere la fruizione dei contenuti al più vasto pubblico possibile.

Lo scopo ultimo dell'attività divulgativa è diffondere il sapere, oltre che far conoscere le attività di ricerca del CNR svolte all'interno dell'istituto di cui facciamo parte e, più in generale, mostrare come il lavoro dell'istituto sia di fondamentale importanza per il costante miglioramento della qualità della vita e per realizzare materiali sempre più sostenibili dal punto di vista ambientale.

Conclusioni

Il laboratorio interattivo “Gocce schizzinose” permette di capire come le proprietà interfacciali dei liquidi (la tensione interfacciale e la bagnabilità) siano di grande interesse in svariati campi industriali, a partire dall'alimentare fino a giungere all'edilizia e all'aerospaziale. I partecipanti al laboratorio hanno modo di comprendere come attività apparentemente molto diverse siano accomunate dallo stesso filo conduttore. In particolare, si impara che le gocce possono essere formate da materiali molto diversi dall'acqua, ma capaci di bagnare una superficie allo stesso modo dell'acqua. Un altro aspetto interessante che viene affrontato è la modifica delle superfici per variarne la bagnabilità. In questo modo si riesce a capire l'importanza del comportamento delle gocce sia nella vita di tutti i giorni sia in campo industriale.

A partire dalla presentazione di “Gocce schizzinose” ai primi eventi divulgativi, è risultato evidente che il punto di forza del laboratorio consiste nella possibilità, da parte dei partecipanti, di svolgere direttamente gli esperimenti scientifici e di utilizzare strumentazione che tipicamente si trova in un laboratorio chimico. Per questo motivo, sono stati ideati altri laboratori sulle stesse tematiche, sempre di tipo hands on, in particolare sulle schiume liquide e le emulsioni, strettamente correlate. Col tempo e con la realizzazione di più laboratori a diversi eventi, è stato aumentato il numero di esperimenti per permettere lo sviluppo del laboratorio verso la realizzazione di un kit didattico più ampio, di prossima realizzazione, per svolgere diverse tipologie di esperimenti aventi come comune denominatore le proprietà di “gocce” e “bolle”.