

# Consolidamento del concetto di soluzione attraverso un'esperienza laboratoriale<sup>1</sup>

**Fabiola Toncelli**

*Liceo scientifico del Liceo Statale Enrico Fermi di Cecina (LI),  
Docente di Scienze naturali, chimica e biologia*

**Patrizia Nocchi**

*Liceo scientifico del Liceo Statale Enrico Fermi di Cecina (LI),  
Docente di Italiano e latino*

**Massimiliano Volpi**

*Liceo scientifico del Liceo Statale Enrico Fermi di Cecina (LI),  
Docente di Lingua e civiltà straniera (inglese)*

e-mail: [patrizianocchi@fermicecina.it](mailto:patrizianocchi@fermicecina.it)

---

**Abstract.** The students of two classes of a scientific high school have been working on a project whose aim was to make them fully understand the fundamental ideas of solution and of other new chemical concepts. The students had to reflect on a question posed by their teachers: why any limoncello is always murky. To find an answer, they took advantage of their teacher's theoretical explanations, read books and used a laboratory approach which led them to be engaged in practical activities.

Since the idea of this project was born in 2020 and went on in the years following, its side purpose was to help pupils restore those social relationships the COVID-19 pandemic had undermined.

Each part of the whole project has been carried out bearing in mind the following distinctive sequence: observation - individual verbalization - collective verbalization - shared conclusion.

**Keywords:** miscugli; colloidi; soluzioni; effetto Tyndall; sistemi ouzo

---

## 1. Introduzione

L'idea del progetto è nata con lo scopo di valutare l'effettivo apprendimento del concetto di "soluzione", alla fine del biennio del liceo. Pertanto, nel mese di maggio dell'a.s. 2020/2021, l'insegnante ha proposto agli studenti della seconda classe un compito di realtà:

*"Aiutare la signora Anna, ultranovantenne, a ottenere un limoncello limpido, dal momento che quando lo prepara risulta sempre torbido e per questo non le sembra un prodotto attrattivo".*

---

<sup>1</sup> Con la partecipazione degli alunni della classe 4A e della classe 4B.

I ragazzi hanno lavorato in piccoli gruppi durante l'estate, facendo esperimenti e formulando ipotesi per giungere alla soluzione del quesito. Nel mese di settembre 2021, tornati dalle vacanze, i diversi gruppi hanno presentato i loro lavori in classe, confrontando anche i limoncelli prodotti, esponendo le eventuali modifiche apportate al percorso standard ed esponendo le loro considerazioni. Questa fase ha permesso loro di apprendere meglio il significato di "miscuglio", "torbidità", "limpidezza", "soluzione", "colloide" ed "emulsione".

Il concetto di "soluzione", infatti, non è semplice da acquisire ed è abbastanza frequente trovare ancora nel triennio studenti che usano il termine in maniera non appropriata, anche nel caso di un percorso scolastico lineare e adeguato. Inoltre, negli anni scolastici 2020/21 e 2021/22, a causa della situazione pandemica, gli studenti hanno usufruito di una didattica piuttosto insolita, caratterizzata da periodi di Didattica a Distanza e altri di Didattica Digitale Integrata.

La situazione non garantiva, quindi, la giusta introduzione allo studio della chimica del primo biennio; quest'ultimo, infatti, si dovrebbe basare su un approccio fenomenologico-induttivo da svolgere in laboratorio, metodo che apre nuovi scenari per uno studio ragionato della chimica e che sfrutta la curiosità e la propensione alla "scoperta", caratteristiche tipiche dell'età adolescenziale.

Il lavoro assegnato, che partiva dalla semplice osservazione di fenomeni che sono alla base di importanti nodi concettuali, si rendeva utile anche per interrompere la situazione di isolamento, nella quale i giovani si sono trovati, offrendo loro un pretesto per poter tornare ad incontrarsi, facendo esperimenti, formulando e verificando ipotesi, discutendo insieme per arrivare a definizioni operative, frutto della sperimentazione e, successivamente, della rielaborazione collettiva. In tale contesto tutti gli studenti hanno avuto un ruolo attivo nel processo di costruzione delle idee.

Gli obiettivi di questa indagine sono stati:

- imparare a osservare la realtà che ci circonda
- scomporre una problematica in tanti sottoproblemi
- usare un linguaggio rigoroso e appropriato, valutando l'importanza dell'uso dei termini corretti
- cercare di dare un'interpretazione dei fenomeni osservati
- imparare a confrontare le proprie idee con quelle degli altri, comprendendo il valore del lavoro collaborativo
- imparare a scrivere un articolo scientifico, collaborando con studenti di classi diverse
- imparare a usare piattaforme on-line per presentare elaborati in maniera più coinvolgente
- capire l'importanza di una comunicazione efficace

## 2. Materiali e metodi

La metodologia utilizzata è partita dall'esperienza diretta degli alunni (tramite attività pratiche svolte nel periodo estivo in piccoli gruppi), successivamente ci sono state discussioni in classe, spiegazioni del docente e le considerazioni finali.

In particolare, la sequenza è stata: osservazione - verbalizzazione individuale - verbalizzazione collettiva e conclusioni collettive.

Lo studio ha visto la partecipazione di due classi (inizialmente seconde), composte da studenti di età compresa tra i 16 e i 17 anni.

### 2.1 Fase di consegna del compito di realtà

L'insegnante di Scienze naturali ha proposto agli studenti di due classi seconde (2A e 2B) di indagare sui concetti di "miscuglio", "soluzione" e "colloide" e ha presentato loro un compito di realtà dal titolo "Il problema della torbidità del limoncello". Il lavoro è stato assegnato su Classroom di Google Suite della Scuola, in data 25 maggio 2021; la consegna è stata fissata per il giorno 15 settembre, all'inizio dell'anno successivo.

---

### Situazione problematica (engagement)

#### *Problema del limoncello*

*La signora Anna, ultranovantenne, da anni prepara il limoncello con la ricetta riportata di seguito e me ne fa dono, ma tutte le volte che mi dà una bottiglietta è mortificata perché mi dice che "anche questa volta ha un aspetto torbido", però mi assicura che è molto buono. È proprio vero, è veramente buono! Per questo ho promesso alla signora Anna che farò indagare i miei studenti sul perché della torbidità e saprò dirle se il risultato può essere corretto, cioè se può ottenere, con qualche accorgimento, un limoncello limpido. Dobbiamo scoprire il colpevole di tale torbidità!*

*Sapresti risolvere il mistero?*

La ricetta della signora Anna "per fare un buon limoncello" è la seguente.

#### Ingredienti

- nove limoni non trattati;
- 1 litro di alcol puro al 95%;
- 800 grammi di zucchero;
- 1,25 litri di acqua

#### Procedimento

1. Dopo aver lavato bene i limoni, asciugarli e sbucciarli servendosi di un pelsa patate, lasciando la parte bianca della buccia, che darebbe al liquore un sapore troppo amaro.

2. Tagliare a piccole listarelle le scorze e poi metterle a macerare insieme all'alcol in un barattolo di vetro chiuso ermeticamente. Riporre il contenitore in un luogo fresco e al riparo dalla luce e lasciarlo riposare per otto/dieci giorni.
3. Mettere sul fuoco una pentola contenente l'acqua e appena inizia a bollire, spegnere il fuoco. Aggiungere tutto lo zucchero e mescolare per farlo sciogliere e lasciare raffreddare.
4. Unire le due miscele e con una schiumarola togliere le bucce.
5. Con un pestello schiacciare le bucce e filtrare il poco liquido ottenuto con un colino a trama stretta e inserirlo all'interno della miscela.

**Prima parte:** Vi chiedo di formare dei gruppi di circa tre alunni e di progettare degli esperimenti da eseguire per comprendere il processo e rispondere al quesito della signora Anna

---

Nella prima fase conoscitiva gli studenti sono stati invitati a non consultare il web, alla ricerca di soluzioni frettolose; se fossero stati ancora incuriositi, avrebbero potuto fare una ricerca con l'aiuto di internet, ma solo nella fase finale.

### **2.2 Fase di formazione dei gruppi di lavoro e organizzazione del lavoro**

Gli studenti si sono divisi in piccoli gruppi di 2/3 persone, in maniera spontanea, e hanno seguito il seguente schema di organizzazione del lavoro:

- formulare l'ipotesi per ottenere una soluzione del problema;
- progettare un esperimento e trovare la procedura da seguire;
- fare un elenco del materiale necessario per svolgere l'indagine;
- prevedere i risultati possibili

### **2.3 Fase di presentazione dei lavori**

Alla fine del lavoro di ricerca, svolto durante l'estate, a settembre, i ragazzi hanno presentato le loro osservazioni alla classe in un tempo di circa 40 minuti, dando origine a discussioni collettive, verbalizzate da 2 alunni, nominati come segretari. La metodologia seguita è stata quella della flipped-classroom, in cui lo studente diventa promulgatore del proprio lavoro, diventando momentaneamente docente. Le argomentazioni sono state autonome, ma sempre sotto la supervisione dell'insegnante che interviene anche per fare approfondimenti su argomenti che, fino a quel momento, non sono ancora stati affrontati durante il percorso scolastico.

Di seguito si riportano i tratti salienti di alcuni lavori degli studenti, nei quali in modo schematico sono evidenziate le conclusioni e le eventuali personalizzazioni.

### 3. Elaborati della classe 3A

*Primo lavoro (studenti: Montanelli, Morelli)*

Ipotesi della torbidità: è causata dal breve tempo di macerazione e dalla poca cura nello sbucciare i limoni.

Modifiche al procedimento originale: maggiore cura nello sbucciare i limoni e prolungamento del tempo di macerazione delle bucce fino a 14 giorni.

Osservazioni conclusive: l'ipotesi si è rivelata errata, in quanto il prodotto finale è risultato maggiormente torbido.

<https://view.genial.ly/6116300c6e78180db9a947ac/presentation-problema-del-limoncello>

*Secondo lavoro (studenti: Falleni, Volpi)*

Ipotesi della torbidità: è causata dalla miscelazione dell'alcol con le scorze di limone.

Modifiche al procedimento originale: nessuna

Osservazioni conclusive: nelle scorze di limone sono presenti degli olii che, mischiati insieme all'alcol e all'acqua, danno vita all'effetto ouzo.

<https://view.genial.ly/613c6422124b880d527e836b/presentation-il-questo-del-limoncello>

*Terzo e quarto lavoro (studenti: Boni, Niccolini, Pellegrini, Biondi, Pazzaglia)*

Ipotesi della torbidità: è causata dalla sequenza di aggiunta degli ingredienti.

Modifiche al procedimento originale: cambiamento dell'ordine di aggiunta degli ingredienti.

Sono stati uniti prima l'alcol con lo zucchero (è stato notato che in questa fase la miscela rimane limpida) e solo in seguito l'acqua con le scorze di limone (è stato visto che in questa fase la miscela invece risulta torbida). Un'altra modifica al procedimento è stata quella di aumentare la quantità di alcol.

Osservazioni conclusive: la torbidità non dipende né dal rapporto dell'acqua con lo zucchero, né dal rapporto dell'alcol con le scorze di limone e né dal rapporto dell'alcol con lo zucchero, ma dipende dall'unione dell'acqua con le scorze di limone. Queste osservazioni hanno portato alla scoperta del limonene nelle bucce di limone, un idrocarburo appartenente alla classe dei terpeni che non si scioglie in acqua, ma solo nell'alcol, poiché le molecole dell'acqua sono fortemente polari, mentre le molecole del limonene sono apolari. Il secondo esperimento ha portato a osservare che una maggiore quantità di alcol porta a una minore torbidità.

<https://view.genial.ly/6139c389efed6c0dda8c922c/presentation-il-limoncello>

<https://view.genial.ly/613f7817844c040e0400e1c1/presentation-il-problema-del-limoncello>

[https://drive.google.com/file/d/1A1yfx7RKeC4kiN025X2L\\_ftbs3hnfHhq/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1A1yfx7RKeC4kiN025X2L_ftbs3hnfHhq/view?usp=sharing)

*Quinto lavoro (studenti: Sovran, Stefanini, Calò, Di Martino)*

Ipotesi della torbidità: è causata da una sostanza presente nella buccia del limone quando questa viene a contatto con l'acqua.

Modifiche al procedimento originale: diminuzione del tempo di macerazione delle scorze di limone a cinque giorni

Osservazioni conclusive: la miscela proposta rimane comunque torbida

*Sesto e settimo lavoro (studenti: Cavallini, Ferri, Camus)*

Ipotesi della torbidità: è causata dall'interazione tra lo zucchero e l'alcol o tra le scorze di limone e l'alcol.

Modifiche al procedimento originale: cambio dell'ordine di aggiunta degli ingredienti, unione dell'acqua con le bucce di limone e poi dell'alcol con lo zucchero. Filtraggio del limoncello con un panno a maglia stretta.

Osservazioni conclusive: non è stata raggiunta la limpidezza con nessuna modifica al procedimento.

<https://view.genial.ly/614711e72c6ff60ddba8e03f/presentation-il-problema-del-limoncello>

*Ottavo lavoro (studenti: Frongillo, Nicotra, Bernardeschi)*

Ipotesi della torbidità: è causata dalla presenza di una sostanza all'interno delle bucce che rende torbida la miscela oppure dall'unione dell'alcol con lo zucchero.

Modifiche al procedimento originale: maggiore cura nello sbucciare i limoni, formando listelli di uguali dimensioni

Osservazioni conclusive: le bucce di limone, dopo il contatto con l'alcol, sono sbiadite mentre l'alcol è diventato giallo; la limpidezza richiesta non è stata raggiunta neppure con la modifica apportata.

*Nono lavoro (studenti: Chiappi, Felli, Morabito) e Decimo Lavoro (Studenti: Melani, Spagnoli)*

Ipotesi della torbidità: è causata dall'unione di acqua e le scorze di limone o etanolo e le scorze di limone.

Modifiche al procedimento originale: nessuna

Osservazioni conclusive: la torbidità è data dall'unione di acqua e scorze di limone.

È stato svolto uno studio della parola "torbidità" attraverso l'uso del vocabolario e la definizione emersa è la seguente: "sospensione di alcune particelle in un liquido". Le particelle sembrerebbero essere contenute nelle bucce del limone e probabilmente sono queste che rimangono in sospensione in acqua! Dopo ricerche su internet è stato scoperto il limonene con l'effetto ouzo.

<https://view.genial.ly/613735aac2a41a0e03373d02/presentation-limocello-chiappi-felli-morabito>

#### **4. Elaborati della classe 3B**

*Primo lavoro (studenti: Abasta, Lozzi, Santucci) e secondo lavoro (studenti: Martellacci, Massa, Camerini)*

Ipotesi della torbidità: è causata dalla mescolanza tra scorze di limone e acqua e dalla mescolanza tra zucchero e alcol.

Modifiche al procedimento originale: nessuna

Osservazioni conclusive: per ottenere un limoncello limpido si dovrà cambiare il procedimento nella macerazione.

*Terzo lavoro (studenti: Colombaro, Tozzini, Mosca)*

Ipotesi della torbidità: è causata dalla temperatura esterna.

Modifiche al procedimento originale: un limoncello viene lasciato a riposare in frigo e uno a temperatura ambiente.

Osservazioni conclusive: mentre il limoncello lasciato in frigo è rimasto torbido, il secondo si è stratificato, formando uno strato più trasparente sul fondo e uno più giallo sopra; alla bocca della bottiglia, è stata osservata un'area con olii traslucidi e residui. Sulla base di queste osservazioni, si può affermare che la causa della torbidità sono le scorze di limone che non si legano bene con gli altri ingredienti per le loro proprietà chimiche.

*Quarto lavoro (studenti: Dini, Torsella)*

Ipotesi della torbidità: è causata da particolari sostanze presenti nelle bucce di limone che si trovano a contatto con l'acqua.

Modifiche al procedimento originale: l'acqua è stata fatta bollire e, in seguito, a fuoco spento, sono stati aggiunti l'alcol, lo zucchero e le bucce di limone lasciate a macerare.

Osservazioni conclusive: il limoncello rimane torbido.

*Quinto lavoro (studenti: Maione, Doneddu, Manciuilli)*

Ipotesi della torbidità: è causata dalla breve durata della macerazione, oppure dalla troppa quantità di acqua.

Modifiche al procedimento originale: prolungamento della macerazione fino a 1 mese e mezzo nel primo esperimento e diminuzione della quantità di acqua a 0,75 L nel secondo esperimento.

Osservazioni conclusive: nel primo esperimento il limoncello rimane torbido, mentre nel secondo la torbidità diminuisce. Per ottenere un limoncello non torbido si deve mettere una quantità d'acqua molto inferiore rispetto all'alcol, ottenendo un limoncello molto alcolico e, quindi, imbevibile.

*Sesto lavoro (studenti: Buti, Gambini, Ulivi)*

Ipotesi della torbidità: è causata da una quantità errata degli ingredienti.

Modifiche al procedimento originale: sono stati proposte diverse varianti dai componenti del gruppo. Le varianti consistono nella modifica della quantità dei limoni sbucciati, nella variazione della quantità di alcol, nel tempo di macerazione, nella quantità di acqua e di zucchero.

Osservazioni conclusive: per ottenere un limoncello limpido è necessaria una quantità di alcol superiore a quella dell'acqua. Pertanto, ottenere un limoncello non torbido con il medesimo sapore di quello torbido è impossibile.

*Settimo lavoro (Studenti: Tinagli, Giannoni)*

Ipotesi della torbidità: è causata da un errato rapporto tra alcol e acqua.

Modifiche al procedimento originale: dopo aver seguito la ricetta della signora Anna, è stato realizzato il limoncello secondo la ricetta della mamma di Filippo. La mamma di Filippo, durante la macerazione, pone le bucce in una soluzione composta da 50% di acqua e 50% di alcol.

Osservazioni conclusive: il limoncello della mamma di Filippo è vistosamente più trasparente. Per appurare che il limoncello della mamma di Filippo fosse una soluzione, è stato messo in un bicchiere di vetro davanti a uno sfondo nero e sul bicchiere è stata proiettata una luce laser di colore rosso. All'interno del bicchiere si è osservato un particolare fenomeno di diffusione della luce, dovuto a particelle di particolari dimensioni. Questo effetto è chiamato "Effetto Tyndall" e contraddistingue i colloidali dalle soluzioni. Pertanto, il limoncello realizzato non risulta una soluzione, ma una emulsione.

*Ottavo lavoro (studenti: Fargion, Gazzarri, Geppi, Ciaffone)*

Ipotesi della torbidità: è causata da una scarsa solubilità di un componente presente nelle scorze del limone.

Modifiche al procedimento originale: modifiche all'ordine di aggiunta degli ingredienti.

Osservazioni conclusive: se l'acqua viene aggiunta all'alcol e alle bucce senza lo zucchero, la soluzione si presenta limpida.

## **5. Relazione finale delle classi**

In seguito ad un'ampia discussione, dopo le presentazioni dei lavori, anche grazie alle osservazioni emerse fra i compagni e agli interventi del docente, sono state prodotte da ogni classe le relazioni finali per mezzo di documenti Google condivisi.

Si riportano i pensieri condivisi dei ragazzi, frutto dell'esperienza affrontata.

Abbiamo capito che la torbidità è data da una sostanza che si trova nelle bucce del limone: il limonene. Questo, a contatto con l'acqua, dà origine ad emulsioni spontanee. Questo effetto è detto effetto ouzo. Con i mezzi che abbiamo non siamo riusciti ad arrivare a produrre un limoncello limpido, ma non escludiamo che ci sia un metodo per ottenerlo. Secondo le nostre conclusioni, la signora Anna, per non alterare né il sapore né la ricetta, dovrebbe continuare a seguire il proprio metodo di produzione del limoncello. Inoltre, sosteniamo che l'esperienza fatta sia stata divertente e abbia aiutato tutti a comprendere meglio la chimica. Noi crediamo, infatti, che di questa materia siano importanti le fasi pratiche; tali fasi, purtroppo, non possono essere sempre esegui-

te in classe: per tale ragione siamo stati contenti di “sporcarci le mani” con la chimica e siamo pronti a farlo di nuovo.

## 6. Risultati ottenuti in termini di conoscenze acquisite

Dopo l'esperienza del limoncello, fatta nell'estate della classe seconda, e lo studio della struttura tridimensionale di una molecola, durante la classe terza, gli studenti, a partire dall'inizio della classe quarta, hanno approfondito nuovamente il concetto di soluzione e di concentrazione, studiando le relative proprietà colligative. Dall'esperienza di questi tre anni, dopo la condivisione dei risultati, le ampie discussioni guidate dal docente, la rielaborazione critica e alla luce di nuove conoscenze teoriche acquisite, i ragazzi possono affermare di avere una buona conoscenza riguardo agli argomenti di seguito riportati.

### *Il limonene*

Il limonene è un idrocarburo ciclico (molecola costituita solo da atomi di carbonio e idrogeno che nello spazio forma un ciclo), volatile, classificato come monoterpene ciclico. È un liquido incolore con odore caratteristico e con formula molecolare  $C_{10}H_{16}$ , massa molecolare pari a 136,23 u, un punto di ebollizione di 178 °C, un punto di fusione di -74 °C e densità relativa uguale a 0,84 g/cm<sup>3</sup>.

### *Effetto ouzo*

L'ipotesi della torbidità del limoncello è nata dopo la seguente osservazione: l'acqua e l'etanolo sono completamente miscibili tra di loro (solubili l'uno nell'altro), così come lo sono il limonene e l'etanolo, ma il limonene e l'acqua lo sono appena. Al momento della combinazione di questi tre liquidi, si produce spontaneamente una “emulsione”: una sospensione di minuscole goccioline di un liquido nell'altro. I ragazzi, approfondendo l'argomento, hanno appreso che “*tuttavia, questo accade in alcuni specifici intervalli di composizione*” e ciò ha portato allo studio dei diagrammi trifasici e dell'*effetto ouzo*. Questo fenomeno di formazione spontanea di emulsioni prende il nome dall'omonimo liquore mediterraneo che diventa subito torbido quando viene mescolato con l'acqua, formando un'emulsione. L'ouzo, dal punto di vista scientifico, è infatti abbastanza simile al limoncello, essendo costituito di acqua, etanolo e anetolo, un componente aromatizzante che, come il limonene, è altamente solubile nell'etanolo, ma solo leggermente solubile in acqua.

### *Differenza tra i sistemi ouzo e le emulsioni tipiche*

In contrasto con i sistemi ouzo, le emulsioni classiche richiedono un input energetico molto elevato, come lo shakerare o il mescolare; un esempio di emulsione è la maionese, preparata mescolando con molta energia un olio vegetale e tuorlo d'uovo, contenente acqua. Un'altra differenza fra i sistemi ouzo e le emulsioni classiche è l'assenza di qualsiasi agente stabilizzante. La lecitina e le proteine, presenti nel tuorlo d'uovo, sono altresì necessarie per stabilizzare l'emulsione.

### **Importanza dei sistemi ouzo**

I sistemi ouzo vengono utilizzati nei processi industriali, come la produzione di polimeri, al posto delle emulsioni tipiche, perché richiedono un piccolissimo apporto energetico che rende il processo più efficiente e sostenibile. Inoltre, l'estrazione del polimero e dei catalizzatori risulta essere molto più semplice, dato che i componenti si possono separare facilmente. Un'altra applicazione di tali sistemi è quella usata nei pesticidi per consentire a questi prodotti insolubili in acqua di essere diluiti e sparsi sui terreni, evitando di introdurre nell'ambiente tensioattivi che sono dannosi.

### **Molecole chirali e il doppio odore del limoncello**

Durante l'esperienza, sono stati percepiti due odori diversi della stessa molecola, per cui sono emerse delle domande sul motivo di tale fenomeno e, cioè, se ciò dipendesse dalla molecola o dalla percezione olfattiva nei vari momenti della giornata. L'indagine ha condotto al concetto di molecole chirali e, nonostante fosse prematuro affrontare tale argomento con studenti di classe terza superiore, esso è stato comunque in parte trattato dal docente.

Le molecole chirali sono molecole non sovrapponibili, l'una l'immagine speculare dell'altra nelle tre dimensioni, con la stessa formula molecolare e fanno parte dell'argomento simmetrie molecolari.

Il limonene è una di queste molecole, è chirale e si può presentare nelle forme enantiomere destrogira e levogira (Figura 1) e nella forma racema, detta anche dipentenica. I due enantiomeri hanno odori differenti: odore di arancia per l'enantiomero R e di trementina per l'enantiomero S. La principale forma, presente in natura e di maggior interesse in campo industriale e merceologico, è l'R-limonene.

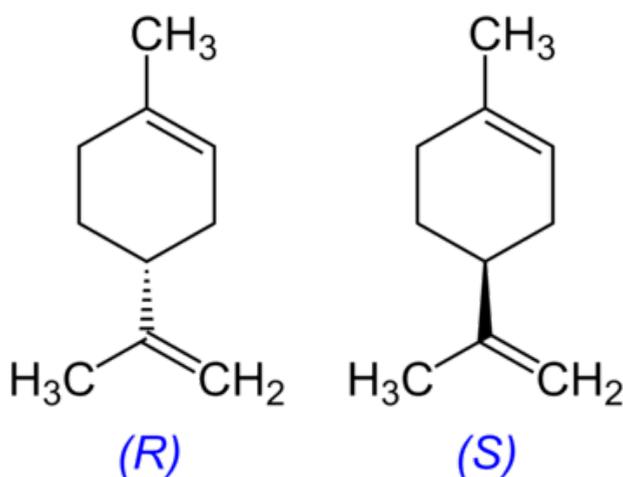


Figura 1. I due enantiomeri del limonene: R-(+)-4-isopropenil-1-metil-1-cicloesene e S-(-)-4-isopropenil-1-metil-1-cicloesene (<https://it.wikipedia.org/wiki/Limonene>)

Il fatto che i due enantiomeri vengano percepiti in modo diverso è prova che, nel sistema olfattivo, vi sono dei recettori chirali che permettono una risposta diversa a seconda dell'enantiomero che percepiscono, cosa che non accade comunque per tutte le coppie di enantiomeri presenti in natura.

### ***Effetto Tyndall***

L'effetto Tyndall, così chiamato in onore dello scienziato inglese John Tyndall, consiste nella dispersione della luce da parte dei colloidi contenenti particelle di dimensione compresa tra un nanometro e un micrometro; nelle soluzioni, invece, l'effetto Tyndall non si verifica, in quanto i soluti sono troppo piccoli per poter disperdere la luce. Presa, per esempio, la luce rossa di un laser, essa sarà visibile quando attraversa una dispersione colloidale, mentre non lo sarà quando attraversa una soluzione.

### ***Maggiore conoscenza di strumenti informatici e matematici***

Gli studenti, per la preparazione dei loro elaborati, hanno utilizzato presentazioni multimediali, tabelle a doppia entrata, hanno prodotto video e usato piattaforme web.

## **7. Considerazioni finali**

Alla fine di questo percorso, possiamo concludere che il limoncello, sulla base di tutte le ricerche, compresa quella della signora Anna, e delle esperienze eseguite, non può essere limpido.

Questo lungo e impegnativo lavoro, richiamato ogni qualvolta fosse necessario all'interno del programma di chimica, ha condotto gli studenti a riflettere soprattutto su come deve essere affrontato l'apprendimento della materia, cioè riprendendo nel tempo più volte gli stessi concetti. I ragazzi hanno potuto capire anche l'importanza della collaborazione nei lavori di gruppo e dell'arricchimento che ne consegue, situazione venuta meno nel periodo di Covid che ha portato a un inevitabile isolamento.

### **Alcuni riferimenti di interesse**

<https://www.fondazioneveronesi.it/magazine/articoli/alimentazione/del-limone-e-la-scorza-la-parte-piu-benefica>.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775703003315>

<https://www.scienceinschool.org/it/article/2020/limoncello-and-science-emulsions-it/#:~:text=L'acqua%20e%20l'etanolo,di%20un%20liquido%20nell'altro.>

<https://www.chimicamo.org/chimica-fisica/diagramma-di-fase-a-tre-componenti/>

<https://www.libreriauniversitaria.it/chimica-blu-materia-elettrochimica-scuole/libro/9788808725271>

L. Chiappisi, I. Grillo, Looking into limoncello: the structure of the Italian liquor revealed by small-angle neutron scattering, *ACS Omega*, 2018, **3** 15407-15415 (<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsomega.8b01858>).

<https://it.wikipedia.org/wiki/Limonene>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Carvone>