

Didattica della Chimica Generale nei Percorsi Formativi (PF60/30/36)

Rossana Galassi

Scuola di Scienze e Tecnologie, Sezione Chimica, c/o ChIP, dell'Università di Camerino
e-mail: rossana.galassi@unicam.it

Abstract. This short article illustrates some aspects of the general chemistry courses in the teaching classes A028, A034, A050 and B12 activated in UNICAM in the PF60/30/36 enabling courses. These PF courses were introduced in Italy in the Prime Minister Decree of 4th August 2023 to offer an opportunity for post-graduate training qualifying for teaching in first and second levels secondary schools. In particular, this article describes teaching approaches based on four fundamental pillars of chemistry teaching: 1) disciplinary knowledge, 2) the importance of epistemological approaches, 3) the application and development of models, and 4) laboratory practices.

Keywords: percorsi formativi; didattica chimica; chimica generale; triangolo di Johnstone; laboratori didattici

1. Introduzione

I corsi di formazione post-laurea denominati PF30, PF36 e PF60 sono percorsi formativi abilitanti, strutturati in Crediti Formativi Universitari (CFU), introdotti per ottenere l'abilitazione all'insegnamento nella Scuola Secondaria di primo e secondo grado in Italia. Il PF60 è il percorso standard costituito da 60 CFU (1 CFU = 5 ore di lezione/esercitazione) per chi non è già abilitato, mentre i PF30 e PF36 sono percorsi ridotti che richiedono requisiti specifici, come anni di servizio e/o il superamento di un concorso.

Questi percorsi includono lezioni, laboratori e tirocini, e sono stati organizzati dalle università per preparare i docenti alla professione del docente e consentire l'accesso alle graduatorie e ai concorsi futuri.

L'Università di Camerino (UNICAM) ha attivato percorsi formativi per l'abilitazione all'insegnamento sin dall'anno accademico 2023/2024, coprendo diverse classi di concorso. I PF60 prevedono un numero di posti contingentato ai quali possono accedere laureati secondo quanto indicato nell'allegato 1 del D.P.C.M. 4 agosto 2023. I PF30 prevedono un corso di 30 CFU, anche esso con un numero di posti contingentato, al quale possono accedere laureati con esperienza di insegnamento come indicato nell'allegato 2 del DPCM dall'art. 2-ter, comma 4-bis, del D. Lgs. 13 aprile 2017, n. 59, e anche i laureati vincitori di concorso ai sensi dell'art. 13, comma 2, del D. Lgs. 13 aprile 2017, n. 59; per quest'ultimi non è stato previsto un numero contingentato, ma un numero illimitato di iscrizioni. Ai PF30 possono anche iscriversi docenti che sono già in possesso di abilitazione su una classe di concorso o su un altro grado di istruzione (ex art. 13 del D.P.C.M. 4 agosto 2023) [1]. Hanno accesso ai corsi PF36 i vincitori di concorso che hanno già acquisito 24CFU/CFA e gli ITP vincitori di concorso anche se sprovvisti dei 24 CFU/CFA.

Le classi di concorso qui menzionate prevedono una formazione sugli aspetti generali della didattica e sulla parte disciplinare, secondo i programmi indicati nel Ministero dell'Istruzione e del Merito (MIM). La didattica della chimica generale è inclusa nel corso di matematica e scienze (A028), di scienze e tecnologie chimiche (A034), di scienze naturali, chimiche e biologiche (A050) e dei laboratori di scienze e tecnologie chimiche e microbiologiche (B12). Il superamento dei corsi attivati in

queste classi di concorso abilita i docenti per l'insegnamento nella Scuola Secondaria di secondo grado, mentre la classe B12 abilita docenti tecnico pratici e la classe A028 docenti per la Scuola Secondaria di primo grado nell'insegnamento della matematica e delle scienze. I corsi PF60/30/36 accolgono studenti che si differenziano sia per la varietà delle loro conoscenze in ingresso che per il grado di esperienza. I candidati della classe A034 sono laureati in chimica, farmacia e CTF, ma anche in ingegneria chimica, mentre quelli afferenti alla classe A050 e A028 sono laureati in corsi scientifici di vario genere, per la maggior parte scienze biologiche, geologiche, agrarie o naturali.

La varietà di conoscenze e di competenze in ingresso impongono un'attenzione particolare nell'impostazione didattica dei corsi PF, visto che la conoscenza disciplinare, come anche la sensibilità verso la chimica, quale una scienza centrale nelle scienze naturali, non possono essere date per scontate. Un altro aspetto rilevante è che le diverse classi di concorso presentano obiettivi formativi disciplinari differenziati; di conseguenza, i moduli di chimica generale nei vari corsi di insegnamento risultano sostanzialmente differenti. Tuttavia, l'insegnamento della chimica generale nei corsi A050 e A034 ha degli obiettivi in comune: fornire strumenti utili per una efficace azione didattica, sollecitare le riflessioni su alcuni punti didattici chiave, come l'uso costante di modelli che vengono aggiornati dal biennio al triennio di studio, introdurre un linguaggio specifico della chimica e, soprattutto, correlare costantemente i tre livelli di apprendimento: il microscopico, il macroscopico e il simbolico, secondo le indicazioni di Alex Johnstone [2, 3], noto come triangolo di Johnstone, poi esteso a un modello didattico tetraedrico, includente il livello umano [4]. I tre livelli della chimica disciplinano le azioni didattiche e il futuro docente deve essere allenato a un esercizio di scorrimento automatico tra un livello e un altro.

La progettazione didattica dei futuri insegnanti appartenenti a queste classi di concorso si basa sull'osservazione di fenomeni macroscopici, provenienti dal mondo reale, o ricreati attraverso esperimenti appositamente progettati, dai quali avviare una discussione. Tale discussione, ispirandosi a leggi e modelli già noti, dovrebbe condurre a un eventuale aggiornamento del modello e a un'interpretazione corretta attraverso una descrizione simbolica e/o matematica rigorosa. Fondamentalmente, si tratta di progettare delle attività che permettano di applicare il metodo scientifico, osservare, fare delle ipotesi, provare con esperienze e rimodulare le ipotesi fino a verificare correttamente le relazioni analitiche e approdare a modelli aggiornati [5].

La capacità di correlare i diversi livelli nella didattica della chimica, così come in altre scienze, non è innata: si tratta di una competenza specifica che si acquisisce tramite esercizio e pratica. Nell'insegnamento della chimica della classe A028, cioè la classe dei docenti per la Scuola Secondaria di primo grado, la triangolazione di Johnstone dei livelli della chimica perde un vertice e diventa una correlazione binaria tra l'osservazione macroscopica e la ricerca mediante il metodo scientifico di modelli microscopici che possano descrivere l'osservazione. In questa fase di apprendimento i docenti devono guidare gli studenti all'osservazione di fenomeni o di esperimenti pratici, stimolare l'attenzione ai particolari e alla loro descrizione, condurre alla ricerca di correlazioni esistenti tra le evidenze osservate; l'intento è quello di costruire deduttivamente delle possibili spiegazioni e sviluppare modelli semplici e verificabili. Nel caso specifico, in UNICAM, la didattica della chimica nel corso A028 è stata erogata prendendo a riferimento i materiali erogati dal gruppo SENDS dell'Università degli Studi di Torino, relativo alla natura particellare della materia [6]. Seguendo le sequenze didattiche indicate, gli studenti vengono guidati nell'applicazione di un modello particellare semplificato basato su semplici assiomi: la materia è costituita da particelle indeformabili con dimensioni e volumi costanti, ad ogni particella si associa un tipo di sostanza e ogni particella ha una sua massa. Una volta appreso, il modello viene applicato alla comprensione degli stati di aggregazione della materia, dei passaggi di stato e di proprietà fisiche come la densità, o la miscibilità dei liquidi.

Per quello che riguarda la preparazione dei docenti afferenti alla classe B12, la didattica della chimica presenta un focus quasi esclusivo nel livello macroscopico. Questi futuri docenti, che tra tutti quelli considerati in questa breve introduzione, sono quelli con la preparazione di base più diversificata e meno approfondita, sono preposti alla pratica laboratoriale e si occupano della predisposizione del-

le attività di laboratorio e della progettazione didattica in collaborazione con i docenti disciplinari. L'azione didattica di chimica generale è particolarmente dedicata a possibili esperimenti da eseguire in laboratorio, a determinarne gli obiettivi formativi e a individuare la loro contestualizzazione nelle sequenze didattiche.

2. Didattica della Chimica Generale

La didattica della chimica generale ed inorganica nella classe A050 è stata erogata con 10 ore di didattica frontale, mentre nella A034 con 20 ore di lezione frontale. I due corsi presentano sillabi molto sovrapponibili in termini di contenuti, ma gli obiettivi formativi si differenziano con livelli di approfondimento più marcati nella classe A034 rispetto alla A050. La chimica nella A034 viene insegnata approfondendo gli aspetti teorici e di calcolo numerico, e con modelli più dettagliati.

Avendo a disposizione un numero modesto di ore, ed escludendo azioni meramente dedicate ai saperi disciplinari, entrambi i corsi di didattica della chimica generale sono stati strutturati considerando quattro pillar fondamentali, di seguito descritti.

2.1 Autovalutazione della conoscenza disciplinare

Avere consapevolezza del proprio sapere è una condizione primaria per l'insegnamento; il sapere un concetto e la capacità di insegnarlo non può essere dato per scontato solo per il fatto di aver ricevuto una laurea affine o inerente alla materia. La storia della chimica ci insegna che il tentativo di migliorare l'approccio didattico approfondendo i propri saperi ha permesso di ottenere peculiari risultati scientifici; ne sono un esempio gli studi di Cannizzaro sui pesi molecolari [8] e quelli di Mendeleev sulle leggi periodiche degli elementi [9]: le prime ore di lezione sia per la A034 che per la A050 sono state dedicate proprio a questo aspetto. L'attività è stata progettata ponendo domande sulle definizioni di alcuni concetti base della chimica, ad esempio, la definizione di: elemento chimico, molecola, ione, sostanza, e mole. A seguire, queste definizioni sono state paragonate con quelle presentate da testi accademici sia italiani, che extra-europei, con quelle riportate su Wikipedia e in app di intelligenza artificiale (ChatBot, ad esempio). Dopo questa discussione iniziale, le definizioni sono state confrontate con quelle pubblicate sul Gold Book della IUPAC [10]. Questo esercizio effettuato in modalità dialogica interattiva ha messo in luce il processo di evoluzione della scienza chimica e la sua necessità sia di rigorosità che di semplificazione. Un esempio è quello della definizione di elemento chimico, una definizione che si incontra nelle primissime lezioni di chimica [11, 12]. Cercando nei testi accademici italiani ed americani troviamo le seguenti definizioni: a) *un elemento è una sostanza che non può essere scissa in sostanze più semplici*, oppure b) *l'elemento è un'entità immateriale priva di proprietà fisiche e chimiche, radice di una determinata specie chimica, caratteristica comune ai suoi atomi, alle sue molecole, ai suoi ioni ai suoi isotopi. Esso è caratterizzato da due dati: un simbolo, e un numero d'ordine, il numero atomico, che indica la posizione della specie chimica nella tavola periodica, ...*, oppure c) *l'elemento è la specie chimica costituita da atomi dello stesso tipo, ovvero atomi aventi lo stesso numero di protoni nel nucleo*. Nel Gold Book appaiono le seguenti definizioni che introducono anche il concetto di sostanza elementare: 1) *A species of atoms; all atoms with the same number of protons in the atomic nucleus*; 2) *A pure chemical substance composed of atoms with the same number of protons in the atomic nucleus. Sometimes this concept is called the elementary substance as distinct from the chemical element as defined under (1), but mostly the term chemical element is used for both concepts* [13].

Le definizioni IUPAC sono molto distanti dalla definizione a); quest'ultima prevede una pratica macroscopica come il ridurre qualcosa di macroscopico a qualcosa di molto piccolo, che astrattamente pone un limite alle divisioni. Il dibattito scaturito da questa introduzione sulle conoscenze disciplinari ha permesso di mettere a confronto fonti e materiali didattici caratterizzati da gradi di rigorosità molto diversi, mentre l'uso di strumenti online basati sull'Intelligenza Artificiale ha permesso di osservare possibili scenari didattici con in quali il confronto sarà inevitabile, data l'estesa fruizione di questa app da parte degli studenti.

2.2 Valenza degli approcci didattici epistemologici

Entrambi i sillabi di A050 e A034 contengono l'indicazione di utilizzare approcci didattici basati sullo sviluppo storico epistemologico della chimica [14]. Questo approccio didattico, basato sullo sviluppo storico delle conoscenze, permette di spiegare leggi universali descrivendo esperimenti eseguiti con mezzi semplici, quelli disponibili all'epoca dei fatti, e seguendo osservazioni logico razionali che portano alla deduzione della legge [15]. Tale modalità permette di semplificare i concetti e facilitare l'apprendimento deduttivo. Nei corsi delle classi A050 e A034 questo aspetto è stato affrontato ripercorrendo le fasi di studio delle reazioni chimiche allo stato gassoso nel XIX secolo. In maniera particolare è stata considerata la combinazione dell'idrogeno e l'ossigeno gassoso con la formazione di H_2O , studiate da Gay Lussac nel 1808, nota come legge di combinazione dei volumi. La legge raccorda il principio di Avogadro (1811), che afferma che "*volumi uguali di gas diversi, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di molecole*", e aggiorna il modello introdotto da Dalton (1804), la prima teoria atomista moderna. Considerando i risultati di Cannizzaro sui pesi atomici [16], si arrivò alla conclusione che la legge della combinazione dei volumi esprime intrinsecamente che le particelle gassose di idrogeno e ossigeno, coinvolte nella formazione dell'acqua, devono essere necessariamente biatomiche (cioè, corrispondono alla rappresentazione simbolica di H_2 e O_2).

Dopo aver introdotto lo sviluppo storico passo dopo passo, basato sulle osservazioni delle reazioni di combinazione dell'idrogeno gassoso con l'ossigeno gassoso che portano alla formazione di acqua, secondo l'equazione chimica 1:



è stata proposta un'attività laboratoriale che mostra la reazione opposta. Viene quindi introdotta l'idrolisi dell'acqua corrispondente all'equazione chimica 2:



come reazione di decomposizione dell'acqua indotta somministrando energia elettrochimica (batteria). Questa esperienza, particolarmente facile da eseguire e sicura, mostra la produzione di gas idrogeno e ossigeno dall'acqua, non appena si avvicina la batteria alle puntine sul fondo del bicchiere, in un rapporto di volumi fedele al rapporto molare degli stessi nel composto acqua (Figura 1).

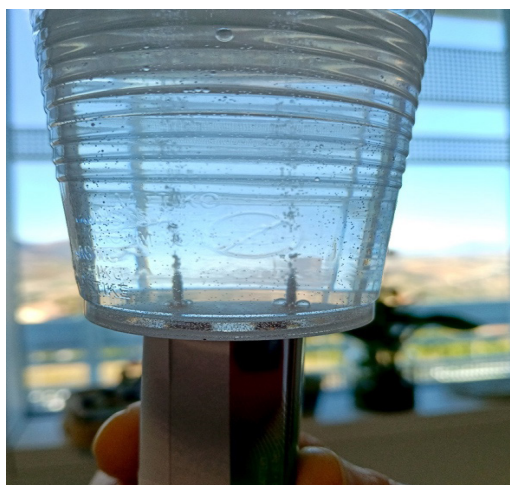


Figura 1. Immagine dello sviluppo di idrogeno ed ossigeno dall'elettrolisi di una soluzione acquosa diluita di bicarbonato di sodio

Invertendo la posizione dei poli della batteria si nota l'inversione della produzione di gas. Questo esperimento dimostra il rapporto molare di idrogeno e ossigeno nella composizione dell'acqua, ma rappresenta anche un valido approccio laboratoriale per l'introduzione allo studio dei legami chimici, alla spontaneità delle reazioni e all'elettrochimica solo per citare alcuni esempi. Alcuni di questi aspetti sono stati affrontati nel corso.

2.3 Applicazione e sviluppo di modelli

L'uso dei modelli in chimica è un aspetto didattico molto critico. Da una discussione in aula è emerso che a molti dei docenti candidati alle classi di concorso non era chiaro il significato di modello, confondendolo con rappresentazione, o addirittura con la realtà fisica. Quindi, sia per la classe A034 che per la classe A050, ma anche per la classe A028, è stata proposta un'attività iniziale sulla definizione di modello prendendo spunto dal materiale divulgato dal gruppo SENDS di UniTo [17].

In una stanza, un oggetto (un oggetto solido di ceramica a forma di tigre alta circa 25 cm) è stato sottoposto all'attenzione di cinque studenti con occhi chiusi; quest'ultimi si sono avvicinati da direzioni diverse e hanno avuto modo di toccare con le mani l'oggetto. Una volta tornati in aula, queste persone hanno poi raccontato la loro percezione tattile al resto degli studenti e seguendo le indicazioni tutti hanno rappresentato graficamente l'oggetto. Nessuna rappresentazione grafica sarà tale da descrivere effettivamente l'oggetto, ma molti disegni saranno vicini alla rappresentazione di un felino. Questo esempio mette in luce come la composizione particellare della materia è impercettibile ai nostri sensi e, quindi, lo studio della materia può essere effettuato solo mediante modelli derivanti da osservazioni scientifiche indirette. Lo sviluppo storico delle teorie e la ricerca di modelli sempre più rigorosi e semplificati spiega il motivo per il quale esistono più modelli. Ne sono un esempio i modelli per descrivere la geometria delle molecole. Il modello basato sull'ibridazione degli orbitali atomici, descritto nella teoria del legame chimico di Pauling [18], è molto utile, ma didatticamente complicato: modelli matematici come gli orbitali s, p, d che si mescolano per ottenere gli orbitali ibridi è piuttosto difficile da apprendere. Il modello basato sulla repulsione delle coppie di elettroni di legame e di non legame risulta più semplice e diretto, anche per effetto della possibilità di visualizzare l'effetto delle repulsioni steriche di palloncini gonfi legati tra loro che tendono ad acquisire delle geometrie ben specifiche [19]. Il docente può e deve applicare sinergicamente entrambi i modelli per spiegare le forme delle varie molecole, indicando di volta in volta l'equivalenza degli stessi in termini di risultati.

2.4 Pratica laboratoriale

La didattica della chimica generale con il supporto di laboratori esplorativi e dimostrativi che utilizzano materiali poveri e sicuri è una pratica da incoraggiare. Quest'aspetto è stato particolarmente affrontato nelle lezioni della classe B12 proponendo pratiche laboratoriali con materiali abbastanza sicuri ed economici. L'insegnamento della stechiometria viene solitamente affrontato discutendo un "problema" e risolvendo la questione con calcoli numerici. Uno dei primi aspetti affrontati nella stechiometria è il rapporto molare nelle reazioni chimiche. Didatticamente, l'apprendimento di questo aspetto è piuttosto deduttivo e può essere facilitato utilizzando delle semplici pratiche laboratoriali che si basano su reazioni che sviluppano gas. Nella figura 2 i palloni contengono volumi proporzionali di gas liberati da tre beute contenenti bicarbonato di sodio e aceto (l'equazione chimica di riferimento è $\text{NaHCO}_{3(s)} + \text{CH}_3\text{COOH}_{(aq)} \rightarrow \text{NaOOCCH}_{3(aq)} + \text{CO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$) accuratamente pesati nel rapporto molare 1:1, ma in quantità doppia e tripla in massa nelle beute 2 e 3, rispettivamente. Queste pratiche laboratoriali permettono di integrare le conoscenze (ad esempio, i calcoli si affrontano richiamando la legge dei gas), di generalizzare i contenuti, considerando anche reazioni della vita di tutti i giorni (ad esempio, la decomposizione del sodio azoturo nell'air bag), e di interpretare i risultati ottenuti matematicamente con delle rappresentazioni che siano fedeli al modello particellare, chiudendo quel triangolo virtuoso della didattica della chimica noto come triangolo di Johnstone.

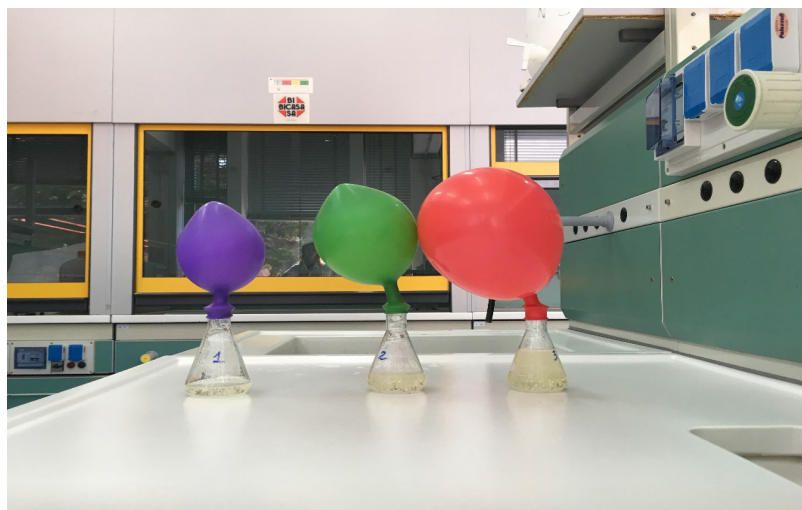
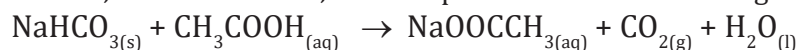


Figura 2. Immagine di tre beute con bicarbonato e aceto in rapporto molare 1:1, ma in quantità doppia e tripla in massa, rispettivamente, nelle beute 2 e 3, e dei tre palloncini di raccolta dei gas evoluti dalla reazione



3. Conclusioni

La didattica della chimica generale nei PF60/30/36 per le classi di concorso A028, A050, A034, B12 è stata erogata in UNICAM con 10-20 ore di lezione a seconda della classe di concorso. Il limitato numero di ore ha dettato la necessità di selezionare alcuni aspetti della didattica e in questo contributo sono state discusse alcune priorità didattiche a seconda della classe di concorso. L'insegnamento della didattica della chimica generale, da molti partecipanti non laureati in chimica intesa come un ripasso dei concetti principali, si è invece basata su un approccio didattico olistico, che ha preso in considerazione aspetti disciplinari, metodologici, laboratoriali e anche filosofici della scienza stessa. I corsi PF sono percorsi post-laurea che permettono a un giovane laureato di acquisire gli strumenti necessari per affacciarsi alla professione del docente e, in generale, l'istituzione di questi corsi è molto positiva in quanto colma una carenza formativa esistente in Italia, strutturando una filiera dedicata a chi vuole intraprendere la professione del docente.

Nelle prime tre edizioni dei corsi PF, soltanto una piccola percentuale dei partecipanti erano giovani laureati, mentre la maggioranza presentava situazioni di precarietà nel sistema scolastico o aspirava ad aumentare le proprie possibilità di impiego nelle scuole in cui già lavorava, ottenendo nuove abilitazioni. Le tre edizioni di PF hanno visto un afflusso di coorti di candidati estremamente eterogeneo tra loro; ad esempio, in UNICAM, nel caso dell'A034, nella prima edizione la maggior parte dei candidati erano laureati in Chimica, mentre nell'ultima quasi tutti avevano una laurea in Farmacia o CTF e alcuni provenivano da contesti extra-scolastici, come l'industria. Tra quelli già attivi nel mondo della scuola, molti erano abilitati come insegnanti di sostegno, ma, per valorizzare la propria laurea, avevano intrapreso il percorso PF per diventare insegnanti disciplinari. Questa grande diversità tra i candidati ha messo in evidenza le svariate sensibilità all'insegnamento della chimica. Durante gli esami finali, in cui venivano presentate UdA e mini-lezioni, ogni candidato, in base alle proprie caratteristiche personali e seguendo le indicazioni fornite, interpretava gli argomenti assegnati o scelti, adattandoli a obiettivi di apprendimento specifici e a competenze chiave e/o trasversali. I candidati hanno spesso evidenziato nelle attività trasversali l'impatto ambientale e climatico della "chimica", ma quelli laureati in corsi extra-Chimica hanno sottolineato come la "chimica" causa il problema ambientale, smentendo implicitamente l'idea che essa possa esserne la soluzione.

Riferimenti bibliografici

- [1] <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2023/09/25/23A05274/sg>
- [2] K. S. Taber, Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education, *Chem. Educ. Res. Pract.* 2013, **14**, 156-168.
- [3] A. H. Johnstone, Foreword in *Multiple Representations in Chemical Education* (Eds., J. K. Gilbert, D. F. Treagust), Springer, Dordrecht, 2009, pp. v-vi.
- [4] J. Sjöström, Towards building-oriented chemistry education, *Science & Education*, 2013, **22**, 1873-1890 (<https://doi.org/10.1007/s11191-011-9401-0>).
- [5] J. A. Young, Teaching the scientific method in college general chemistry, *J. Chem. Ed.*, 1957, **34**, 238-239.
- [6] https://www.sends.unito.it/sites/www.sends.unito.it/files/SENDS%20S1%202.1b-Micro%20Intro-Modello%20818%20Ins_0.pdf
- [7] R. Zingales, Il metodo didattico di Stanislao Cannizzaro, *CnS*, 2023, **4**, 4-24.
- [8] D. I. Mendeleev, The natural system of elements and its application to the indication of the properties of undiscovered elements, *J. Russ. Chem. Soc.*, 1871 **3**, 25-56.
- [9] <https://goldbook.iupac.org/>
- [10] E. Ghibaudi, A. Regis, E. Roletto, Il concetto di elemento: dai filosofi greci alle odierne definizioni, *CnS*, 2012, **XXXIV**(2), 92-98.
- [11] E. Scerri, E. Ghibaudi. *What is a chemical element?*, Oxford University Press, New York, 2020, pp. 257-279 (ISBN:9780190933784).
- [12] <https://goldbook.iupac.org/terms/view/C01022>
- [13] E. Ghibaudi, A. Regis, E. Roletto, Models from history to the classroom: an historic-epistemological approach to chemistry teaching, *CnS*, 2012, **XXXIV**(3), 135-140.
- [14] E. Aquilini, A. Testoni, Il senso di leggere i grandi classici della Chimica: Perché una rubrica dedicata a percorsi didattici con approccio storico-epistemologico, *CnS*, 2022, **1**, 44.
- [15] L. Cerruti, *Commento e nota storica di "Sunto di un corso di filosofia chimica" di Stanislao Cannizzaro* (introduzione di Leonello Paoloni), Biblioteca siciliana di storia e letteratura, Sellerio Editore, Palermo, 1991.
- [16] <https://www.sends.unito.it/it/content/materiale-didattico>
- [17] L. Pauling, *The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals*, first published in 1939 by Cornell University Press.
- [18] R. J. Gillespie, H. Istvan, *The VSEPR Model of Molecular Geometry*, Dover Publications, 2012, (ISBN 048648615X; 9780486486154).
- [19] R. Ricci, M. A. Ditzler, Discovery chemistry: A laboratory-centered approach to teaching general chemistry, *J. Chem. Educ.*, 1991, **68**(3), 228-231.

