

10 Il laboratorio sperimentale e virtuale come ambiente di apprendimento

MARINA GOBBO e LAURA ORIAN

Dipartimento di Scienze Chimiche, Università di Padova

PIER CESARE RIVOLTELLA

Dipartimento delle Arti, Università di Bologna

Il ruolo del laboratorio sperimentale come ambiente naturale per l'apprendimento sembra essere scontato quando si parla di insegnamento della chimica anche se l'efficacia del laboratorio nel motivare gli studenti allo studio della chimica non trova grandi riscontri. Questo perché ancora oggi nella maggior parte dei nostri istituti secondari superiori, ma anche nei primi anni di università, l'attività di laboratorio consiste nel ripetere un'esperienza di cui è già noto il risultato o seguire una ricetta o una procedura predefinita senza che per gli studenti ci sia il tempo di pensare a quello che si sta facendo.

In realtà da più di cinquant'anni nel sistema educativo anglosassone è iniziata una profonda riflessione su come dovrebbe essere il laboratorio sperimentale per diventare un vero ambiente di apprendimento, ed esiste una vasta letteratura che fornisce diversi punti di vista.

In questo capitolo cercheremo di riassumere le principali proposte fatte da diversi autori su come deve essere il laboratorio per diventare un vero ambiente d'apprendimento e gli aspetti da considerare nella progettazione dell'attività sperimentale. Anche se alcune di queste proposte sembreranno non attuabili nei laboratori frequentati dai nostri studenti (per ragioni di tempo, spazio, attrezzatura, assistenza, ecc.) speriamo contribuiscano a stimolare l'insegnante di chimica a riflettere su quale deve essere lo scopo del laboratorio pratico e a promuovere un approccio più consapevole e responsabile all'attività svolta nel laboratorio sperimentale. Preludio a questo sono delle riflessioni sul concetto di didattica laboratoriale e le sue basi pedagogiche, partendo dal laboratorio chimico tradizionale fino all'utilizzo delle tecnologie per aumentare l'apprendimento. Proprio nell'ottica di sfruttare le tecnologie in classe, nella terza sezione di questo capitolo si discuterà l'uso di strumenti multimediali nelle lezioni di chimica e l'introduzione nella scuola secondaria della chimica computazionale con la possibilità di disporre di un laboratorio *nel* computer.

1. La didattica laboratoriale: design, mediatori didattici, tecnologie

1.1. La didattica laboratoriale: un “modo” di insegnare

Iniziamo a collocare la didattica laboratoriale nella prospettiva del Design for Learning per comprendere su quali aspetti dell'apprendimento lavori in modo più efficace. Il modo migliore per farlo è di richiamare lo schema del *Conversational Framework* (CFW) proposto da Diana Laurillard (2012) (Figura 10.1).

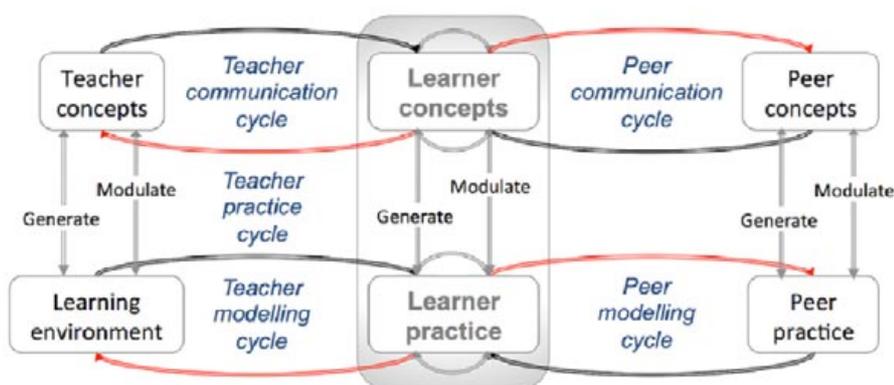


Figura 10.1 – Il CFW: i “cicli” dell'apprendimento

Si può dire che il CFW sia allo stesso tempo un organizzatore grafico che consente di comprendere modalità e attori dell'insegnamento e dell'apprendimento e uno strumento utile al design didattico dell'insegnante. Il tratto distintivo della proposta va cercato nel carattere conversazionale, tanto dell'insegnare che dell'apprendere: la didattica è un fatto di comunicazione.

Evitando di entrare più in profondità nella presentazione del framework¹, concentriamoci sui quattro “cicli” in cui è suddiviso: *Teacher communication*, *Teacher modelling*, *Peer communication*, *Peer modelling*. Si tratta di altrettanti spazi di interazione costruiti su due modalità base dell'interazione stessa: la comunicazione e il modellamento. Tralasciamo la parte dello schema che si occupa dell'interazione tra pari (quella a destra) e occupiamoci, invece, di quella che si riferisce all'interazione tra insegnante e studente (Figura 10.2, a sinistra).

¹ Il termine inglese, nel linguaggio della didattica, fa riferimento a uno schema operativo che assume allo stesso tempo il valore di un modello teorico. Di fatto il CFW, mentre offre all'insegnante l'opportunità di visualizzare gli spazi dell'apprendimento e le scelte didattiche coerenti con essi, offre anche una concettualizzazione dell'insegnamento di cui l'idea della conversazione e la centralità del design costituiscono i due momenti principali.

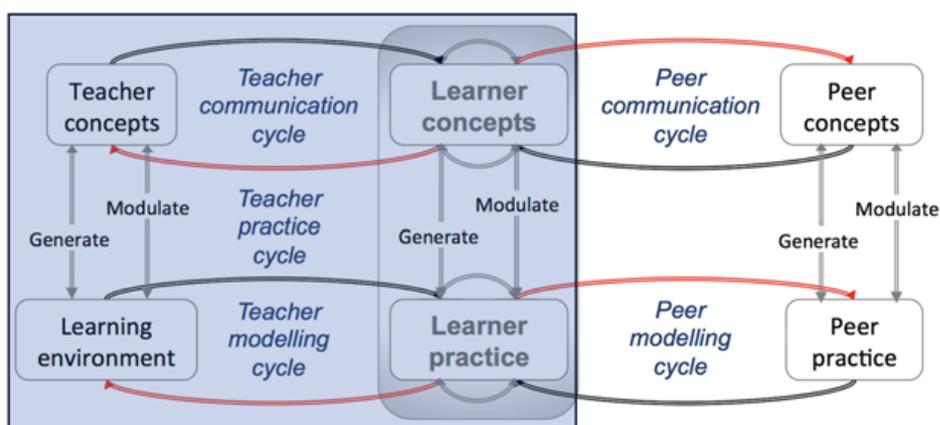


Figura 10.2 – Il CFW: l'interazione insegnante-studente

Posso imparare qualcosa da qualcuno o ascoltandolo, ovvero prestando attenzione alla sua comunicazione intenzionale, od osservandolo, e cioè facendo quello che lui fa o propone di fare mostrando come. Nel primo caso l'apprendimento passa per l'ascolto attivo, la possibilità di interagire con domande e osservazioni, il *feedback* dell'insegnante. Nel secondo caso, invece, è reso possibile dalla conformazione dell'ambiente di apprendimento, dalle consegne dell'insegnante, da quel che impariamo mentre, rispondendo a quelle consegne, costruiamo un artefatto, dalle osservazioni dell'insegnante riguardo a quell'artefatto.

Ora concentriamoci solo su quest'ultimo tipo di interazione, quella che riguarda il ciclo del modellamento tra insegnante e studente (*Teacher modelling cycle*, Figura 10.3 in basso a sinistra).

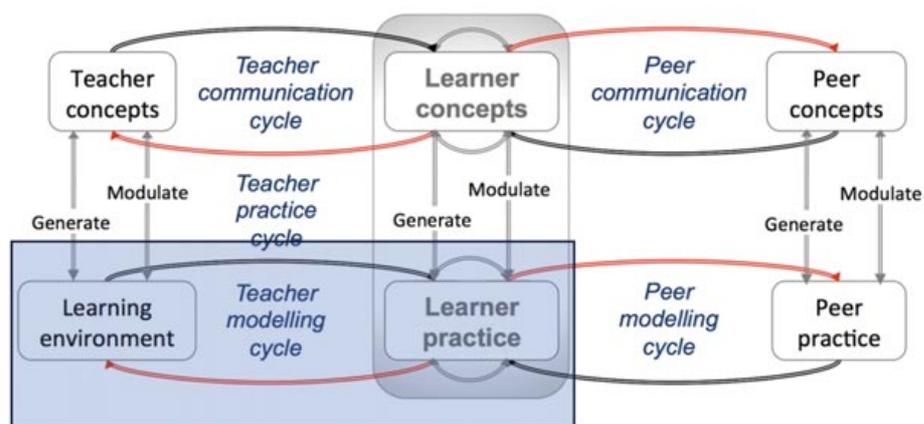


Figura 10.3 – Il CFW: il modellamento insegnante-studente

Come abbiamo già accennato, in questo modo si apprende attraverso la pratica. E naturalmente serve un certo tipo di ambiente: in un'aula con i banchi fissi non sarebbe facile apprendere attraverso la pratica; in un laboratorio, o in un ambiente reale, invece, sì. Per pratica si intende il fare, sicuramente, ma anche l'osservazione

e la riflessività in azione. Il fare per il fare non produce apprendimento. Invece, l'osservazione della pratica esperta dell'insegnante e il processo di riflessione sulla propria pratica svolgono un ruolo cruciale.

Ora, ai quattro modi dell'apprendere, secondo la Laurillard, corrispondono sei modi di insegnare: la Figura 10.4 consente di vedere come.

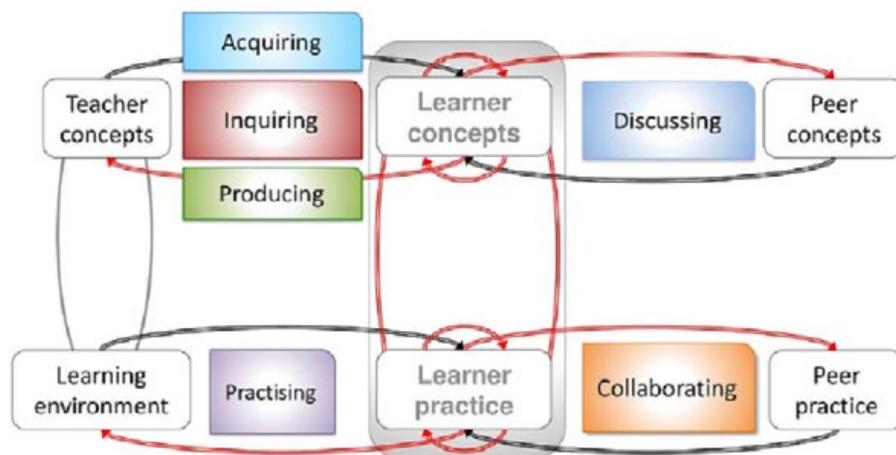


Figura 10.4 – Il CFW: le scelte didattiche

La nostra attenzione si dirige ancora una volta sul ciclo del modellamento dell'insegnante. Esso individua tutte le forme di insegnamento che si basano sul "praticare", sull'apprendere facendo (*learning by doing*), sul prendere parte a una situazione didattica in cui l'insegnamento si verifichi in larga parte per via immersiva. Insomma, una didattica situata e partecipativa. Se ne possono portare diversi esempi: si pensi al caso dell'apprendistato, delle attività *outdoor*, delle visite didattiche, dei PCTO (Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento, ovvero l'attività di alternanza obbligatoria per gli studenti del triennio della scuola secondaria di secondo grado). Il laboratorio si può ricondurre alle forme di insegnamento che si collocano dentro questo "ciclo" dell'apprendimento. Tre rapide considerazioni si impongono.

Il laboratorio non è l'aula: l'importante è fare laboratorio, non andare in laboratorio. Poi è chiaro che, soprattutto nel caso della chimica, serva anche uno spazio adeguatamente attrezzato, ma la didattica laboratoriale trova il proprio specifico nel metodo e non nello spazio.

In seconda battuta, il laboratorio è caratterizzato dalla centralità dell'artefatto e dalla dialettica di fare e rifare che vi si organizza attorno. Il feedback dell'insegnante è fondamentale e contribuisce a differenziare il laboratorio da una semplice attività didattica.

Infine, è importante promuovere la riflessività dello studente, favorire la ristrutturazione delle sue idee e la correzione dei *bias*. Si tratta di un lavoro che viene svolto di norma in chiusura, nell'ambito dell'attività di *debriefing*².

1.2. Il laboratorio come forma di mediazione didattica

Supponiamo, nella nostra attività di design didattico, di aver già individuato nel CFW i cicli di apprendimento e i modi di insegnamento su cui intendiamo lavorare. Immaginiamo di aver scandito la sessione di lavoro che stiamo progettando in tre fasi: (1) nella prima, introduttiva, forniamo un input concettuale e presentiamo il lavoro da svolgere. Siamo nel ciclo della comunicazione dell'insegnante, il modo di insegnamento è per acquisizione: spiegazione e domande di chiarimento; (2) nella parte centrale, facciamo lavorare l'aula in forma laboratoriale. Siamo nel ciclo del modellamento dell'insegnante, il modo di insegnamento è la pratica, nello specifico la didattica laboratoriale; (3) infine, immaginiamo di concludere la sessione di lavoro con un *debriefing* nel grande gruppo. Quest'ultimo va scandito in due momenti: nel primo momento ci troviamo nel ciclo della comunicazione tra pari e adottiamo la discussione come modo di insegnamento; nel secondo momento, conclusivo della lezione, ritorniamo nel ciclo della comunicazione dell'insegnante e, sempre lavorando per acquisizione, tiriamo le fila del discorso, fissiamo i concetti, correggiamo errori e misconcezioni.

Questo che, se lo disegnassimo graficamente, potrebbe assumere la forma di uno *storyboard*, diviso in due colonne relative alle attività dell'insegnante e dello studente, ci fornisce la cornice delle attività da svolgere, ma va "riempito" di contenuti e va dettagliato con la scelta dei mediatori cui far riferimento, tra cui le tecnologie digitali.

Iniziamo a chiarire il concetto di mediatore. Elio Damiano lo definisce come

ciò che agisce da tramite tra soggetto e oggetto nella produzione di conoscenza, sostituisce la realtà perché possa avvenire la conoscenza, ma non si sostituisce alla realtà esautorandola, pur richiedendo di essere trattato come se fosse la realtà, ma sempre, in quanto mediatore, conservando lucidamente la consapevolezza che la realtà non è esauribile da parte dei segni, quali che essi siano (Damiano, 2013).

Nella definizione di Damiano si possono individuare tre elementi, nei quali è possibile riconoscere all'opera il concetto di oggetto transizionale di Winnicott (1974) e la teoria della rappresentazione di Bruner (1986).

Il primo è che il mediatore *media*, sta in mezzo. Da questo punto di vista esso funziona da strumento per il lavoro di trasposizione (Chevallard, 1989) con cui

² Nel linguaggio della didattica e della formazione, il termine allude alla discussione in grande gruppo grazie alla quale si favorisce il ritorno metacognitivo dei soggetti su quanto è stato agito, nella direzione sia della correzione degli errori che della riconduzione dei temi ai quadri teorici.

l'insegnante adatta il suo sapere (*savoir savant*) a essere comunicato allo studente (*savoir enseigné*) perché quest'ultimo lo possa apprendere (*savoir appris*). Attraverso il mediatore – sia esso la parola, o un disegno alla lavagna – l'insegnante organizza le sue conoscenze intervenendo su di esse a diversi livelli (linguaggio, complessità concettuale, ecc.) al fine di rendere comprensibile quel che sta trasferendo ma senza banalizzarlo. Si può dire che il mediatore, da questo punto di vista, funziona come un dispositivo semplice (Berthoz, 2012; Sibilio, 2013, 2017): non semplifica, ma rende affrontabile la complessità riducendola (Morin e Kern, 1993; Ceruti, 2017). È quel che succede quando si ricorre a uno schema per far comprendere meglio quello che si sta dicendo. Quando rappresentiamo una molecola visualizzando i legami tra gli atomi che la compongono, non stiamo semplificando la sua struttura: stiamo semplicemente introducendo un dispositivo – lo schema visivo – che ci consente di comprenderla meglio riducendo la complessità che dovremmo affrontare se provassimo a spiegarci solo a parole.

2002

Il secondo elemento è il rapporto del mediatore con la conoscenza. Accennavamo sopra alla teoria della rappresentazione di Bruner (1986) secondo la quale la nostra mente codifica la realtà sostanzialmente in tre modi: la rappresentazione esecutiva, la rappresentazione iconica e la rappresentazione simbolica.

La rappresentazione esecutiva codifica la realtà attraverso l'azione. Bruner pensa a tutti quei casi in cui l'esempio, il fare, servono a trasferire una conoscenza, anche se alla luce della ricerca neuroscientifica la scoperta dei neuroni specchio (Rizzolatti e Sinigaglia, 2006) e la teoria dell'*embodiment* (Caruana e Borghi, 2016) hanno fatto vedere molto bene come in fondo ogni nostra conoscenza sia codificata dal nostro cervello attraverso l'azione.

La rappresentazione iconica codifica la realtà attraverso l'immagine. È questo il caso del disegno, degli schemi, dei grafici, delle mappe concettuali, delle fotografie e dei video. Difficilmente si riesce a pensare a un'aula senza una lavagna o comunque un dispositivo da proiezione: è sintomo di come la rappresentazione iconica abbia sempre sostenuto l'attività didattica.

Infine, la rappresentazione simbolica codifica la realtà attraverso il linguaggio e altri sistemi simbolici: parole dette e scritte, segni notazionali (come nel caso della chimica, appunto). Questa forma di rappresentazione è sicuramente la più potente ed economica, ma anche quella più complessa da recepire e comprendere. La ragione va cercata nella sua distanza dalla realtà che ha a che fare con il terzo elemento ricavabile dalla definizione di Damiano, ovvero che il mediatore “sostituisce” la realtà. Infatti, nella sua proposta, Damiano individua quattro tipi di mediatori che si possono ordinare proprio in relazione alla “distanza” che essi introducono con la realtà cui si riferiscono: attivi, analogici, iconici, simbolici. Il laboratorio, la didattica laboratoriale, ha a che fare soprattutto con i primi due: i mediatori attivi e analogici. Il mediatore attivo è l'unico che non prevede sostituzione rispetto alla realtà. Nella didattica laboratoriale lo si sperimenta in tutte quelle attività in cui lo studente è chiamato a confrontarsi con problemi e situazioni *real*

life. Certo, l'ambiente laboratoriale è comunque costruito, distinto dalla situazione reale: per questo motivo, pur prevedendo il ricorso a mediatori attivi, si può dire che il laboratorio si basi soprattutto su mediatori analogici, anzi, nel suo complesso sia una situazione didattica che si può pensare come un dispositivo di mediazione didattica analogico. Lo specifico di questo tipo di dispositivo è la simulazione, la riproduzione in un contesto artificiale delle stesse condizioni che si verificherebbero in un contesto *real life*. Soprattutto su questo aspetto si può misurare l'apporto che le tecnologie digitali possono garantire al laboratorio.

1.3. Didattica laboratoriale e tecnologie digitali

Se si pensa al laboratorio come situazione didattica, si possono immaginare tre soluzioni-tipo: (1) quella del laboratorio tradizionale, caratterizzata dalla presenza degli studenti in uno spazio fisico, solitamente attrezzato secondo la specificità del lavoro che vi si deve svolgere; (2) quella del laboratorio remoto, ovvero una soluzione ibrida in cui gli studenti, da remoto, possono condurre a distanza esperienze laboratoriali interagendo con dispositivi e strumenti di un laboratorio fisico; (3) quella del laboratorio virtuale, ovvero ambienti interamente digitali all'interno dei quali sia possibile allo studente condurre un'esperienza laboratoriale in assenza del laboratorio fisico.

In tutte e tre queste situazioni, si possono prevedere due modalità base di svolgere il laboratorio: guidata, con la presenza di un docente e/o di un tecnico di laboratorio; individuale, basata sull'attività in autoapprendimento dello studente.

Nella letteratura didattica è accreditato che le tecnologie digitali possono intervenire in due circostanze: (1) nel caso del laboratorio remoto, si può pensare al supporto degli ambienti di videocomunicazione e dei dispositivi mobili; (2) nel caso del laboratorio virtuale, al ricorso ad applicazioni di realtà virtuale e aumentata³.

La situazione del laboratorio remoto è costruita su due *setting*⁴: la terza aula (Ardizzone e Rivoltella, 2004) costituita dallo spazio dell'ambiente di videocomunicazione⁵ e i singoli setting fisici delle location remote in cui gli studenti stanno

³ Un'utile rassegna sui possibili usi delle tecnologie digitali a supporto della didattica laboratoriale si trova in Fadda e Vivanet (2021), con una panoramica di studi di meta-analisi e di *literary review* condotti sull'argomento.

⁴ Il *setting* fa riferimento allo stesso tempo alla organizzazione dello spazio dell'aula e all'atmosfera psichica che si stabilisce grazie alle scelte di metodo dell'insegnante.

⁵ Nel nostro lavoro del 2004 sulle didattiche dell'*eLearning*, con Paolo Ardizzone definivamo "terza aula" quel tipo particolare di aula che si crea nella zona di intersezione tra lo spazio da cui il docente eroga la didattica e che può coincidere con l'aula fisica (prima aula) e i singoli luoghi da cui in remoto i singoli studenti, individualmente o in gruppo, interagiscono con il docente (seconda aula). Si tratta di un luogo sociale, non fisico, che restituisce solo la percezione dell'aula (le "faccine" degli studenti nel *wall* di Zoom sono allineate in uno stesso "luogo" virtuale, ma ciascuno di loro si trova di fatto altrove).

conducendo l'esperienza proposta dal laboratorio. La terza aula viene presidiata attraverso mediatori simbolici (la voce del docente di laboratorio, il testo della chat in cui gli studenti possono chiedere chiarimenti, condividere risorse e risposte, partecipare al *debriefing* al termine della sessione di lavoro, Rivoltella, 2022) e iconici (le *slides* o i video che possono essere condivisi attraverso l'ambiente di videocomunicazione per facilitare il *modelling* o per fornire un supporto tutoriale allo svolgimento delle attività nei singoli *setting* fisici remoti. Quest'ultimi sono lo spazio entro cui avvengono le attività degli studenti: qui prevalgono i mediatori attivi, l'approccio esperienziale, l'apprendere facendo, l'osservazione sistematica di quanto sta accadendo. Il dispositivo mobile, *smartphone* o *tablet*, rappresenta in questo caso un utile strumento, almeno in due direzioni. Anzitutto come punto di accesso all'ambiente di videocomunicazione che, per le sue caratteristiche di portabilità e leggerezza, consente di eleggere a luoghi di apprendimento anche spazi tradizionalmente non pensati per questa funzione e consente di farlo con grande flessibilità anche di tempi. In secondo luogo, il dispositivo mobile, a prescindere dalle *app* che è possibile installarvi, dispone già di una serie di funzioni che sono essenziali come supporto alla didattica laboratoriale. Con un dispositivo mobile si può: scattare una fotografia o girare un video di singole fasi di un'esperienza; cronometrare i tempi; prendere note in tempo reale delle osservazioni che si vanno facendo e dividerle, sempre in tempo reale, con altri.

Spostiamoci ora a considerare il caso del laboratorio virtuale. In questo caso il *setting* è uno solo, interamente digitale, e sostitutivo di quello reale. I mediatori in gioco sono soprattutto quelli analogici, grazie in particolare alle tecnologie di simulazione e alle applicazioni di Realtà Virtuale (VR) e di Realtà Aumentata (AR).

Un ambiente di simulazione è diverso da un *serious game* o da una visualizzazione computerizzata. Il suo specifico sta nel suo carattere interattivo e nella possibilità dell'utente di intervenire su delle variabili in modo tale da ottenere dal sistema di simulazione differenti risposte e previsioni del comportamento di un fenomeno. Tra questi ambienti, storicamente, uno di quelli con una più lunga tradizione di utilizzo è *Stella*. Si tratta di un software rilasciato nel 2002 da High Performance Systems e giunto oggi alla sua release 7.0 che, basato sul linguaggio dei grafi, è particolarmente indicato per un utilizzo STEM consentendo di produrre simulazioni e prevedere il comportamento dei componenti di un sistema grazie a esso costruito. Altro ambiente storico è *Sim City*, creato da Will Wright per Maxis nel 1989 per poi allargarsi a partire dal 2000 a una serie di ambienti di simulazione (Sims) diversamente caratterizzati ma tutti basati sullo stesso principio di simulazione. Oggi è possibile pensare agli usi simulativi che si possono fare degli applicativi di Intelligenza Artificiale generativa come *ChatGPT* o di sistemi di previsione a partire da dati come è il caso di *Rapid Miner*. Quest'ultimo caso è di particolare interesse perché offre all'utente la possibilità di costruire degli algoritmi senza conoscere il linguaggio della programmazione, grazie a un tutorial in linea

e al ricorso al linguaggio degli oggetti (in analogia a quanto accade con *Scratch* per l'attività di coding⁶).

Un accenno si deve fare anche ai tools di VR e di AR. In questo caso gli apprendimenti vengono prodotti grazie all'immersione del soggetto in uno spazio virtuale e alla sua attivazione multisensoriale.

Le applicazioni di VR ottengono questo risultato attraverso l'effetto di realtà prodotto dall'immersione del soggetto in un mondo 3-D all'interno del quale è possibile muoversi, manipolare oggetti, interagire con gli avatar di altri soggetti, il tutto in una modalità *open* che non prevede *script* predeterminati o strutture ricorsive. L'effetto di immersione si ottiene oggi per lo più attraverso visori VR: lo sviluppo tecnologico consentirà in futuro di ricorrere a dispositivi più leggeri grazie alla tecnologia laser con cui le immagini potranno essere formate direttamente sulla retina del soggetto. Quando invece si parla di AR si fa riferimento a tecnologie che consentono di ampliare l'esperienza percettiva dell'universo fisico ad esempio attraverso ologrammi, *layer* visivi (come accade quando, indossando i Google Lens, si osserva un oggetto e si ottiene la visualizzazione di informazioni a esso relative), o commento sonoro (grazie a degli auricolari o a delle campane acustiche). Proprio il ruolo dell'immersione e dell'attivazione multisensoriale sono alla base dei principali usi didattici di questo tipo di tecnologie e cioè: l'uso dell'esperienza in VR come organizzatore anticipato di un'esperienza, l'apprendimento per scoperta, l'apprendimento collaborativo.

In tutti i casi che abbiamo sinteticamente presentato, l'efficacia della tecnologia dipende dalla qualità della progettazione pedagogica e dalla capacità di gestione della situazione da parte del docente. Ai fini della pratica didattica Fadda e Vivanet (2021) ricavano dagli studi che hanno considerato per la stesura del loro rapporto dieci raccomandazioni. Le riportiamo di seguito.

1. Chiarire agli studenti l'obiettivo di apprendimento e allineare scrupolosamente obiettivo > strategia didattica > valutazione.
2. Partire da un problema rilevante per lo studente per stimolarne la motivazione.
3. Agganciare le nuove conoscenze a quelle già in possesso degli studenti, gradualmente e strutturando le conoscenze.
4. Alternare frequentemente la pratica, integrando didattica in presenza e didattica digitale.

⁶ Letteralmente "fare codice". Nel linguaggio degli informatici indica l'attività di scrittura delle righe di un programma utilizzando un determinato linguaggio. Nella didattica di scuola il *coding* viene importato tra gli altri da Mich Resnick, LEGO Papert Professor di Learning Research, Direttore dell'Okawa Center e Direttore del gruppo Lifelong Kindergarten presso il Media Lab del Massachusetts Institute of Technology. *Scratch* è il software che Resnick ha introdotto utilizzando il linguaggio degli oggetti in modo da consentire al bambino che programma di ragionare sui blocchi e sulle loro relazioni lasciando che sia il software a tradurre tutto questo in linguaggio.

5. Integrare attività collaborative ben strutturate (in coppia o a piccoli gruppi) e didattica istruttiva.
6. Valorizzare il feedback, favorendo l'autoregolazione degli apprendimenti nello studente.
7. Stimolare la riflessione sulle procedure (meta-cognizione).
8. Variare forme e modi di applicazione e richiamare le conoscenze a distanza di tempo (rinforzo).
9. Utilizzo delle tecnologie digitali con interventi bilanciati nel tempo, tenendone sotto controllo i rischi di effetti collaterali.
10. Progettare didattiche laboratoriali integrate tradizionali-digitali per il raggiungimento di obiettivi che vadano oltre la mera conoscenza.

2. Il laboratorio sperimentale

La maggior parte degli autori concordano sul fatto che il laboratorio sperimentale (o pratico) rappresenta un ambiente di apprendimento complesso, in cui il carico cognitivo a cui sono sottoposti gli studenti è molto grande. Un ambiente di apprendimento complesso richiede di integrare conoscenze, abilità e attitudini, di coordinare abilità diverse, di trasferire quello che si è imparato nella scala reale (Johnstone, 1982). Questo sovraccarico di informazioni spesso preclude agli studenti un approccio sistematico e ragionato al laboratorio che, anche se viene valutato dagli studenti in modo molto positivo, ha scarse ricadute sull'apprendimento.

Varie soluzioni sono state indicate per alleggerire questo carico cognitivo a cominciare dall'aver chiaro quale sia lo scopo del laboratorio pratico che si vuole proporre. In letteratura si trovano diversi elenchi degli scopi del laboratorio sperimentale:

- motivazionale, per creare e mantenere l'interesse e la curiosità verso la scienza;
- pratico, per sviluppare abilità pratiche;
- investigativo, per promuovere un approccio scientifico e l'uso del metodo scientifico nell'affrontare problemi;
- dimostrativo, per comprendere meglio gli aspetti teorici trattati a lezione.

Riguardo a quest'ultimo aspetto non ci sono forti evidenze sperimentali che dimostrino che svolgere in prima persona un esperimento permetta allo studente di comprenderne meglio la chimica che ne è alla base (Hofstein e Lunetta, 2004) mentre le dimostrazioni svolte dall'insegnante, se opportunamente pianificate, sviluppano negli studenti la capacità di osservazione, senso critico e sono di stimolo a formulare ipotesi.

La dimostrazione dell'insegnante è uno strumento potente per collegare concetti astratti con fenomeni concreti, motivando gli studenti, e dovrebbe essere presa in considerazione quando il materiale di laboratorio a disposizione è scarso, ci sono vincoli di sicurezza nell'uso delle sostanze o il tempo a disposizione è limitato. Non a caso quest'attività didattica è particolarmente usata nell'insegnamento delle scienze nella scuola dell'obbligo, ma anche nelle scuole secondarie soprattutto nel biennio e gli insegnanti possono far riferimento a testi (Floriano e Zingales, 2000; Shakhshiri, 2011) e articoli (Osorio, 2005; Person, 2010) in continuo aggiornamento.

Le dimostrazioni, che di solito si collocano a conclusione di un percorso didattico, rappresentano un mezzo efficace per focalizzare l'attenzione degli studenti sui concetti già presentati a lezione. Per questo, un adeguato allestimento dell'esperimento da parte dell'insegnante svolge un ruolo importante per indirizzare l'attenzione sulle parti significative e sulle proprietà da considerare (Nehring, 2018). Le dimostrazioni offrono inoltre molti spunti di discussione e possono essere ancora più di stimolo per i ragazzi se sono invitati a formulare ipotesi per i fenomeni osservati, ad aprire una discussione, condizioni che servono all'insegnante per rilevare eventuali interpretazioni sbagliate ed intervenire prontamente (Ashkenazi, 2007).

2.1. Diversi tipi di laboratorio sperimentale

Nel laboratorio chimico lo studente non ha solo la possibilità di interagire con i materiali, utilizzare strumenti ed osservare fenomeni ma in una visione costruttivistica l'attività laboratoriale dovrebbe sviluppare abilità logiche e di tipo investigativo e le cosiddette *soft skills*, ovvero capacità di cooperazione e comunicazione (Hofstein, 2004). Le ricerche sull'efficacia del laboratorio dimostrano come tanto più gli studenti sono attivamente coinvolti, non solo sotto il profilo psicomotorio ma soprattutto decisionale, tanto più cresce il loro interesse per lo studio della chimica. Al contrario attività laboratoriali che richiedono un limitato impegno, in cui si eseguono "ricette" o si raccolgono dati per dimostrare concetti presentati a lezione, seppur apprezzate dagli studenti, non li motivano nello studio della chimica (Walker, 2016). A titolo di esempio in Tabella 10.1 (Hofstein, 2013) è mostrato come l'argomento acidi-basi può essere affrontato in modo tradizionale o con un approccio *che lascia più libertà decisionale allo studente*.

Nel laboratorio dimostrativo (*expository*) gli studenti seguono una procedura definita dal docente (spesso una "ricetta") e il risultato ottenuto viene confrontato con quello atteso. È un tipo di laboratorio ancora molto utilizzato nelle scuole perché coinvolge simultaneamente molti studenti, può essere concluso in tempi brevi ma spesso gli studenti non hanno tempo di collegare i concetti presentati a lezione con l'attività svolta in laboratorio (Abrahams, 2008). Può essere utile come laboratorio addestrativo, finalizzato all'apprendimento delle tecniche di laboratorio e strumentali oltre che organizzative e per questo utile nella formazione professio-

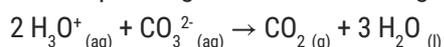
nale, anche a livello universitario. Il laboratorio addestrativo può essere previsto come componente di un laboratorio di tipo investigativo (*inquiry*) per diminuire il carico cognitivo associato a questa tipologia di laboratorio. Questi due approcci sono in realtà da considerarsi i due estremi di un continuum di modi di svolgere l'attività pratica a cui gli insegnanti possono attingere per progettare l'attività laboratoriale in base al grado di coinvolgimento degli studenti. A partire dal laboratorio di tipo tradizionale (dimostrativo) l'insegnante, coinvolgendo in modo via via crescente *la capacità decisionale degli studenti*, può chiedere loro di individuare la procedura migliore per arrivare ad un certo risultato, fino a lasciar loro piena libertà nel risolvere un problema seguendo un approccio laboratoriale che avvicini gli studenti al modo di fare scienza (Domin, 1999; Seery, 2019 e 2020).

	Laboratorio dimostrativo	Laboratorio investigativo
Fase 1:	Sul banco di lavoro gli studenti trovano la Scheda istruzioni (<i>Nota 1</i>) e il materiale	Sul banco di lavoro gli studenti trovano la Scheda istruzioni (<i>Nota 2</i>) e il materiale
Fase 2	Gli studenti in gruppo eseguono gli esperimenti e scrivono le loro osservazioni	Gli studenti in gruppo eseguono gli esperimenti e annotano le loro osservazioni/domande
Fase 3		Individuano un fenomeno per il quale formulano un'ipotesi in base alle loro conoscenze chimiche
Fase 4		Progettano un esperimento per verificare la loro ipotesi. Eseguono l'esperimento e annotano il risultato
Fase 5	In base alle loro conoscenze chimiche completano le reazioni.	Traggono le loro conclusioni in base ai risultati ottenuti e le condividono

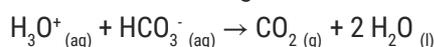
Nota 1: Scheda istruzioni

Scopo dell'esperienza: comprendere la reazione tra un acido e gli ioni carbonato:

Teoria: quando gli ioni carbonato reagiscono con un acido si verificano le reazioni seguenti:



Quando un acido reagisce con lo ione bicarbonato la reazione è:



Sperimenta: Fai reagire ciascuno degli acidi a disposizione con i diversi sali e completa la tabella con le tue osservazioni

Conclusioni: Completa gli schemi delle reazioni mostrando *tutte le sostanze coinvolte* nelle reazioni

Nota 2: Scheda di istruzioni (A = acido citrico; B = bicarbonato di sodio):

Trasferite nella busta di plastica 10 g di polvere A, aggiungere 10 mL di acqua e mescolate bene.

Nella stessa busta di plastica introdurre con attenzione un bicchierino contenente 7 g di polvere B. Strizzare la busta di plastica in modo da far uscire l'aria (attenzione a non rovesciare il bicchierino!) e chiuderla con un elastico. A questo punto rovesciare il contenuto del bicchierino nel liquido del sacchetto e mescolare bene

Scrivete sul foglio tutte le vostre osservazioni e le domande che vi sono sorte durante l'esperimento Scegliete una di queste domande e formulate una possibile spiegazione usando le vostre conoscenze chimiche.

Tabella 10.1 – Confronto tra un laboratorio di tipo dimostrativo con uno di tipo investigativo sull'argomento acidi-basi (adattato da Hofstein, 2013)

Di solito la legenda della tabella si trova SOPRA la tabella, al contrario di quello che avviene per le figure. Per questa tabella, in particolare, la legenda alla fine delle note rende difficile riconoscere la tabella !

Questi diversi modi di svolgere l'attività laboratoriale vanno programmati nell'intero curriculum e prevedono un diverso contributo dell'insegnante nel definire le modalità dell'esperienza. Ad esempio in funzione della libertà lasciata agli studenti prima, durante e dopo l'esperienza, il laboratorio investigativo è stato classificato su diversi livelli (Tabella 10.2, Buck, 2008). Il livello 0 corrisponde al laboratorio dimostrativo tradizionale basato su una "ricetta" fornita allo studente. Nei livelli successivi, sotto la guida dell'insegnante, aumenta l'indipendenza dello studente nel condurre l'esperimento fino a diventare un percorso analogo a quello di un vero ricercatore. Un approccio laboratoriale via via più responsabile motiva negli studenti lo sviluppo non solo delle capacità pratiche ma li coinvolge anche sotto il profilo emotivo e metacognitivo, sviluppando la loro capacità di pensare in modo critico e di formulare ipotesi (Colburne, 2000).

In un laboratorio di tipo investigativo importante è il ruolo dell'insegnante che deve supportare gli studenti e non sostituirsi nelle loro scelte (Colburne, 2000). L'insegnante dovrebbe porre domande che richiedono una spiegazione (es Cosa stai facendo? Cosa pensi possa succedere se...?), lasciare agli studenti il tempo di rispondere, non dare soluzioni, non approvare o criticare la risposta cosicché lo studente non si aspetti di ricevere conferma dal docente delle proprie scelte (Potier, 2023). Si capisce dunque che il modo in cui l'insegnante interagisce con gli studenti è molto importante ma non sempre gli insegnanti hanno modo di acquisire nel loro percorso disciplinare gli strumenti pedagogici, psicologici e didattici necessari. Si può capire dunque perché malgrado l'importanza attribuita dalla teoria educativa al laboratorio di tipo investigativo (Ashkenazi, 2007) la sua applicazione pratica trova ancora oggi numerose difficoltà. (Szalay, 2016; Orosz, 2023) Gli spazi e i tempi in cui deve essere svolta l'attività laboratoriale, i materiali e le attrezzature a disposizione, la preparazione degli studenti e ancor più degli insegnanti nel condurre questo tipo di attività sono tutti fattori che rendono ancora prevalenti nei nostri istituti secondari superiori, ma anche all'università, laboratori di tipo dimostrativo. Un freno alla sperimentazione di questo approccio laboratoriale deriva anche dalle conoscenze e dalle convinzioni che l'insegnante ha circa l'insegnamento delle scienze, perché non è difficile capire che un insegnante che durante il proprio curriculum ha svolto laboratori di tipo tradizionale tenderà a riproporli ai propri studenti. Esperienze recenti anche in paesi diversi dal nostro mostrano le difficoltà che incontrano gli insegnanti alle prime armi nell'affrontare questa metodologia laboratoriale (Wang, 2022). Per questo, è nei percorsi di formazione degli insegnanti e negli eventi di aggiornamento (scuole, convegni, ecc.) che si deve dare la possibilità di fare questo tipo di approccio laboratoriale e lasciare poi agli insegnanti la scelta di introdurre nelle loro esperienze laboratoriali via via più elementi di didattica investigativa.

	Livello 0	Livello 1/2	Livello 1	Livello 2	Livello 3
<i>Caratteristica</i>	<i>Dimostrativo</i>	<i>Investigativo strutturato</i>	<i>Investigativo guidato</i>	<i>Investigativo aperto</i>	<i>Investigativo autentico</i>
Argomento / Problema	Dato	Dato	Dato	Dato	Non dato
Conoscenze/ teoria	Presente	Presente	Presente	Presente	Non data
Progettazione / procedure	Fornita	Fornita	Fornita	Non data	Non data
Analisi dei risultati	Fornita	Fornita	Non data	Non data	Non data
Conclusioni	Fornite	Non data	Non data	Non data	Non data
Tipo di laboratorio	Piu strutturato ←—————→ Meno strutturato				

Tabella 10.2 – Diversi livelli di laboratorio investigativo in funzione del contributo dell'insegnante nel definire le modalità dell'esperimento (Buck, 2008).

Sarebbe meglio spostare questa tabella alla fine della pagina precedente

2.2. Progettare il laboratorio pratico

Un'esperienza di laboratorio è un'attività che in genere si colloca all'interno di un percorso didattico collegato ad un macro-argomento. Come per ogni altra attività didattica il punto di partenza è aver chiaro lo scopo per il quale si propone questa attività, avendo presente che richiede un notevole investimento in personale e materiali. Altrettanto importante è stabilire come valutare l'efficacia del laboratorio sperimentale, definendo il raggiungimento di specifici obiettivi (l'uso di uno strumento, l'interpretazione dei dati sperimentali, ecc.) e nei livelli più avanzati del laboratorio di tipo investigativo le abilità e competenze da acquisire (Hosbein, 2022). Un altro aspetto che merita attenzione è quello del cosiddetto “dominio affettivo” legato alle aspettative che ha lo studente verso l'esperienza di laboratorio, che influenzeranno il suo interesse per la chimica e le sue prospettive di lavoro, e che è importante monitorare per coinvolgere più attivamente lo studente nel processo di apprendimento. In questo contesto bisogna essere preparati anche a dare supporto agli studenti per superare situazioni di frustrazione che possono derivare da scelte sbagliate, perché è proprio attraverso queste difficoltà che *l'apprendimento diventa significativo* (Galloway, 2016).

Organizzare un'attività sperimentale di tipo chimico richiede non solo di affrontare problemi pratici (materiali, apparecchiature, ...) e logistici (laboratori, attrezzature, assistenti, ...), ma richiede soprattutto all'insegnante di porsi una serie di domande, tipo quelle mostrate in Tabella 10.3 (Seery, 2019).

Prima dell'attività sperimentale	Durante l'attività sperimentale	Dopo l'attività sperimentale
Che informazioni deve avere lo studente per affrontare l'esperienza?	Che informazioni si devono dare allo studente sul lavoro da svolgere per completare l'esperienza?	Che informazioni bisogna dare agli studenti su come interpretare/analizzare i risultati ottenuti, anche in base all'attività pre-laboratoriale
Quando e come sono state fornite queste informazioni?	Lo studente è in grado di eseguire le procedure/tecniche richieste?	Che tipo di indicazioni vengono date agli studenti su come verrà valutata l'attività in laboratorio?
Come lo studente può verificare di avere compreso le informazioni date?	Che ruolo ha l'assistente del laboratorio?	
E' chiaro allo studente come utilizzare le informazioni già ricevute nell'attività di laboratorio?	L'esperienza laboratoriale consente allo studente di verificare ipotesi/ottenere risultati?	Che tipo di valutazione viene data agli studenti e come possono utilizzare le indicazioni ricevute?

Tabella 10.3 – Progettare l'esperienza in laboratorio (adattata da Seery, 2019).

Come già detto, il laboratorio sperimentale è un *ambiente complesso* dal punto di vista dell'apprendimento, perché richiede di mettere insieme conoscenze, abilità e attitudini, e un carico cognitivo troppo pesante può creare ansia e confusione nello studente e lo distrae dallo scopo dell'esperienza. Un mezzo efficace per ridurre in laboratorio il carico cognitivo associato all'esperienza è riconosciuto alle attività pre-laboratoriali. Le attività pre-laboratoriali in laboratori di tipo dimostrativo dovrebbero essere rivolte a: a) definire la strategia scelta per raggiungere lo scopo dell'esperienza e rivedere i concetti chimici alla base dell'esperienza; b) introdurre le procedure/tecniche di laboratorio e le norme di sicurezza da seguire; c) motivare gli studenti agganciando l'esperienza al mondo reale (Agustian, 2017). Tra gli strumenti più efficaci utilizzati nelle attività pre-laboratoriali rientrano brevi video (Schmidt-McCormack, 2017), simulazioni (Kolil, 2020), presentazioni Power point commentate a voce, seguiti da quiz con domande a risposta multipla o risposte da completare (Gryczka, 2016). Tutte le attività pre-laboratoriali richiedono una valutazione da parte dell'insegnante e un immediato riscontro allo studente prima dell'ingresso in laboratorio.

Nel progettare l'attività in laboratorio è importante aver presente il tempo a disposizione, individuare le procedure/tecniche che richiedono una spiegazione specifica in laboratorio e predisporre un protocollo che possa essere seguito facilmente dagli studenti ma non in modo acritico. Anche se le attività pre-laboratoriali aumentano la consapevolezza degli studenti verso il lavoro che dovranno svolgere, la presenza dell'insegnante/assistenti durante il laboratorio è fondamentale per stimolare il loro spirito di osservazione e la comprensione dei fenomeni. È infatti rispondendo alle domande poste dall'insegnante sull'interpretazione dei fenomeni osservati che lo studente impara a sviluppare le capacità intellettuali e di comuni-

cazione che saranno importanti nel suo lavoro futuro (Hofstein, 2015). Ecco perché è importante che le tempistiche dell'attività pratica non sia pressanti.

Alcuni autori hanno anche analizzato l'efficacia del protocollo sperimentale fornito agli studenti, che, quando riporta informazioni non essenziali o richiede di seguire sullo schema di un apparecchio istruzioni date nel testo, può portare ad un sovraccarico cognitivo. In alternativa o affiancato ad un elenco di istruzioni dell'attività da svolgere, l'uso di diagrammi di flusso o di figure (con brevi istruzioni) preparate dall'insegnante o dagli studenti nell'attività pre-laboratoriale, sembrano essere gli strumenti più efficaci (Paterson, 2019).

Non va inoltre sottovalutata la possibilità che gli studenti registrino, durante l'attività di laboratorio, brevi video su alcune fasi dell'esperienza, perché questo attiva la sfera emozionale e fornisce materiale utile alla discussione nelle attività post-laboratoriali. Questi video possono poi essere inclusi nella relazione finale, in genere prevista a conclusione dell'esperienza di laboratorio, che può essere richiesta in forma scritta, o con modalità che permettono una maggiore condivisione dei risultati con tutta la classe come presentazione *Power point*, poster, breve video.

Come per le altre attività didattiche, la valutazione dell'attività laboratoriale, in tutte le sue fasi, è un aspetto molto importante sia per l'insegnante, che può ricavare suggerimenti per migliorare l'efficacia dell'esperienza, sia per lo studente che viene responsabilizzato nel raggiungimento degli obiettivi del suo percorso formativo. In genere la valutazione dell'esperienza pratica si basa, oltre che sul report finale, sul lavoro svolto in laboratorio e sarebbe auspicabile che la valutazione della abilità sperimentali specifiche (es titolazione acido-base, distillazione, ecc.) avvenisse nel corso dell'attività pratica per consentire allo studente di correggersi e di migliorare i risultati dell'esperienza. Poiché una valutazione *in itinere* non è facile da attuare con classi numerose, anche con l'aiuto di uno o due assistenti, è stato suggerito di coinvolgere gli studenti usando un protocollo di valutazione-tra-pari supportato da video dimostrativi (Seery, 2017). Infine per i laboratori di tipo investigativo la valutazione, a seconda del diverso livello di autonomia lasciato allo studente, è via via più complessa perché richiede di valutare la capacità di affrontare nuovi problemi, di scegliere una strategia, di progettare. Tuttavia, le indicazioni che emergono sull'efficacia di questo approccio laboratoriale sono significative (Grushow, 2019).

In Italia varie iniziative nazionali (Piano Lauree Scientifiche) e locali (scuole e convegni) hanno contribuito a promuovere un diverso approccio al laboratorio sperimentale sempre più legato a temi importanti nella società (ambiente, alimentazione, sostenibilità, ecc.). Un ulteriore passo avanti per rendere il laboratorio pratico un'esperienza di apprendimento significativo e stimolare il lavoro di gruppo e la creatività, potrebbe essere fatto integrando elementi del laboratorio investigativo all'interno del tradizionale curriculum. Questo richiede insegnanti preparati a gestire un approccio di tipo investigativo e i nuovi percorsi di formazione degli in-

segnanti dovranno tener conto di questo aspetto. Poiché l'impegno richiesto per la transizione da un laboratorio, ma anche da una singola esperienza, di tipo tradizionale a uno investigativo è notevole e non può essere affrontato dal singolo insegnante, è auspicabile che, supportate da scuole e convegni, si creino delle reti tra insegnanti in grado di portare avanti questa sperimentazione.

3. Apprendimento con il computer e laboratorio nel computer

È ormai consolidato che le tecnologie informatiche sono uno strumento valido in classe e possono essere utilizzate nella spiegazione, nelle esercitazioni, nelle valutazioni e in generale per potenziare l'apprendimento anche in autonomia. Questo è vero per tutte le discipline. Lo sforzo dell'insegnante che vuole sfruttare al meglio il binomio chimica-computer deve essere indirizzato ad un uso del computer dedicato a problemi specifici della disciplina e deve integrarsi con la spiegazione, i contenuti del libro di testo e la pratica laboratoriale se presente. L'utilizzo delle risorse informatiche nell'apprendimento della chimica stimola sicuramente l'interesse degli studenti e allo stesso tempo li avvicina a una descrizione della realtà che rimarrebbe astratta e quindi difficile. Ad esempio, il computer, grazie alla sua elevata capacità di rappresentazione grafica spesso anche interattiva, aiuta a comprendere concetti fondamentali come la struttura atomistica e molecolare della materia, cioè a entrare con i sensi in quelle dimensioni spaziali sub-nanometriche e nanometriche che sono proprie della chimica. È necessario tuttavia fare un po' di chiarezza riordinando i vari approcci che integrano le tecnologie informatiche e la chimica, tenendo anche presente che nell'ultimo ventennio si è affermata una branca della chimica, conosciuta come chimica computazionale, fondata proprio sull'utilizzo intensivo ed esclusivo di calcolatori e supercalcolatori per la ricerca (Cramer, 2007). Grazie allo sviluppo tecnologico (hardware) e metodologico (modelli e software), gli scienziati dispongono di un vero e proprio laboratorio virtuale nel quale si studiano le proprietà strutturali e spettroscopiche delle molecole, la loro reattività, le proprietà chimico-fisiche e bio-tossicologiche. Dunque, la chimica computazionale rappresenta proprio la realizzazione completa del binomio chimica-computer in quanto attraverso la sua pratica si costruisce un laboratorio chimico digitale per lo studio della materia.

Svariate sono tuttavia le applicazioni più facilmente fruibili in classe che supportano l'insegnamento della chimica e sono efficaci per la didattica.

1. *Visualizzazione di filmati/video a contenuto chimico*

Ad un primo livello possiamo mettere l'utilizzo delle tecnologie/computer per visualizzare video didattici. L'insegnante può proporre filmati/video di esperienze laboratoriali che non possono essere eseguite a scuola ma sono importanti

per introdurre un argomento specifico. Una fonte di queste tipologie di video è JoVE che ha una ricca sezione *education* ed in molti casi è selezionabile anche la lingua italiana. Lo stesso approccio può essere utilizzato per mostrare procedure laboratoriali che saranno successivamente realizzate in laboratorio. In questo secondo caso, lo scopo è diverso e mirato alla preparazione dello studente prima dell'ingresso in laboratorio dove competenze di base agevoleranno il lavoro sperimentale e aumenteranno la sicurezza. Il livello di attività dello studente può essere modulato e l'insegnante può proporre filmati in cui l'osservatore è passivo, video-applicazioni in cui lo studente può interagire limitatamente (ad esempio, un ottimo archivio di video didattici interattivi è il sito *phET Interactive simulations*) fino ad applicativi di realtà virtuale grazie ai quali lo studente può immergersi in un laboratorio ed eseguire procedure in modo davvero realistico, come Labster.

2. *Visualizzazione di simulazioni al computer che permettono di indagare la natura molecolare della materia.*

Sempre basata sulla proiezione di video è la presentazione di simulazioni. Allo studente vengono mostrati modelli che lo aiutano a immaginare e comprendere ciò che non è visibile agli occhi, molto spesso gli atomi e le molecole isolati o addirittura nelle fasi. È importante sottolineare che sebbene le simulazioni siano davvero realistiche e abbastanza fedeli nel riprodurre le distanze, le strutture (lunghezze e angoli di legame) e il loro ingombro spaziale, la grafica (i cosiddetti modelli *ball and stick*) e l'utilizzo dei colori non hanno certamente un corrispettivo nella realtà. Questo aspetto dovrebbe essere evidenziato anche per spiegare l'origine delle simulazioni stesse, ovvero modelli matematici spesso anche complessi, implementati in un codice che il computer esegue per produrre i dati che vengono infine visualizzati secondo convenzioni grafiche e di colore. Le equazioni fondamentali di questi modelli possono essere proprio le leggi e le regole descritte nei testi o loro derivazioni.

3. *Calcoli e simulazioni al computer eseguiti in classe guidati dall'insegnante.*

Infine, l'insegnante può organizzare delle attività di calcolo in classe in cui gli studenti creano le simulazioni partendo dalle leggi o dalle strutture molecolari e poi ne analizzano e interpretano i risultati. Questo tipo di approccio ha potenzialità molto ampie ed è un'attività profondamente complementare al laboratorio sperimentale. Infatti, mentre il laboratorio tradizionale pone lo studente a contatto con le proprietà macroscopiche della materia, il laboratorio computazionale consente di spaziare nel mondo sub-nanometrico, inaccessibile ai nostri sensi, e l'integrazione delle due esperienze conduce ad una comprensione completa e corretta dei fenomeni, integrando nel processo di apprendimento tutti e tre i vertici del triangolo di Johnstone (Reid, 2021).

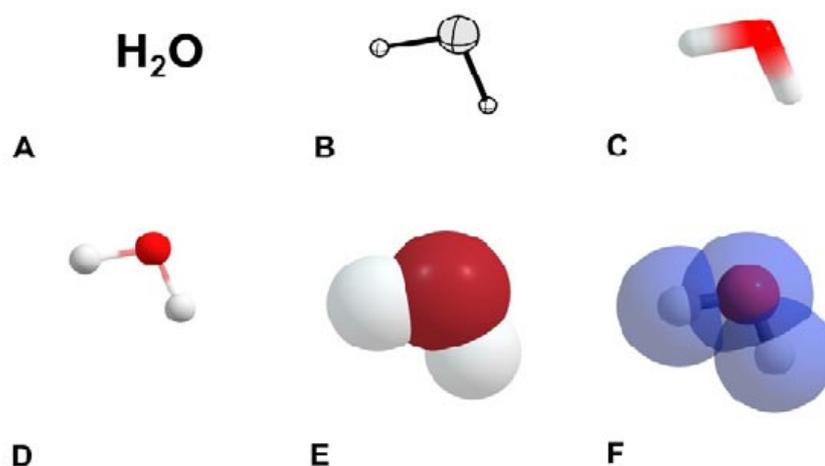


Figura 10.5 – Diverse rappresentazioni della molecola d’acqua generate con il computer. Formula molecolare (A), rappresentazione ORTEP (B), rappresentazione *stick* (C), rappresentazione *ball and stick* (D), rappresentazione *big atoms* basata sui raggi di van der Waals (E), rappresentazione ibrida D + E (F).

Le attività di calcolo in classe sono decisamente impegnative per il docente e per gli studenti e soprattutto richiedono competenze e informazioni multidisciplinari. Innanzitutto, le simulazioni codificano la realtà utilizzando delle rappresentazioni che vanno correttamente interpretate. Ad esempio, in Figura 10.5 è mostrata la molecola d’acqua con diverse rappresentazioni digitali. Consideriamo la 9.5 D che è fra le più popolari (*ball and stick*) formata da tre sfere, due bianche più piccole unite ad una sfera più grande rossa tramite barrette cilindriche. I colori bianco e rosso adottati per gli atomi di idrogeno e di ossigeno si basano su Hofmann’s croquet ball models (1865) adottati correntemente nella notazione Corey-Pauling-Koltun (CPK) (Corey e Pauling, 1952; Koltun, 1965). Rappresentare una stessa molecola in svariati modi è utile per cogliere peculiarità strutturali. In tutte le rappresentazioni di Figura 10.5, la rigidità dei legami rende il modello molecolare poco verosimile. Ad esempio, l’interazione delle molecole con le radiazioni infrarosse promuove l’eccitazione di specifiche deformazioni che coinvolgono legami ed angoli (modi normali). Il calcolo della struttura molecolare con metodi quantomeccanici, tra i quali i popolari calcoli DFT (un’introduzione ai metodi si trova nel capitolo 8 di Cramer, 2007), consente di ottimizzare la geometria ottenendo per i suoi parametri (lunghezze di legame ed angoli) valori di equilibrio, anche in buon accordo con dati sperimentali, quando disponibili. Questi calcoli consentono anche di visualizzare i modi normali di vibrazione che possono ulteriormente contribuire alla comprensione della spettroscopia nell’infrarosso (Hall, 2023). Considerando sistemi piccoli (meno di venti atomi), questi calcoli possono essere eseguiti sul computer personale o della scuola. La potenzialità di queste esperienze di calcolo è che possono essere strutturate per studiare tantissimi aspetti della chimica: strutture molecolari e conformazioni, proprietà spettroscopiche (spettri UV-vis e IR), reazioni elementari (Dong, 2021; Snyder, 2021; Montgomery, 2020; Zhang,

togliere

2023). Una difficoltà nel pianificare e proporre in classe questo tipo di esperimenti computazionali è la competenza dell'insegnante che quasi mai ha esperienza di laboratorio computazionale. Inoltre, data la complessità delle teorie e delle equazioni della quantomeccanica, questi calcoli devono essere proposti agli studenti della scuola secondaria con un approccio di tipo *black-box*.

Una strategia di successo è mettere a punto queste esperienze laboratoriali con ricercatori universitari esperti nella disciplina che possono al contempo formare gli insegnanti interessati. Un esempio segnalato anche dal MIUR come contributo significativo al progetto di Repubblica digitale, è il laboratorio MC⁴ (Molecole al Computer: Calcoli per la Chimica in Classe) realizzato da alcune scuole del Veneto in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova (Bortoli e Cestaro, 2023) in cui ragazzi ed insegnanti hanno studiato al computer le reazioni radicaliche caratteristiche degli antiossidanti naturali, scavengers di specie reattive all'ossigeno (ROS) (Bortoli e Orian, 2023). Analizzando a posteriori le difficoltà e gli errori nello svolgimento del progetto, è emerso come gran parte di questi dipendessero dalla scorretta struttura di partenza. In pratica, in qualsiasi approccio computazionale, gli studenti devono disegnare la molecola che intendono studiare con un *editor* molecolare (un buon esempio è *Avogadro*, Hanwell, 2012) che consente di disegnare sullo schermo strutture libere e pre-ottimizzarle, ovvero automaticamente proporre una struttura vicina a quella di equilibrio in pochi secondi, e se la rappresentazione è sbagliata (atomi in difetto ad esempio, ma anche errori più insidiosi come isomeri di struttura diversi o centri chirali invertiti) tutto il calcolo sarà condizionato e porterà a risultati scorretti o inattesi. Questo suggerisce che anche un'esperienza apparentemente banale come quella di disegnare strutture molecolari al computer aiuta lo studente a comprendere meglio il significato stesso della struttura e dei legami presenti, con l'ulteriore vantaggio di passare da una rappresentazione bidimensionale a una tridimensionale più realistica in cui emergono elementi quali l'ingombro sterico, distanze ed angoli caratteristici che influenzano direttamente le proprietà della molecola stessa e la sua reattività chimica.

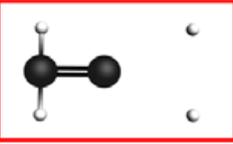
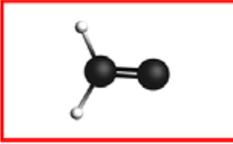
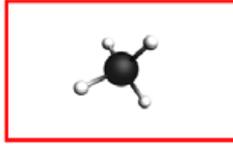
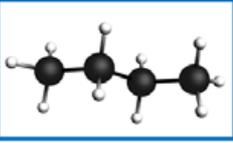
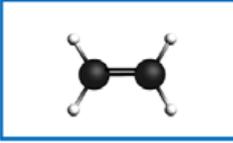
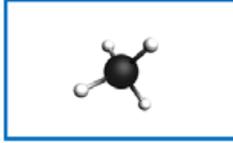
Scrivi input per ottimizzare molecola di butano con G16	Scrivi input per ottimizzare molecola di etilene con G16	Scrivi input per ottimizzare molecola di metano con G16
<p>Per ottimizzare la struttura molecolare del butano con Gaussian 16 (G16), dovresti creare un file di input Gaussian con le specifiche desiderate. Ecco un esempio di un input semplificato per un'ottimizzazione della geometria del butano:</p> <pre>%nproc=4 %mem=1GB #p b3lyp/6-31g(d) opt Butane Optimization 0 1 C 0.00000000 0.00000000 0.00000000 C 0.00000000 0.00000000 1.54030435 H 0.00000000 -1.07419776 -2.17532563 H 0.00000000 1.07419776 -2.17532563 H 0.00000000 1.07419776 1.54030435 H 0.00000000 -1.07419776 1.54030435 --Link1-- %mem=1GB %chk=butane.chk Butane Optimization</pre> <p>Questo è solo un esempio e potrebbe essere necessario modificare le basi e i metodi di calcolo in base alle esigenze specifiche del tuo studio. Assicurati di avere un file di input Gaussian valido e un software G16 installato sul tuo sistema.</p>	<pre>Etylene Optimization 0 1 C 0.00000000 0.00000000 0.00000000 C 0.00000000 0.00000000 1.32550128 H 0.00000000 1.09632205 -0.53970236 H 0.00000000 -1.09632205 -0.53970236</pre> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"></div> </div>	<pre>Metano Optimization 0 1 C 0.00000000 0.00000000 0.00000000 H 0.63093900 0.63093900 0.63093900 H -0.63093900 -0.63093900 0.63093900 H 0.63093900 -0.63093900 -0.63093900 H -0.63093900 0.63093900 -0.63093900</pre> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid red; padding: 5px; text-align: center;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"></div> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"></div> </div>

Figura 10.6 – Risultati (riquadri azzurri) di ChatGPT alla richiesta (riquadri sovrastanti) di preparare un input per il calcolo della struttura di semplici molecole organiche. Le strutture suggerite (coordinate in rosso e riquadri rossi) sono in accordo con quelle corrette (riquadri blu) solo nel caso del metano.

sarebbe meglio spostarla a fine pagina

Un altro aiuto per l'insegnante che vuole costruire un'esperienza di calcolo può venire dall'intelligenza artificiale. Ad esempio, ChatGPT prepara input per programmi di calcolo popolari. Questo approccio richiede tuttavia cautela e al momento non è sempre affidabile. Ad esempio, chiedendo di scrivere un input per *Gaussian16* (Fritsch, 2016), software commerciale ben noto e molto usato in ricerca e in ambito educativo, che consenta di ottimizzare le geometrie di una molecola di butano, etilene e metano, AI fornisce un risultato tecnicamente corretto e adeguato a risolvere il problema, ma purtroppo sbaglia completamente molecola tranne nel caso del metano (Figura 10.6). È tuttavia interessante per l'insegnante esplorare le potenzialità di AI in ambito chimico, discusse anche recentemente in una prestigiosa rivista americana (Castro Nascimento, 2023). Accertata la capacità di strumenti come ChatGPT di rispondere in modo corretto a quesiti e problemi di tipo chimico, almeno su alcuni argomenti, si può pensare di costruire delle attività didattiche specifiche da proporre agli studenti in classe. Questo sviluppo suscita molto interesse ed è attualmente oggetto di grande dibattito, ma i tentativi in ambito chimico sono ancora molto limitati.

4. Risorse per l'insegnante

La Divisione Didattica della Società Chimica Italiana (DD-SCI) è impegnata attivamente nel proporre nuovi modelli di didattica laboratoriale attraverso le sue scuole, in particolare la *Scuola nazionale di didattica della chimica "Giuseppe Del Re"* e la *Scuola permanente per l'aggiornamento degli insegnanti di scienze sperimentali (SPAIS)* rivolte agli insegnanti delle scuole secondarie superiori e la *Scuola di ricerca educativa e di didattica chimica "Ulderico Segre"* rivolta ai docenti universitari. Utili spunti per attività laboratoriali si trovano nel periodico della Divisione *CnS - La Chimica nella Scuola*, a libero accesso nel sito della SCI. Molto materiale, in lingua inglese, è reso disponibile nelle sezioni didattiche della Royal Society of Chemistry e della American Chemical Society, che pubblicano anche due riviste di riferimento per gli aspetti teorici e pratici legati all'insegnamento della chimica: rispettivamente *Chemistry Education Research and Practice* e il *Journal of Chemical Education*. Altre riviste in cui è possibile trovare materiale per l'insegnamento della chimica sono *Chemistry Teacher International*, del Committee on Chemistry Education di IUPAC, e *Education Sciences*, che è rivolta alla didattica delle scienze in generale.

Bibliografia e sitografia

- I. Abrahams, R. Millar, *Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science*, Int. J. Sci. Educ., 30 (2008) pp. 1945-1969.
- P. Ardizzone, P.C. Rivoltella, *Didattiche per l'e-Learning*, Roma, Carocci, 2004.
- H. Y. Agustian, M. K. Seery, *Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education: a proposed framework for their design*, Chem. Educ. Res. Pract., 18 (2017), pp. 518-532.
- G. Ashkenazi, G. C. Weave, *Using lecture demonstrations to promote the refinement of concepts: the case of teaching solvent miscibility*, Chem. Educ. Res. Pract., 8 (2007), pp. 186-196.
- A. Berthoz, *Semplicità*, Torino, Codice, 2013 (ed. or. 2002).
- M. Bortoli, M. Cestaro, A. De Togni, L. Gianni, E. Lion, L. Giuffreda, R. Predonzan, R. Romualdi, L. Orian, *Molecole al computer: calcoli per la chimica in classe*, in *Insegnare chimica con passione!*, a cura di L. Orian, M. Gobbo e G. Villani, Padova University Press, 2023, Cap. 5, pp. 69-80.
- M. Bortoli, L. Orian, *Antioxidant potential of anthocyanidins: a healthy computational activity for high school and undergraduate students*, J. Chem. Educ., 100 (2023), pp. 2591-2600.
- J. Bruner, *La mente a più dimensioni*, Roma-Bari, Laterza, 1993 (ed. or. 1986).

- L. B. Buck, S. L. Bretz, M. H. Towns, *Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory*, J. College Sci. Teach., 37 (2008), pp. 52-58.
- A. Colburne, *An inquiry primer*, Science Scope, 23 (2000), pp. 42-44.
- F. Caruana, A. Borghi, *Il cervello in azione*, Bologna, il Mulino, 2016.
- C. M. Castro Nascimento, A. S. Pimentel *Do large language models understand chemistry? A conversation with ChatGPT*, J. Chem. Inform. Model., 63 (2023), pp. 1649-1655.
- M. Ceruti, *La scuola e le sfide della complessità*, Studi sulla Formazione, 20 (2017), pp. 9-20.
- Y. Chevallard, *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*, Grenoble, La Pensée Sauvage, 1989.
- R.B. Corey, L. Pauling, *Molecular Models of Amino Acids, Peptides, and Proteins*, Rev. Sci. Instruments 24(8) (1952), pp. 621-627.
- C. J. Cramer *Essentials of Computational Chemistry Theories and Models*, 2nd Ed. Wiley, 2007.
- E. Damiano, *La mediazione didattica. Per una teoria dell'insegnamento*, Milano, Franco Angeli, 2013.
- D. S. Domin, *A review of laboratory instruction styles*, Chem. Educ. Res. Pract., 76 (1999), pp. 543-547.
- L.-K. Dong, Z.-H. Li, S.-Yu Zhang, *Using computational chemistry to improve students' multidimensional understanding of complex electrophilic aromatic substitution reactions: further analysis of the solvent effect, temperature influence, and kinetic behaviors*, J. Chem. Educ., 98 (2021) pp. 3226-3236.
- D. Fadda, G. Vivanet, *Tecnologie digitali e didattica laboratoriale nell'educazione STEM. Evidenze scientifiche e raccomandazioni pratiche*, Quaderni dell'osservatorio, 37, (2021).
- M.A. Floriano, R. Zingales, *Il Laboratorio di Chimica in Classe, Per le scuole superiori*, Bologna, Tramontana, 2000.
- M. J. Frisch et al. *Gaussian 16 Rev. C.01*. Wallingford, CT, 2016.
- K. R. Galloway, Z. Malakpa, S. L. Bretz, *Investigating affective experiences in the undergraduate chemistry laboratory: students' perceptions of control and responsibility*, J. Chem. Educ., 93 (2016), pp. 227-238.
- A. Grushow, S. Hunnicutt, M. Muñiz, B. A. Reisner, S. Schaertel, R. Whitnell, *A community's vision of instruction in the chemistry laboratory*, J. Chem. Educ., 99 (2019), pp. 3811-3813.
- P. Gryczka, E. Klementowicz, C. Sharrock, M. Maxfield, J. K. Montclare, *Lablessons: effects of electronic prelabs on student engagement and performance*, J. Chem. Educ., 93 (2016), pp. 2012-2017.
- W.P. Hall, L. Gunning, *Physical Chemistry in Context: Using Quantum Mechanics to Understand the Greenhouse Effect*, J. Chem. Educ., 100(3) (2023), pp. 1333-1342.
- M.D. Hanwell, D.E. Curtis, D.C. Lonie, T. Vandermeersch, E. Zurek, G.R. Hutchison, *Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform*. J. Cheminformatics, 4(1) (2012), p 17.
- A. Hofstein, V. N. Lunetta, *The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century*, Sci. Education, 88 (2004), pp. 28- 54.
- A. Hofstein, *The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation, and research*, Chem. Educ. Res. Pract., 5 (2004), pp. 247-264.

- A. Hofstein, M. Kipnis, I. Abrahams, *How to learn in and from the laboratory*, in *Teaching Chemistry – A Studybook*, a cura di I. Eilks, A. Hofstein, Rotterdam, Sense Publishers, 2013, pp. 170-172.
- A. Hofstein, *21-The Development of High-Order Learning Skills in the Chemistry Laboratory*, in *Chemistry education best practices, opportunities and trends*, a cura di J. Garcia-Martinez, E. Serrano-Torregrosa, Weinheim, Wiley, 2015.
- K. Hosbein, J. Walker, *Assessment of scientific practice proficiency and content understanding following an inquiry-based laboratory course*, *J. Chem. Educ.*, 99 (2022), pp. 3833-3841.
- A. H. Johnstone, A. J. B. Wham, *The demands of practical work*, *Education in Chemistry*, 19 (1982), pp. 71-73.
- V. K. Kolil, S. Muthupalani, K. Achuthan, *Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy*, *Int. J. Educ. Technology in Higher Educ.*, 17 (2020), 30, pp. 1-22
- W.L. Koltun USA Patent No. US3170246A (1965).
- D. Laurillard, **D.**, *Insegnamento come scienza della progettazione*, Milano, Franco Angeli, 2014 (ed. or. 2012).
- J.M. Montgomery, D.A. Mazziotti *Maple's quantum chemistry package in the chemistry classroom*, *J. Chem. Educ.*, 97 (2020), pp. 3658-3666.
- E. Morin, A.B. Kern, *Terra-Patria*, tr. it. Milano, Raffaello Cortina, 1994 (ed.or. 1993).
- A. Nehring, S. Busch, *Chemistry Demonstrations and Visual Attention: Does the Setup Matter? Evidence from a Double-Blinded Eye-Tracking Study*, *J. Chem. Educ.*, 95 (2018), 1724–1735.
- G. Orosz, V. Nemeth, L. Kovacs, Z. Somogyi, E. Korom, *Guided inquiry-based learning in secondary- school chemistry classes: a case study*, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 24 (2023), pp. 50—70.
- V. K. L. Osorio, W. de Oliveira, O. A. El Seoud, *Hard Water and Soft Soap: Dependence of Soap Performance on Water Hardness*, *J. Chem. Educ.*, 82 (2005) pp.257-259.
- D. J. Paterson, *Design and evaluation of integrated instructions in secondary-level chemistry practical work*, *J. Chem. Educ.*, 96 (2019), pp. 2510-2517.
- E. C. Person, D. R. Golden, B. R. Royce, *Salting Effects as an Illustration of the Relative Strength of Intermolecular Force*, *J. Chem. Educ.*, 87 (2010), pp. 1332-1335.
- D. N. Potier, *The use of guided inquiry to support student progress and engagement in high school chemistry*, *J. Chem. Educ.*, 100 (2023), pp. 1033-1038.
- N. Reid, *The Johnstone Triangle: The Key to Understanding Chemistry*, RSC, 2021.
- P.C. Rivoltella (a cura di), *Apprendere a distanza. Teoria e metodi*, Milano, Raffaello Cortina, 2022.
- G. Rizzolatti, **C.**, Sinigaglia, C., *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Milano, Raffaello Cortina, 2006.
- J. A. Schmidt-McCormack, M. N. Muniz, E. C. Keuter, S. K. Shaw. R. S. Cole, *Design and implementation of instructional videos for upper-division undergraduate laboratory courses*, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18 (2017), pp. 749-762.
- M. K. Seery, H. Y. Agustian, E. D. Doidge, M. M. Kucharski, H. M. O'Connor, A. Price, *Developing laboratory skills by incorporating peer-review and digital badges*, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18 (2017), pp. 403-419.
- M. K. Seery, H. Y. Agustian, X. Zhang, *A framework for learning in the chemistry laboratory in Israel* *J. Chem.*, 59 (2019), pp. 546-553.

- M. K. Seery, *Establishing the laboratory as the place to learn how to do chemistry*, J. Chem. Educ., 97 (2020), pp. 1511-1514.
- B. Z. Shakhshiri, *Chemical demonstrations: a handbook for teachers of chemistry*, I-V, Madison, UW Press, 1983-2011.
- M. Sibilio, *La didattica semplice*, Napoli, Liguori, 2013.
- M. Sibilio (a cura di), *Vicarianza e didattica. Corpo, cognizione, insegnamento*, Brescia, ELS, 2017.
- H. D. Snyder, T. G. Kucukkal, *Computational chemistry activities with Avogadro and ORCA*, J. Chem. Educ., 98 (2021), pp. 1335-1341.
- L. Szalay, Z. Toth, *An inquiry-based approach of traditional 'step-by-step' experiments*, Chem. Educ. Res. Pract., 17 (2016), pp. 923-961.
- J. P. Walker, V. Sampson, S. Southerland, P. J. Enderle, *Using the laboratory to engage all students in science practices*, Chem. Educ. Res. Pract., 17 (2016), pp. 1098-1113.
- T. Wang, W. Wang, J. Wei, *Challenges encountered by student teachers in an inquiry-based laboratory process*, J. Chem. Educ., 99 (2022), pp. 3954-3963.
- D. Winnicott, *Gioco e realtà*, tr. it. Roma, Armando 1974 (ed. or. 1971).
- D. Zhang *Enhancing students' understanding of the structures and aromaticities of cyclobutadiene and cyclooctatetraene through a computational chemistry exercise*, J. Chem. Educ., 100 (2023), pp. 3717-3723.
- American Chemical Society- Students & Educators* [<https://www.acs.org/education.html>] (ottobre 2023).
- ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue. OpenAI* [<https://openai.com/blog/chatgpt/>] (ottobre 2023).
- Chemistry Education Research and Practice* [<https://www.rsc.org/journals-books-databases/about-journals/chemistry-education-research-practice/>] (ottobre 2023).
- Chemistry Teacher International* [<https://degruyter.com/journal/key/cti/html>] (ottobre 2023).
- CNS – La Chimica nella Scuola* [<https://www.soc.chim.it/it/riviste/cns/catalogo>] (ottobre 2023).
- Divisione didattica della SCI* [<http://www.soc.chim.it/it/divisioni/didattica/home>] (ottobre 2023).
- Education Sciences* [<https://www.mdpi.com/journal/education>] (ottobre 2023).
- Journal of Chemical Education* [<https://pubs.acs.org/journal/jceda8>] (ottobre 2023).
- JoVE* [<https://www.jove.com/it/>] (ottobre 2023).
- Labster* [<https://www.labster.com>] (ottobre 2023).
- PhET Interactive simulations* [<https://phet.colorado.edu>] (ottobre 2023).
- Rapid miner* [<https://rapidminer.com/platform/>] (ottobre 2023).
- Royal Society of Chemistry - Education* [<https://edu.rsc.org/>] (ottobre 2023).
- Sim City* [<https://www.ea.com/it-it/games/simcity>] (ottobre 2023).
- Stella* [<http://www.iseesystems.com/software/education/StellaSoftware.aspx>] (ottobre 2023).