

**Agata Buemi**

Liceo statale "Enrico Boggio Lera" di Catania

✉ [abuemi@liceoboggiolera.edu.it](mailto:abuemi@liceoboggiolera.edu.it)

# Un percorso didattico per svelare la chimica di un esperimento spettacolare

**RIASSUNTO** Lo spettacolare esperimento di "magia chimica" noto come Golden Rain, semplice precipitazione e ricristallizzazione del diioduro di piombo, risulta particolarmente utile nella pratica didattica per i suoi innumerevoli agganci ad argomenti cardine del programma scolastico di Chimica Inorganica (solubilità, cristallizzazione, precipitazione, prodotto di solubilità, equilibri di solubilità, Principio di Le Châtelier), nonché per coinvolgere gli studenti in calcoli stechiometrici mirati. È stato, pertanto, realizzato un percorso didattico per sfruttare tali potenzialità.

**ABSTRACT** The spectacular experiment of exhibition chemistry, known as Golden Rain, simple precipitation and recrystallization of lead iodide, is particularly useful in teaching practice because of its innumerable connections to key topics of the school program of Inorganic Chemistry (solubility, crystallization, precipitation, solubility product, solubility equilibria, Le Châtelier's Principle), as well as to enable students to carry out focused stoichiometric calculations. A teaching path has been developed in order to take advantage of this potential.

## Introduzione

In questo lavoro viene presentato un percorso didattico incentrato su un esperimento noto con il nome di "Golden Rain", che consiste nella precipitazione del diioduro di piombo e nella sua successiva ricristallizzazione.

È stato sviluppato per classi del liceo scientifico indirizzo scienze applicate. L'occasione è stata fornita dall'interesse suscitato dall'esperimento quando è stato da me eseguito per la prima volta nel liceo in cui insegno. La beuta con i cristalli di diioduro di piombo è rimasta sotto cappa in laboratorio e, tra un'ora di lezione e l'altra, ha attirato l'attenzione di colleghi e studenti, nonché numerose richieste di spiegazioni ed approfondimenti su dettagli procedurali e teorici relativi principalmente alla seconda fase dell'esperienza. Tradizionalmente, infatti, nelle attività didattiche la reazione di precipitazione del diioduro di piombo viene presentata in provetta insieme alle classiche reazioni di precipitazione, mentre è meno nota, come pratica didattica, la possibilità di sviluppare la successiva ricristallizzazione con il caratteristico effetto "pioggia dorata", che fa includere l'esperienza tra gli esperimenti di "magia chimica" [1].

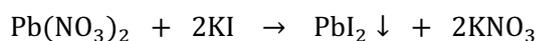
Il gradimento riscontrato, le molteplici richieste di chiarimenti teorici successivi alla realizzazione dell'esperimento e la volontà di collegarlo ai contenuti disciplinari hanno portato, quindi, alla realizzazione di questo lavoro.

L'esperimento è stato eseguito sia in una classe seconda sia in una classe quarta del liceo scientifico indirizzo scienze applicate. Il successo riscosso lo ha reso ideale come fase di *engage* in un percorso didattico, inquadrabile nell'ambito IBSE<sup>1</sup> [2] [3], che è stato abbozzato estemporaneamente e portato avanti, esclusivamente con la classe quarta, nelle modalità che saranno esposte in questo articolo.

<sup>1</sup> Inquiry-Based Science Education

### Esperimento

L'esperimento conosciuto come "golden rain", "pioggia d'oro" o "pioggia dorata", consiste nella precipitazione, per reazione tra ioduro di potassio e nitrato di piombo, di diioduro di piombo



e nella successiva ricristallizzazione nello stesso recipiente in cui è avvenuta la precipitazione.

Il suo impiego nell'ambito della spettacolarizzazione della Chimica, tra gli esperimenti di "exhibition chemistry", "magia chimica", è legato alla possibilità di vedere improvvisamente cadere, nell'arco di pochi minuti dalla solubilizzazione del primo precipitato, una pioggia di luccicanti cristalli dorati.

L'esperimento è stato da me messo a punto per la prima volta in occasione della Notte del Liceo Classico 2017. Lo scopo era quello di riuscire ad ottenere questo effetto (con pesate e prelievi eseguiti precedentemente) nell'arco dei 15 - 20 minuti riservati all'esibizione, nel contempo, limitando il più possibile le quantità dei reattivi impiegati. L'esperienza, infatti, doveva essere realizzata più volte per diversi gruppi di visitatori, che si avvicendavano in laboratorio ad intervalli di 45 - 60 minuti.

Le stesse esigenze, sia in termini di tempo che di consumo di reagenti, si presentano quando si lavora con gli studenti in un laboratorio liceale. Il tempo a disposizione, infatti, generalmente corrisponde ad una sola unità oraria di lezione e le classi vengono organizzate in gruppi di lavoro di due o tre studenti.

### Procedimento

In una beuta da 100 mL vengono solubilizzati 0,15 g di KI in 50 mL di acqua. Si pesano, direttamente in becher da 100 mL, 0,15 g di  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  che vengono solubilizzati in 50 mL d'acqua. La soluzione di nitrato viene aggiunta a quella di ioduro, ottenendo la formazione di un precipitato giallo. Si riscalda su piastra per solubilizzare il precipitato, evitando di raggiungere l'ebollizione. In caso di soluzione torbida, si aggiungono 1-2 gocce di HCl al 30% v/v. Si lascia raffreddare, eventualmente usando un bagno di acqua fredda, e nell'arco di una decina di minuti si formano gran parte dei cristalli.

### Attività svolte

Nel periodo in cui si è svolta l'attività, a causa delle norme COVID vigenti, solo metà degli alunni ha realizzato l'esperimento in laboratorio, il restante 50% ha partecipato a distanza. In pratica gli allievi hanno

lavorato in gruppi composti da uno o due alunni in presenza, collegati ciascuno con un compagno a distanza, tramite video-chiamata con smartphone completamente rivestito con pellicola per alimenti, onde evitare qualsiasi contaminazione.

Gli studenti prima di recarsi in laboratorio sono stati informati che avrebbero realizzato una reazione di precipitazione e che avrebbero dovuto annotare con attenzione dati e osservazioni, operando secondo le seguenti istruzioni, fornite in copia digitale a ciascuno di loro:

1. *Accendere la piastra riscaldante.*
2. *Pesare 0,15 g di nitrato di piombo direttamente in un becher e 0,15 g di ioduro di potassio su vetrino d'orologio.*
3. *Aggiungere 50 mL d'acqua al becher contenente il nitrato di piombo e solubilizzare il sale; trasferire in una beuta da 100 mL la quantità di ioduro di potassio pesata, aggiungere 50 mL d'acqua e solubilizzare il solido.*
4. *Aggiungere, all'inizio "goccia a goccia" con pipetta, alla fine travasando, la soluzione di nitrato a quella di ioduro e non viceversa.*
5. *Mettere la beuta sulla piastra a riscaldare evitando di raggiungere l'ebollizione: il precipitato si solubilizza.*
6. *Se la soluzione tende a restare torbida, aggiungere qualche goccia di HCl al 30% v/v.*
7. *Togliere dalla piastra e coprire con vetro d'orologio: nell'arco di una decina di minuti si forma gran parte dei cristalli.*

In un momento successivo, durante la lezione partecipata in classe, si è fatto il punto su quanto realizzato, in vista della redazione delle relazioni di laboratorio, soggette a valutazione. La lezione si è focalizzata principalmente sul fatto che l'esperimento consiste di due fasi, precipitazione e ricristallizzazione, raccomandando agli studenti di approfondire con opportune ricerche ogni aspetto teorico correlato all'esperienza (onde inserirlo nella prima parte della relazione), nonché di curare l'interpretazione dei passaggi cruciali del procedimento e dei risultati ottenuti.

La correzione delle relazioni ha evidenziato che gli allievi:

- hanno indicato nei richiami teorici semplicemente le definizioni di reazione di precipitazione, solubilità, cristallizzazione (non come tecnica ma, erroneamente, come transizione di fase), spesso insieme all'equazione chimica della reazione coinvolta, correttamente bilanciata;

- non sono riusciti a curare adeguatamente la sezione di interpretazione.

Circa due settimane dopo, nella lezione di correzione collettiva delle relazioni, si è cercato di guidare, motivare ed incoraggiare gli studenti verso ulteriori approfondimenti interpretativi, facendo presente che gli stessi erano ampiamente alla loro portata, essendo correlati al programma svolto, non solo negli anni precedenti, ma anche in quello in corso. A questo scopo è stato proposto il seguente questionario:

1. *La reazione presenta un reagente in eccesso stechiometrico, qual è? (dimostrare)*
2. *Perché è presente un reagente in eccesso? È necessario l'eccesso di uno specifico reagente, o potremmo utilizzare in eccesso uno qualsiasi dei due reagenti?*
3. *Perché aggiungiamo una soluzione all'altra "goccia a goccia"?*
4. *Perché è preferibile aggiungere il reagente in difetto stechiometrico all'altro e non viceversa?*
5. *Quali sono i problemi creati da un precipitato colloidale?*
6. *Perché si aggiunge HCl in caso di soluzione torbida?*
7. *Se potessi ripetere l'esperimento in laboratorio, cosa modificherei per rispondere alle precedenti domande, o per verificare la validità delle risposte che hai dato?*

Solo 6 studenti su 24 hanno provato a trovare delle risposte, riuscendovi, almeno parzialmente, per le domande 1, 3, 5, 6. Sono risultate inevase, tranne in un caso, le altre domande. Nessuno ha risposto alla n. 7.

Nonostante la classe presenti almeno per un terzo allievi dotati di spiccata vivacità intellettuale ed abbia partecipato con entusiasmo alle attività sperimentali e alle lezioni, si sono, quindi, riscontrate resistenze all'attiva partecipazione in questa fase. Si ritiene che esse siano correlabili:

- alle particolari condizioni di lavoro (l'attività, infatti, è stata svolta in DDI<sup>2</sup> tra fine marzo e maggio 2021, quindi, nelle fasi finali di un anno scolastico segnato dalla pandemia COVID-19);
- alla poca dimestichezza degli allievi con questo approccio (nonostante si trattasse di un quarto anno, la frequenza di laboratorio chimico della classe era fino a quel momento sostanzialmente

consistita in poco più di un esperimento per anno scolastico, eseguito in modalità dimostrativa dal docente e non realizzato personalmente dagli allievi);

- alla diffusa e radicata abitudine scolastica allo studio nozionistico, da sempre ostacolo al ragionamento organizzato al fine di risolvere problemi e difficilmente scardinabile in tempi brevi.

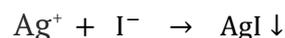
La risposta alla domanda n. 7, quindi, ha richiesto la sollecitazione e l'incoraggiamento dell'insegnante ed è stata data solo durante la discussione collettiva, in seguito alla quale si è deciso di tornare in laboratorio per ripetere l'esperimento nelle seguenti condizioni:

1. *0,15 g KI in 50 mL d'acqua in beuta da 100 mL + 0,15 g Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> solubilizzati in 50 mL d'acqua, versando non goccia a goccia, ma rapidamente e tutta in una volta, la seconda soluzione nella prima;*
2. *0,15 g KI in 50 mL d'acqua + 0,45 g Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> in 100 mL d'acqua in beuta da 250 mL (eccesso di nitrato invece che di ioduro)*
3. *testare il surnatante in entrambi i casi, alla ricerca di Pb<sup>2+</sup> e I<sup>-</sup> (proposto esclusivamente dal docente)*
4. *ricristallizzare anche su vetrino per poi scattare foto al microscopio ottico.*

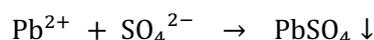
Stavolta la parte della classe in presenza è stata organizzata in due gruppi di lavoro ed ha eseguito le attività insieme all'insegnante; un solo alunno ha curato il collegamento e le riprese in videolezione per gli studenti a casa.

Si sono ottenuti i risultati di seguito riportati.

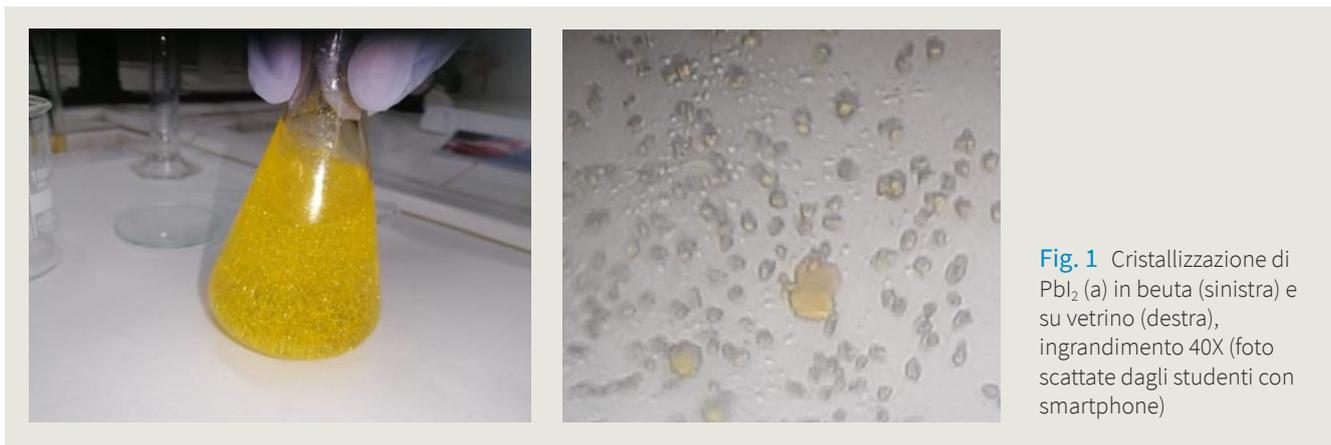
- Sia nel caso (1) che in (2) si è notata una "pioggia" meno abbondante rispetto all'originario esperimento eseguito nella prima seduta di laboratorio
- I saggi su surnatante e precipitato, caso (3), per la ricerca di Pb<sup>2+</sup> e di I<sup>-</sup> sono stati eseguiti in provetta e hanno dato esito positivo sia per (1) che per (2)
- Per la ricerca di I<sup>-</sup> si è aggiunto a qualche mL di surnatante AgNO<sub>3</sub> 0,1 M fino a formazione di un precipitato giallo chiaro di AgI:



- Per la ricerca di Pb<sup>2+</sup> si è utilizzato H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 M fino a formazione di un precipitato bianco di PbSO<sub>4</sub>:



<sup>2</sup> Didattica Digitale Integrata



**Fig. 1** Cristallizzazione di  $PbI_2$  (a) in beuta (sinistra) e su vetrino (destra), ingrandimento 40X (foto scattate dagli studenti con smartphone)

- La cristallizzazione su vetrino, caso (4), eseguita stendendo una goccia di soluzione calda dopo la solubilizzazione di  $PbI_2$  e lasciando evaporare, ha fatto osservare al microscopio ottico la formazione di cristalli esagonali gialli (Figura 1)

Dopo questa seduta di laboratorio il questionario proposto agli studenti è stato aggiornato con altre due domande, alle quali per carenza di tempo, essendo l'anno scolastico giunto alle fasi conclusive, si è cercata risposta in una nuova discussione collettiva guidata dall'insegnante.

*Considerato che i saggi sul surnatante della precipitazione eseguita in eccesso di nitrato sono positivi sia per piombo che per ioduro e che lo stesso vale per i test eseguiti sul surnatante della precipitazione in eccesso di ioduro di potassio:*

- questi risultati sono quelli attesi in base alla stechiometria della reazione, o avremmo dovuto avere test positivi solo per il piombo nel primo caso e solo per lo ioduro nel secondo?*
- come si giustificano questi risultati dei saggi per lo ione piombo e lo ione ioduro?*

Il risultato ottenuto in (2) è stato facilmente giustificabile, dato che l'eccesso di nitrato utilizzato era in realtà piuttosto limitato e comunque inferiore a quello di ioduro nel primo esperimento.

Il risultato in (1), invece, si è rivelato di difficile interpretazione, mentre i saggi positivi su  $Pb^{2+}$  e  $I^-$ , inattesi per gli studenti, sono serviti a farli riflettere sugli equilibri di solubilità nei termini evidenziati nel paragrafo successivo.

### Dal punto di vista del docente

L'esperimento realizzato è ricco di implicazioni teoriche, che sono facilmente correlabili ad argomenti cardine del programma scolastico di Chimica e che hanno

fatto da spunto per l'elaborazione delle domande del percorso guidato realizzato in questo lavoro. Tali aspetti teorici sono esaminati a seguire, collegandoli di volta in volta all'anno di corso in cui gli argomenti di riferimento vengono usualmente trattati [4] e alle domande sviluppate per gli studenti.

### **Solubilità (I e II anno), cristallizzazione (I anno) e precipitazione (II anno)**

Il diioduro di piombo ha una solubilità in acqua di 0,076 g/100 mL a 20° C, che sale a 0,2 g/100 mL a 60° C e a 0,4 g/100 mL a 100°C. Presenta, quindi, le caratteristiche ideali per applicare la cristallizzazione come tecnica di purificazione che sfrutta la diversa solubilità a caldo e a freddo della sostanza da purificare. La solubilità deve essere minima a freddo (T ambiente) e più alta possibile a caldo (T inferiore alla T di ebollizione del solvente).

Nella pratica didattica liceale la cristallizzazione viene utilizzata non tanto come tecnica di purificazione, ma per permettere agli studenti di osservare cristalli di grandi dimensioni, ben formati, ovvero con il tipico habitus cristallino.

Nel nostro esperimento il diioduro di piombo viene sottoposto ad una particolare cristallizzazione. Dopo essere precipitato, infatti, viene immediatamente solubilizzato a caldo nello stesso recipiente in cui si è formato; l'evaporazione del solvente (benché minima) ed il successivo raffreddamento renderanno poi la soluzione soprassatura ed il composto cristallizzerà.

Per comprendere al meglio il fenomeno della cristallizzazione è utile eseguire, come è stato fatto in questo caso, anche la cristallizzazione su vetrino, in cui, invece, evaporazione e raffreddamento risultano piuttosto rapidi e portano quasi esclusivamente alla formazione di microcristalli di diioduro di piombo osservabili al microscopio (Figura 1).

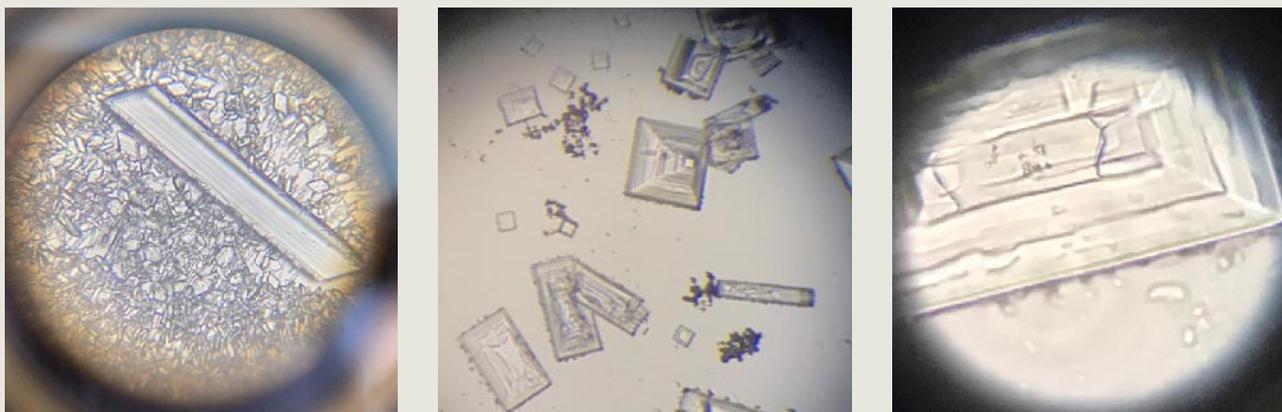


Fig. 2 Cristallizzazione su vetrino di  $\text{CuSO}_4$  ad ingrandimento 40 X (sinistra) e di  $\text{NaCl}$  ad ingrandimento 40 X (centro) e 400 X (destra) (foto scattate dagli studenti con smartphone)

Cristallizzazioni su vetrino di altri sali, abitualmente realizzate nel nostro laboratorio, consentono agli allievi di fare osservazioni su habitus cristallino e strati di accrescimento (Figura 2).

Queste attività consentono anche di collegare gli esperimenti allo studio di minerali e rocce, per una migliore comprensione del processo magmatico e delle caratteristiche tessiturali delle rocce magmatiche intrusive ed effusive (III anno).

Le domande:

- Perché aggiungiamo una soluzione all'altra "goccia a goccia"?
- Perché è preferibile aggiungere il reagente in difetto stechiometrico all'altro e non viceversa?
- Quali sono i problemi creati da un precipitato colloidale?

sono collegabili all'opportunità di operare in modo da ottenere una precipitazione con cristalli quanto più grandi possibili ed evitare la formazione di un precipitato colloidale difficile da filtrare e lavare.

Nel caso dell'esperimento in questione, non dovendosi eseguire tali operazioni, il procedere a regola d'arte potrebbe sembrare ininfluenza, ma i risultati ottenuti nell'esperimento (1) evidenziano il contrario. Si ritiene utile, però, approfondirli in futuro, inserendo nel percorso la determinazione della resa di cristallizzazione.

#### **Prodotto di solubilità (IV anno)**

Per studenti di quarto anno si ritiene più opportuno far analizzare precipitazione e cristallizzazione in termini di prodotto di solubilità.

Dal momento che un sale precipita quando le concentrazioni delle relative specie ioniche sono tali

da far sì che venga superato il valore del suo prodotto di solubilità, si ritiene utile proporre, contestualmente all'esperimento, il seguente semplice esercizio.

***Un sale precipita se viene superato il suo prodotto di solubilità ( $\text{PbI}_2$  ha  $K_{ps} = 8,7 \times 10^{-9} \text{ M}^3$  a  $25^\circ\text{C}$ ). Verifica che ciò si realizza utilizzando i dati del nostro esperimento.***

Riflettere in termini di prodotto di solubilità può essere utile anche a completamento della risposta alla domanda "Perché si aggiunge  $\text{HCl}$  in caso di soluzione torbida?"

La soluzione torbida è segno che si è formato carbonato di piombo  $\text{PbCO}_3$ , cosa molto comune vista la qualità dell'acqua distillata in uso nei laboratori scolastici. L'aggiunta di qualche goccia di  $\text{HCl}$  serve ad eliminarlo, come nella reazione che gli studenti studiano al terzo anno quale saggio per il riconoscimento (attraverso la caratteristica effervescenza) del calcare, o comunque di carbonati, nelle rocce sedimentarie:



$\text{PbCO}_3$  è molto poco solubile, avendo  $K_{ps} = 1,5 \times 10^{-13} \text{ M}^2$  a  $25^\circ\text{C}$ , mentre  $\text{PbCl}_2$ ,  $K_{ps} = 1,17 \times 10^{-5} \text{ M}^3$ , è molto più solubile.

#### **Equilibrio di solubilità (IV anno)**

È la nozione teorica che serve a spiegare i risultati positivi dei saggi per  $\text{Pb}^{2+}$  e  $\text{I}^-$  condotti sulle acque surnatanti. Quando un solido precipita, infatti, si trova in equilibrio eterogeneo con la soluzione satura, come corpo di fondo:



Si ritiene tale spiegazione [5] più comprensibile e preferibile didatticamente al richiamo del concetto di equilibrio chimico applicato all'intera reazione [6].

### **Principio di Le Châtelier (IV anno)**

Perché è presente un reagente in eccesso?

Il reagente in eccesso serve a sfruttare il principio di Le Châtelier, spostando l'equilibrio verso destra in modo da aumentare la quantità di precipitato. La reazione in questione, nonostante venga rappresentata sempre genericamente con una sola freccia, come spesso accade, è, quindi, una reazione incompleta.

### **Sicurezza**

È necessario l'eccesso di uno specifico reagente o potremmo utilizzare in eccesso uno qualsiasi dei due reagenti?

La scelta dello ioduro di potassio come reattivo in eccesso è semplicemente legata a ragioni di sicurezza, data la tossicità dei composti di piombo ed i relativi problemi di smaltimento dei reflui.

### **Conclusioni**

Nonostante le difficoltà riscontrate per ottenere un'attiva partecipazione di parte degli allievi ad alcune fasi, l'esperienza didattica è risultata senza dubbio positiva. Gli studenti hanno preso reale consapevolezza dell'importanza di concetti fondanti, come nomenclatura e calcolo stechiometrico, e hanno dimostrato di aver finalmente realizzato quanto esse siano scontate e basilari in un contesto operativo. Anche se per molti di loro si è rivelata indispensabile la guida dell'insegnante, si sono cimentati nelle fasi di riflessione sulle procedure adottate e di interpretazione dei risultati, impegnandosi

nell'approfondimento e nell'applicazione di concetti oggettivamente complessi.

L'esperimento spettacolare, semplice e rapido da realizzare, appare, dunque, come un ottimo strumento per veicolare alcuni tra i concetti chimici più ostici per gli studenti, purché si abbia l'accortezza di gestire con oculatezza i punti deboli legati alla tossicità dei composti del piombo e allo smaltimento dei reflui.

Ci si ripropone, operando in condizioni didattiche ottimali e non in DDI, di inserirlo all'interno di percorsi IBSE strutturati adeguatamente in base all'anno di corso, dato che, come evidenziato, i riferimenti ai programmi scolastici consentono un'ampia flessibilità. ■

### **Ringraziamenti**

Si ringraziano il prof. Raffaele P. Bonomo, la dott.ssa Floriana Calderera, tutti gli alunni della 4DSA e quegli studenti della 2BSA che hanno partecipato alle attività.

### **Riferimenti**

- [1] Golden rain. *The precipitation of lead iodide*, 2015 <https://edu.rsc.org/exhibition-chemistry/golden-rain/2000048.article> (consultato il 5 febbraio 2022).
- [2] B. A. Crawford, *J. Res. Sci. Teaching*, 2000, **37**(9), 916.
- [3] B. Scapellato, *Inquiry-based science education*, Pearson Academy, 2017.
- [4] DPR 89/2010 *Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento concernenti le attività e gli insegnamenti compresi nei piani degli studi previsti per i percorsi liceali*.
- [5] R. P. Bonomo, G. Tabbì, L. I. Vagliasindi, *J. Chem. Ed.*, 2012, **89**(4), 545.
- [6] S. De Meo, *J. Chem. Educ.*, 2002, **79**(4), 474.