

# C<sub>n</sub>S

## La Chimica nella Scuola

n. 4 anno 2023

- Come motivare e divertire gli studenti nel calcolo del pH e non solo
- Attività laboratoriali inclusive per gli studenti con BES
- Stanislao Cannizzaro: il suo approccio didattico e la sua fondamentale partecipazione al Convegno di Karlsruhe del 1860
- Il plagio va indietro nel tempo
- Due libri che meritano di essere letti



Società Chimica Italiana

**DIRETTORE ONORARIO**

Gianluca Farinola

**COMITATO EDITORIALE**

*Direttore:* Margherita Venturi

*Vice-direttori:* Eleonora Aquilini, Giovanni Villani

**COMITATO DI REDAZIONE**

Eleonora Aquilini, Luigi Campanella, Giorgio Cevasco,  
Marco Ciardi, Valentina Domenici, Maria Funicello,  
Silvano Fuso, Elena Ghibaudi, Elena Lenci, Anna Maria Madaio,  
Raffaele Riccio, Antonella Rossi, Antonio Testoni,  
Francesca Turco, Mariano Venanzi, Margherita Venturi,  
Giovanni Villani, Roberto Zingales

**COMITATO SCIENTIFICO**

*Presidente:* Luigi Campanella

Vincenzo Balzani, Agostino Casapullo, Carlo Fiorentini



**ISSN: 0392-8942**

REGISTRAZIONE: 03/05/1996 n. 219 presso il Tribunale di Roma.

PERIODICITÀ: Bimestrale

# Indice

## Editoriale

- Mi piacevano i temporali estivi, ma ora... ..... 1  
**Margherita Venturi**

## L'approccio storico-epistemologico per la scuola superiore

- Il metodo didattico di Stanislao Cannizzaro ..... 4  
**Roberto Zingales**

## Percorsi laboratoriali

- L'inclusione degli studenti con BES nelle attività del Laboratorio di  
Chimica ..... 24  
**Cristina D'Agostino, Daniele Solazzo, Antonio Palumbo, Maria Di  
Mieri, Christian Rigardo**
- Un apprendimento relativo alla velocità istantanea di reazione..... 42  
**Pasquale Fetto, Roberto Soldà**

## Un nuovo approccio al calcolo del pH e non solo

- Imparare la chimica analitica con il coding in Python ..... 49  
**Giovanni Merola, Jacopo Campagna, Samuele Celletti, Michele  
Maglia**

## Pagine di storia

- Gli atti del Convegno di Karlsruhe del 1860..... 82  
**Maurizio D'Auria**
- Plagio ovvero i mediocri copiano..... 105  
**Renato Noto**

## Libri da leggere

- Giovanni Villani: L'interpretazione chimica del vivente - Fondamenti sistemici delle scienze della vita ..... 114  
**Recensione di Elena Ghibaudi**
- Piero Angela: Dieci cose che ho imparato ..... 121  
**Recensione di Luigi Campanella**

## News

- La notte dei Musei ..... 122  
**Luigi Campanella**
- Diffusione della cultura chimica/eventi importanti..... 124  
**Antonella Rossi**
- Due progetti per la scuola e per i cittadini ..... 125  
**Luigi Campanella**

## Mi piacevano i temporali estivi, ma ora...

**Margherita Venturi**

Cara lettrice e caro lettore,

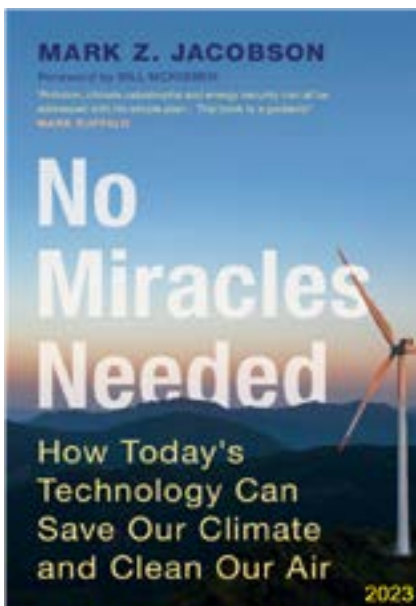
mi piacevano i temporali estivi, mi piaceva la pioggia che batteva sui tetti, sugli alberi e sulle strade, rinfrescando l'aria. Ora non mi piacciono più; non sono più i temporali di una volta, ma eventi devastanti: case scoperchiate, alberi abbattuti, strade trasformate in fiumi, ponti travolti dalla furia dell'acqua, frane e persone evacuate. È da inizio maggio, quando l'estate non era ancora cominciata almeno da calendario, che quasi ogni giorno ascoltiamo questo bollettino di guerra e io, purtroppo, ne so qualcosa, dal momento che abito nella zona dell'Emilia-Romagna più colpita dall'alluvione del 16 maggio scorso. Ma non è finita qui; questo clima impazzito ci regala non solo acqua a catinelle (sarebbe meglio dire a secchiate), ma anche incendi dovuti alla siccità e alle temperature torride (non escludo però che qualche volta ci sia la mano dell'uomo) e, ancora una volta, ho potuto toccare con mano. A luglio, per partecipare ad un convegno, sono dovuta andare a Palermo; ero contenta perché per qualche giorno avrei dimenticato il fango che ancora ricopriva il pian terreno della mia casa, ma sono caduta dalla padella alla brace, nel senso letterale del termine: atterrando in serata a Punta Raisi mi sono trovata nel bel mezzo di incendi che illuminavano le montagne circostanti e rendevano l'aria irrespirabile; il mio è stato l'ultimo volo atterrato a Punta Raisi e anche il giorno successivo, il primo del convegno, non è stato facile, dal momento che autostrade chiuse, ferrovia non funzionante e aeroporto aperto a singhiozzo hanno reso difficile l'arrivo dei partecipanti.

La situazione che sta diventando sempre più frequente è quella di un'Italia divisa in due: una parte sommersa dall'acqua e un'altra devastata dagli incendi.



E poi c'è ancora chi dice che non è vero che il clima è cambiato e che gli eventi estremi ci sono sempre stati. Questo è verissimo se consideriamo l'intera vita del nostro pianeta e se parliamo di ere geologiche; ora la situazione è diversa: i cambiamenti stanno avvenendo non sulla scala dei milioni o delle migliaia di anni, ma di pochi anni e con un'accelerazione sempre più spinta. Basta pensare che dal 21 giugno al 1° luglio di quest'anno solo in Italia ci sono stati tredici eventi estremi al giorno e che alla Quarta Conferenza Nazionale sul Clima che si è tenuta a luglio a Roma, organizzata da Italy for Climate, è stato lanciato un allarme: l'Italia è entrata in una fase di anormalità climatica permanente.

Se non prenderemo seri provvedimenti e in fretta, i prossimi anni non saranno certamente rosei. Cosa fare, però, lo sappiamo perché è da tempo che la scienza ci indica la strada; ad esempio, Mark Z. Jacobson, all'inizio di quest'anno, ha pubblicato un libro in cui dimostra che per sostituire i combustibili fossili con fonti energetiche rinnovabili non servono miracoli, ma solo la volontà di farlo. Purtroppo, ci sono ancora troppi sordi e troppi ciechi.



Dopo esserti annoiato con le mie lamentele, che ormai ti propino in ogni editoriale, ti puoi tirare su di morale leggendo questo numero del CnS che offre spunti interessanti per il rientro a scuola.

In ben due contributi si affronta la figura di Stanislao Cannizzaro: in uno viene ricordato il suo impegno didattico, mentre nell'altro,

che rivisita gli atti del Convegno di Karlsruhe del 1860, viene sottolineata in più punti l'importanza di questo chimico palermitano per "fare ordine" nella chimica di fine Ottocento. Sempre legato alla storia della chimica, c'è poi un articolo simpatico e interessante sul plagio, un "reato" che sembra avere origini abbastanza lontane.

Inoltre, trovi contributi da "spendere" direttamente in aula che riguardano come coinvolgere e divertire gli studenti con il calcolo del pH e non solo, ma anche come affrontare concetti di cinetica spesso trascurati e come includere in attività laboratoriali studenti con BES, sempre più numerosi nelle nostre classi.

E ancora, puoi leggere la recensione di due recenti libri, uno "più impegnativo" e uno "più leggero", che a mio avviso sono entrambi da non perdere; infine, come sempre, il numero si chiude con qualche news.

Alla prossima

*Allegherita*

# Il metodo didattico di Stanislao Cannizzaro

**Roberto Zingales**

Gruppo Nazionale di Fondamenti  
e Storia della Chimica (GNFSC)

e-mail: robertozingales@outlook.it

---

**Abstract.** By analysing some Stanislao Cannizzaro's papers and conference texts, it can be shown the way in which he taught atomic theory, which he considered the turning point in XIX century Chemistry.

**Keywords:** Cannizzaro; ipotesi di Avogadro; teoria atomica; didattica

---

## 1. Premessa

Il chimico palermitano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) è noto e stimato in tutto il mondo per la sua attività di ricerca, la sua capacità organizzativa e, soprattutto, per il suo contributo determinante alla risoluzione del problema dei pesi atomici e molecolari. Meno studiata, ma non per questo meno significativa, è stata la sua attività didattica (Tabella 1), nella quale profuse la stessa cura e attenzione dedicate agli altri aspetti della sua vita professionale.

---

**Tabella 1.** Curriculum didattico di Cannizzaro

---

1845-1847	Università di Pisa	Preparatore straordinario nel Laboratorio di Chimica
1851-1855	Collegio Nazionale di Alessandria	Professore di Fisica, Chimica e Meccanica Lezioni pubbliche serali di Chimica e Meccanica elementare
1855-1861	Università di Genova	Professore di Chimica
1861-1872	Università di Palermo	Professore di Chimica Organica e Inorganica
1872-1909	Università di Roma	Professore di Chimica Organica

---

Non avendo mai prodotto un libro di testo convenzionale, l'impostazione e i contenuti delle sue lezioni possono essere dedotti da alcuni suoi articoli e testi di conferenze sull'argomento, molti dei quali sono stati ristampati di recente (Tabella 2) [1].



**Tabella 2.** Elenco dei testi esaminati

<b>Anno</b>	<b>Titolo</b>	<b>Forma</b>
1858	Lezioni sulla teoria atomica	Pubblicazione su <i>Liguria medica</i> [2]
1858	Sunto di un Corso di Filosofia chimica	Pubblicazione su <i>Il nuovo Cimento</i> [3]
1860		Intervento al Congresso di Karlsruhe [4]
1872	Considerations on some points of the theoretic teaching of Chemistry	<i>Faraday Discussion</i> [5]
1875	Discorso di apertura della Classe III del I Congresso della Società Italiana per il Progresso delle Scienze	Pubblicato su <i>Gazzetta Chimica Italiana</i> [6]
1891	Discorso ai colleghi dell'Università di Roma	Pubblicato postumo su <i>Rassegna Contemporanea</i> [7]
1895	Appunti di lezione redatti da Umberto Neyroz	ASPI, Archivi on line [8]

Da essi è possibile capire quali preoccupazioni suscitasse in lui il dover insegnare agli allievi una scienza in continua evoluzione e, per questo, ancora afflitta da grossi equivoci di fondo. Non potendo ricostruire l'esatto ordine con il quale Cannizzaro esponeva i diversi argomenti, per le evidenti discrepanze tra questi testi, si cercherà di individuarne i capisaldi e la strategia didattica generale.

## **2. La formazione chimica di Cannizzaro e il suo progetto didattico**

Pur avendo frequentato per tre anni la Facoltà Medica dell'Università di Palermo, Cannizzaro non si laureò mai, né in Medicina, né in Chimica; tuttavia, negli anni tra il 1845 e il 1847, ebbe l'opportunità di svolgere un efficace tirocinio chimico nel laboratorio di Raffaele Piria, all'Università di Pisa, e di completare poi la propria formazione teorica e sperimentale, nel laboratorio di Chevreul, durante il suo breve esilio a Parigi.

A metà Ottocento, la Chimica stava vivendo il suo periodo di massima evoluzione e il suo carattere *eminente progressivo* [5] implicava un continuo ampliamento delle conoscenze e una continua revisione di ipotesi e teorie, che costringevano gli addetti ai lavori a un aggiornamento costante che, secondo Cannizzaro, doveva estendersi anche ai discenti, a dispetto dei problemi che tutto ciò comportava.

Alla fine del Settecento, le lezioni di Chimica consistevano ancora in un'elencazione (verosimilmente noiosa e, comunque, difficile da memorizzare) di svariati fatti, nozioni, ricette di natura empirica, privi di una visione d'insieme

che li collegasse e li razionalizzasse, e di quel fondamento matematico che, secondo Kant, era il requisito essenziale perché una disciplina acquisisse lo status di Scienza [9]. Tuttavia, grazie all'approccio rivoluzionario di Lavoisier, che aveva posto le determinazioni quantitative alla base della ricerca scientifica, e alla scoperta di leggi empiriche ben fondate su fatti sperimentali, come quelle degli equivalenti, delle proporzioni costanti e multiple e dei volumi gassosi, all'inizio dell'Ottocento, la Chimica si era trasformata in una scienza ben fondata su basi numeriche, che esprimeva i fatti sperimentali con un linguaggio e un simbolismo semplici e non equivoci, attraverso formule ed equazioni chimiche.

Anche gli insegnanti dovevano adeguarsi riflettendo su cosa e quanto trasmettere agli studenti alle prime armi di una disciplina nella quale regnava ancora tanta confusione, soprattutto nell'interpretazione dei fatti e nella formulazione delle teorie. Ancora, negli anni '60 dell'800, in Francia, l'autorevole chimico Jean-Baptiste Dumas invitava i soci dell'Accademia a pronunciarsi su quali forme dovesse assumere l'insegnamento [10].

Cannizzaro era ben consapevole di tutto ciò e, sin dall'inizio della sua carriera di insegnante, si pose il problema di come trasmettere agli allievi, sin dalle prime lezioni, rigore, chiarezza e semplicità concettuale. Poiché era evidente che questo era possibile solo a condizione che il docente per primo avesse le idee chiare sugli argomenti che esponeva a lezione, iniziò una profonda riflessione su quale fosse il metodo migliore per avvicinare i discenti alla Chimica.

Durante la sua attività di preparatore a Pisa, si era reso conto dell'enorme valore didattico delle dimostrazioni pratiche svolte durante le lezioni frontali, tanto è vero che, in tutte le sedi nelle quali insegnò, chiese sempre di poter disporre di aule attrezzate per le dimostrazioni sperimentali e laboratori didattici per gli studenti. Tuttavia, era anche ben consapevole del fatto che un corso di lezioni, impostato soltanto sugli enunciati delle leggi chimiche, la descrizione degli esperimenti e le dimostrazioni pratiche, senza una teoria chiara e semplice, che li spiegasse, li collegasse e li razionalizzasse, rischiava di restare monco e poco comprensibile. Questa non poteva essere che la teoria atomico-molecolare, che non solo aveva interpretato e armonizzato le leggi empiriche già individuate, ma aveva contribuito a farne scoprire delle altre, rendendo più chiari e accessibili, anche ai chimici professionisti, i concetti fondamentali della Chimica e più comprensibile il linguaggio, giustificando l'origine, il significato, il valore e l'uso delle formule grezze e delle equazioni.

Cannizzaro, però, voleva che gli studenti accettassero la teoria atomica non in maniera acritica, come un fatto assodato, ma attraverso un percorso logico induttivo, rigidamente basato sulla descrizione degli esperimenti e sull'interpretazione dei risultati, lungo il quale lui stesso li accompagnava, presentando fatti e ipotesi nel loro succedersi cronologico: in altre parole, attraverso la Storia della Chimica. Queste convinzioni lo portarono sempre a prestare la massima cura all'organizzazione e alla preparazione delle proprie

lezioni e a non tralasciare nessuna occasione per discutere, con i colleghi italiani e stranieri, non solo la validità della teoria atomico-molecolare, cercando di prevenirne e superarne obiezioni e resistenze, ma anche quale dovesse essere l'impostazione da dare alle lezioni di *Filosofia chimica* (cioè di quelle teorie che cercavano di interpretare, spiegare e prevedere i fatti chimici).

### 3. L'impostazione e il contenuto delle lezioni

Iniziata la sua carriera d'insegnante nel 1851, già nel 1858, a Genova, Cannizzaro aveva pubblicato due articoli, intitolati *Lezione sulla teoria atomica* [2] e *Sunto di un corso di filosofia chimica* [3], nei quali mostrava che tipo di impostazione intendesse dare alle proprie lezioni. Mentre, nel secondo, svolgeva dettagliatamente gli argomenti delle sue prime otto lezioni (Tabella 3), nel primo esponeva soltanto i contenuti della prima lezione, che divideva in tre parti: la prima era *dommatica*, nel senso che dava per accertata la natura corpuscolare della materia, nella seconda anticipava gli argomenti della lezione (Tabella 4) e nella terza esaminava la genesi e lo sviluppo della teoria dei gas.

---

**Tabella 3.** Elenco delle prime otto lezioni riportate nel *Sunto* [3]

---

<b>Lezione 1</b>	Descrizione delle proprietà dei gas
<b>Lezione 2</b>	Ragioni del rifiuto dell'ipotesi di Avogadro e Ampère
<b>Lezione 3</b>	Rassegna delle indagini fisiche sul comportamento dei gas
<b>Lezione 4</b>	Rassegna delle teorie chimiche dopo Berzelius
<b>Lezione 5</b>	Applicazione dell'ipotesi di Avogadro e Ampère
<b>Lezione 6</b>	Esame della composizione delle molecole dei cloruri; uso della legge dei calori specifici
<b>Lezione 7</b>	Studio dei radicali composti
<b>Lezione 8</b>	Confronto del comportamento dei diversi radicali metallici

---

---

**Tabella 4.** Punti salienti della prima lezione, illustrati nell'articolo su *Liguria Medica* [2]

---

<b>1</b>	Come dedurre i pesi relativi delle molecole, sia semplici che composte
<b>2</b>	Come determinare, da questi pesi, i pesi relativi dei loro elementi costituenti (legge degli atomi)
<b>3</b>	Come scoprire la legge fondamentale che regola i rapporti di combinazione dal rapporto tra le quantità di ciascun elemento, che entrano nel corpo semplice e nei suoi composti
<b>4</b>	Come esprimere le formule dei corpi semplici e composti, utilizzando i pesi atomici, rappresentati dai simboli chimici

---

Queste variazioni nell'impostazione e nella successione degli argomenti sono presenti anche negli altri articoli, per cui qui si cercherà di evidenziare quelli

che per lui costituivano i punti salienti delle lezioni, gli argomenti ai quali attribuiva carattere fondamentale e propedeutico al resto del corso, facendo riferimento soprattutto alla *Faraday Lecture* [5], tenuta dopo un ventennio di esperienza in classe, durante il quale Cannizzaro avrà certamente avuto modo di rielaborare la propria strategia didattica e di verificarne le ricadute sugli studenti.

Sin dalle prime lezioni, puntava al cuore del problema che, ancora a fine anni '50 dell'800, continuava a travagliare i chimici: il disaccordo tra le diverse tabelle dei pesi atomici. In particolare, i valori ottenuti con un approccio fisico, dal confronto tra le densità delle sostanze gassose, risultavano differenti da quelli ottenuti con un approccio chimico, attraverso la composizione percentuale delle sostanze solide [11]:

... quando dovevo esporre le così dette generalità della Chimica, ero tormentato da alcune contraddizioni che vi erano nelle applicazioni delle teorie atomiche e molecolari, dalla discrepanza nei concetti direttivi della Chimica inorganica e di quella detta organica.

Il non essere riusciti a risolvere queste discrepanze aveva portato i chimici ad accantonare il problema, rassegnandosi a distinguere l'atomo fisico da quello chimico, e a usare due scale differenti di pesi atomici, in chimica organica e in chimica inorganica. Sebbene assolutamente insoddisfacente, questa soluzione sembrava l'unica praticabile e rischiava di essere sancita nel Congresso di Karlsruhe [4]. Cannizzaro rifiutò l'una e l'altra distinzione, perché aveva capito che i due approcci sperimentali non erano in conflitto, anzi, potevano e dovevano essere armonizzati, se si voleva arrivare alla soluzione del problema dei pesi atomici [11]:

... Stimolato e sospinto dal desiderio di sbrogliare questa matassa ai miei allievi, io mi misi a percorrere passo a passo tutta la storia della dottrina ... e così potei scoprire la cagione delle contraddizioni e discrepanze e il modo di eliminarle introducendo alcune modificazioni nel sistema dei pesi atomici e delle formule allora in uso.

Un corso di Filosofia chimica tradizionale avrebbe dovuto iniziare con l'enunciato del principio di conservazione della massa, formulato da Lavoisier, evidenziando come esso fosse indipendente da qualunque ipotesi sulla natura, continua o discontinua, della materia e inducendo gli allievi a considerare materia *tutto ciò che è ponderabile*, a interpretare le sue trasformazioni semplicemente come *aggiunta o sottrazione di oggetti ponderabili*, a identificare il peso dei reagenti e quello dei prodotti come l'aspetto essenziale dello studio delle reazioni e a considerare come accessorie, sia le indicazioni sul loro stato fisico che sul loro volume. Una volta recepito, questo aspetto

essenziale dei fenomeni chimici costituiva una base solida sulla quale poggiare nuove informazioni, non altrettanto generali o non comprese e dimostrate con la stessa certezza.

Invece, Cannizzaro preferiva spingersi ancor più indietro, fino a Galilei e Torricelli, che aveva determinato il peso dell'aria, e poi Boyle, Amontón e Gay-Lussac che avevano quantificato l'elasticità dei gas (compressibilità ed espansibilità), che risultava uniforme per tutti, a prescindere dalla loro differente identità e comportamento chimico, per arrivare al fondamentale punto di snodo, costituito dall'ipotesi di Avogadro e di Ampère, che lui considerava la base di partenza per mettere chiarezza nei concetti di atomo e molecola, ancora troppo confusi all'interno della comunità scientifica [12]:

Io credo che i progressi della scienza, fatti in questi ultimi anni, abbiano confermato l'ipotesi di Avogadro, di Ampère e di Dumas sulla simile costituzione dei corpi allo stato aeriforme, cioè che i volumi eguali di essi, sieno semplici, sieno composti, contengono l'ugual numero di molecole; non però l'ugual numero di atomi, potendo le molecole dei vari corpi e quelle dello stesso corpo nei vari suoi stati, contenere un vario numero di atomi, sia della medesima natura, sia di natura diversa.

L'incipit del Sunto, sopra riportato, metteva subito in chiaro il suo pensiero:

1. l'ipotesi di Avogadro è corretta e va applicata anche ai fenomeni chimici, come le reazioni tra sostanze gassose, nelle quali Gay-Lussac ha individuato la semplicità dei rapporti tra i volumi;
2. essa è corretta solo se è applicata alle molecole e non agli atomi, perché i gas reali sono costituiti da molecole e non da singoli atomi;
3. le molecole elementari non costituiscono il limite ultimo della divisibilità chimica, perché sono costituite da più atomi eguali, che possono separarsi nel corso delle reazioni chimiche.

Cannizzaro, non solo sanciva la differenza tra atomo e molecola, ma, soprattutto, ne ribaltava le gerarchie, antepoñendo le molecole agli atomi sul piano concettuale e la determinazione dei pesi molecolari a quella dei pesi atomici, su quello sperimentale [13]:

... invece di partire dai criteri chimici per determinare i pesi delle molecole e dimostrare in seguito la loro proporzionalità alle densità gassose, io parto da quest'ultima proposizione, che è la teoria di Avogadro, Ampère, Krönig e Clausius, dimostrandola colle considerazioni fisiche; fondo su di essa la dimostrazione di limiti di divisibilità dei corpi semplici, cioè dell'esistenza degli atomi elementari; prendo le occasioni a misura che si presentano per dimostrare che i pesi delle molecole e i numeri di atomi che vi sono contenuti, de-

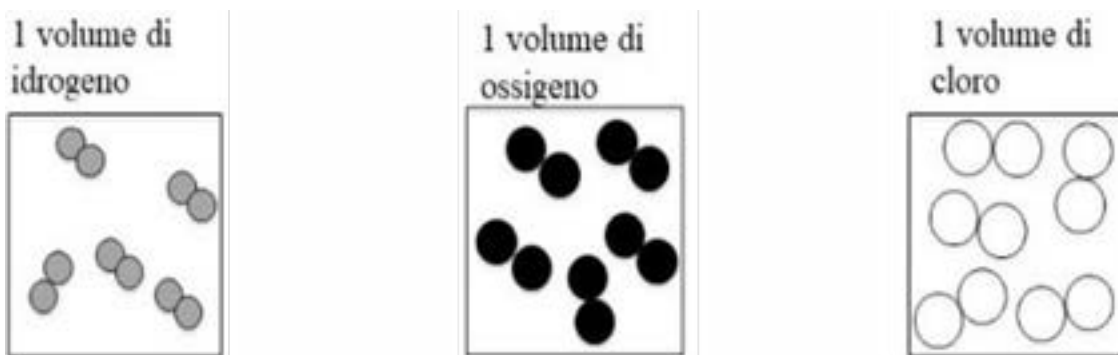
dotti dall'applicazione di questa teoria, sono d'accordo co' criteri introdotti da Williamson ...

Esponneva poi la teoria atomica di Dalton, conducendo gli allievi a rendersi conto da soli [14]:

... dell'arbitrio che v'ha nella scelta dei pesi molecolari dei composti, del numero degli atomi elementari contenutovi, e de' pesi attribuiti a ciascuno di questi ultimi, non disponendo d'altri dati sperimentali, se non della composizione ponderale de' corpi. ... Sarà facile convincerli che queste difficoltà sarebbero eliminate, se si disponesse di controprove de' pesi delle molecole. ...

A questo punto, riprendeva l'ipotesi di Avogadro, per raggiungere due obiettivi: 1) mettere a punto un metodo certo per la determinazione dei pesi molecolari; 2) interpretare la legge di Gay-Lussac in termini molecolari e determinare la composizione atomica delle molecole elementari.

Data per corretta l'ipotesi di Avogadro, come mostrato schematicamente in figura 1, nelle stesse condizioni di temperatura e pressione, volumi eguali di gas differenti contenevano lo stesso numero di molecole. Perciò, confrontare volumi eguali significava confrontare il peso di un egual numero di molecole e, quindi, determinare il rapporto tra i pesi di due singole molecole.



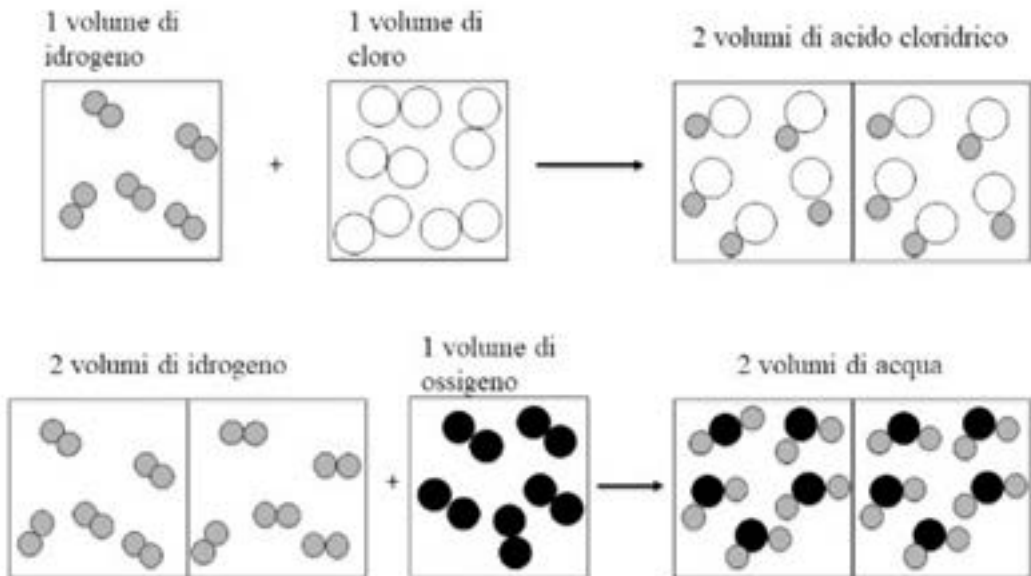
**Figura 1.** Rappresentazione schematica del principio di Avogadro [15]

Allora, il confronto tra i pesi di volumi eguali di un qualunque gas e di quello preso come riferimento avrebbe dato il peso molecolare relativo di quel gas. Se era scontato scegliere, come termine di riferimento, l'idrogeno, il gas più leggero tra quelli noti, non altrettanto banale era la scelta del valore numerico convenzionale da attribuire al suo peso molecolare.

Dal punto di vista concettuale, era naturale attribuire valore unitario al peso

dell'unità di riferimento; tuttavia, dall'interpretazione microscopica della legge di Gay-Lussac, Cannizzaro ricavava la dimostrazione della differenza tra atomo e molecola e l'indizio, già colto da Avogadro e altri dopo di lui, che la molecola di idrogeno fosse costituita da due atomi eguali, che potevano separarsi nel corso delle reazioni.

Come schematizzato in figura 2, se un volume di idrogeno si combinava con un egual volume di cloro per dare due volumi di acido cloridrico, questo risultato imprevisto implicava chiaramente che, per ottenere una molecola di acido cloridrico bastava che si combinassero mezza molecola di idrogeno e mezza molecola di cloro; e se due volumi di idrogeno si combinavano con uno di ossigeno per darne due di vapor d'acqua, ne derivava che una molecola di idrogeno si combinava con mezza molecola di ossigeno per darne una di vapor d'acqua.



**Figura 2.** Rappresentazione schematica della legge di Gay-Lussac [15]

Per questo, pur utilizzando la molecola d'idrogeno come termine di riferimento dei pesi molecolari, attribuì il valore unitario alla sua metà, perché era la quantità più piccola che contribuiva al peso molecolare delle sostanze contenenti idrogeno, come, per esempio, l'acido cloridrico. Non ancora pronto a dare la definizione di atomo [16], nel *Sunto* Cannizzaro usava estesamente il termine mezza molecola, inaccettabile ai chimici, che ritenevano la molecola elementare una particella ultima, e possibile fonte di confusione per gli studenti, ai quali chiedeva di accantonare temporaneamente la teoria di Dalton e seguirlo nel ragionamento che avrebbe sviluppato subito dopo.

Coloro che avevano attribuito valore 1 al peso di un volume di idrogeno, pur avendo ottenuto pesi corretti per le molecole di ossigeno, azoto, alogeni, che ritenevano monoatomiche, nel caso di tutte le molecole volatili delle sostanze composte, avevano ricavato valori dei pesi molecolari doppi di quelli corretti e, quindi, formule molecolari doppie, come già messo in evidenza da Gerhardt. Invece, attribuendo valore 2 al peso del volume di riferimento dell'idrogeno, si ottenevano, per i pesi molecolari di tutte le altre sostanze gassose, semplici o composte, valori congrui con quelli ottenuti attraverso altre procedure sperimentali (Figura 3) [17].

Così, le formule dei composti erano associate a numeri concreti (i pesi di volumi eguali di gas diversi), più semplici da maneggiare, rispetto a quel sistema di uno, due o quattro volumi, che si era cercato di introdurre, aumentando la confusione, a discapito della comprensione. Per Cannizzaro, era fondamentale che gli studenti comprendessero la concretezza reale di questi pesi molecolari, perché, in mancanza di qualsiasi informazione sulle proprietà degli enti microscopici (atomi, molecole), riteneva che al chimico non restasse altro che muoversi sul piano macroscopico, affidandosi a grandezze che, come il peso, potevano essere misurate.

L'aver utilizzato l'approccio fisico per ottenere valori corretti dei pesi molecolari, poneva Cannizzaro in una posizione di vantaggio rispetto a coloro che non lo avevano voluto accettare o prendere in considerazione. La procedura da lui messa a punto per determinare i pesi atomici, utilizzando, come Dalton, Berzelius e tanti altri, i parametri chimici ottenuti dai rapporti di combinazione e dalla composizione percentuale delle sostanze, era semplice, anche se concettualmente densa di significato.

Invitava gli studenti a scegliere un elemento e a considerare il maggior numero possibile dei suoi composti ottenibili nello stato aeriforme, dei quali erano noti i valori di densità, e quindi i pesi molecolari. Combinando questi pesi con la loro composizione percentuale, ottenuta dall'analisi chimica quantitativa, gli studenti potevano determinare il peso di ciascun elemento presente in una quantità dei suoi composti pari al loro peso molecolare, cioè quanti grammi di esso erano presenti in una molecola del composto.



NOME DEL CORPO	PESO di un volume, ossia peso della mole- cola riferito al peso della mezza mole- cola di idro- geno = 1.	PESI	
		componenti un volume, <sup>99</sup> ossia pesi componenti la molecola, tutti riferiti al peso della mezza molecola d'i- drogeno = 1.	
Idrogeno	2	2	d'idrogeno.
Ossigeno ordinario	32	32	d'ossigeno.
Ossigeno elettrizzato	128	128	d'ossigeno.
Solfo sotto 1000°	192	192	di solfo.
Solfo sopra 1000° (?)	64	64	di solfo.
Fosforo <sup>40</sup>	124	124	di fosforo.
Cloro	71	71	di cloro.
Bromo	160	160	di bromo.
Jodo	254	254	d'iodo.
Azoto	28	28	d'azoto.
Arsenico	300	300	d'arsenico.
Mercurio	200	200	di mercurio
Acido cloridrico	36,5	35,5	di cloro
Acido bromidrico	81	80	bromo
Acido iodidrico	128	127	d'iodio
Acqua	18	16	d'ossigeno
Ammoniaca	17	14	d'azoto
Idrogeno arsenicato	78	75	d'arsenico
Idrogeno fosforato	35	32	di fosforo
Calomelano	235,5	35,5	di cloro
Sublimato	271	71	"
Cloruro d'arsenico	181,5	106,5	"
Protocloruro di fosforo	138,5	106,5	"
Percloruro di ferro	325	213	"
Protossido d'azoto	44	16	d'ossigeno
Biossido d'azoto	50	16	"
Ossido di carbonio	28	16	"
Acido carbonico	44	32	"
Eterene	28	4	d'idrogeno
Propilene	42	6	"
Acido acetico idrato	60	4	"
Acido acetico anidro	102	6	"
Alcool	46	6	"
Etere	74	10	"

Figura 3. Pesi molecolari ottenuti dal confronto delle densità gassose

In figura 4 sono riportati i risultati per alcune molecole contenenti idrogeno, ossigeno e cloro, comprese quelle elementari [18]. Esaminando con attenzione questi risultati, gli studenti dovevano accorgersi che, in ciascuna tabella, l'elemento selezionato era presente con pesi differenti, ma tutti multipli interi del più piccolo di essi. Questo valore minimo era 1 per l'idrogeno, 16 per

l'ossigeno, 35,5 per il cloro, non divisibile, perché partecipava una, o più volte al peso totale delle molecole, ma mai con valori intermedi, cioè con multipli non interi della quantità più piccola, per cui Cannizzaro concludeva [19]:

La legge degli atomi si rivela allora da se stessa. I pesi di ciascun elemento che entrano nelle molecole che lo contengono, sono sempre multipli interi d'uno stesso peso; si chiama atomo questa quantità minimum che entra sempre intera nelle molecole.

Fornì, così, una definizione macroscopica dell'atomo, e, nello stesso tempo, un criterio esatto per la determinazione dei pesi atomici.

Una molecola	di idrogeno libero	contiene	2	di idrogeno	= 2 × 1	329
»	di acido cloridrico	»	1	»	= 1 × 1	
»	di acido bromidrico	»	1	»	= 1 × 1	
»	di acido iodidrico	»	1	»	= 1 × 1	
»	di acido cianidrico	»	1	»	= 1 × 1	
»	di acqua	»	2	»	= 2 × 1	
»	di idrogeno solforato	»	2	»	= 2 × 1	
»	di acido formico	»	2	»	= 2 × 1	
»	di ammoniaca	»	3	»	= 3 × 1	
»	di gas idrogeno fosforato	»	3	»	= 3 × 1	
»	di acido acetico	»	4	»	= 4 × 1	
»	di eterene	»	4	»	= 4 × 1	
»	di alcool	»	6	»	= 6 × 1	
»	di etere	»	10	»	= 10 × 1	
Una molecola	di ossigeno libero	contiene	32	di ossigeno	= 2 × 16	
»	ozono	»	128	»	= 8 × 16	
»	acqua	»	16	»	= 1 × 16	
»	etere	»	16	»	= 1 × 16	
»	acido acetico	»	32	»	= 2 × 16	
»	ec. ec. ec.					
Una molecola	di cloro libero	contiene	71	di cloro	= 2 × 35,5	330
»	acido cloridrico	»	35,5	»	= 1 × 35,5	
»	sublimato corrosivo	»	71	»	= 2 × 35,5	
»	cloruro d'arsenico	»	106,5	»	= 3 × 35,5	
»	cloruro di stagno	»	142	»	= 4 × 35,5	
»	ec. ec. ec.					

**Figura 4.** Determinazione dei pesi atomici di idrogeno, ossigeno e cloro

A differenza di quelli che Dalton aveva ricavato da un'ipotesi non dimostrata, questi pesi atomici erano il risultato del trattamento di dati *sperimentali*, mediante una procedura che, esaminato un numero sufficientemente ampio di composti, metteva al riparo dal pericolo di ottenere valori contrastanti, multipli o sottomultipli di quello corretto. Dalton aveva avuto a disposizione un numero di relazioni (i rapporti tra i pesi di combinazione) inferiore a quello delle incognite (la composizione atomica e i pesi atomici). Cannizzaro aveva aumentato il numero delle equazioni indipendenti nelle stesse incognite,

perché, grazie al principio di Avogadro, poteva correttamente paragonare i pesi di uno stesso numero di molecole di gas diversi. Quegli stessi atomi che per Dalton erano espressione dei rapporti dei pesi di *combinazione* degli elementi, per Cannizzaro indicavano anche la *composizione* di volumi eguali di gas [20]:

Ecco gli atomi di Dalton, che esprimono non solo i rapporti tra i pesi degli elementi che si combinano, ..., ma anche la composizione di volumi gassosi eguali. ... Gli atomi dei diversi elementi hanno pesi differenti. Ciò risulta direttamente dalle cifre date dall'esperienza; ma non è questa un'ipotesi preconcepita.

Questo concetto di atomo era tanto svincolato da quello di molecola da consentire, per esempio, di determinare il peso atomico del carbonio, senza conoscere quello della sua molecola (Figura 5) [20].

NOMI DEI COMPOSTI DI CARBONIO	PESI delle molecole riferiti all'atomo <sup>19</sup> d'idrogeno	PESI		FORMULE ** facendo H=1; C=12 O=16; S=32
		dei componenti	le molecole riferiti al peso dell'atomo d'idrogeno preso per unità.	
Ossidio di carbonio	28	12 Carbonio	16 Ossigeno	CO
Acido carbonico	44	12 »	32 »	CO <sup>2</sup>
Solfuro di carbonio	76	12 »	64 Solfo	CS <sup>2</sup>
Gas delle paludi	16	12 »	4 Idrogeno	CH <sup>4</sup>
Eterene	28	24 »	4 »	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>
Propilene	42	36 »	6 »	C <sup>3</sup> H <sup>6</sup>
Etere	74	48 »	10 Idrog. 16 Ossig.	C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O
ec. ec.		ec. ec.		

Figura 5. Determinazione del peso atomico del carbonio

Il risultato più sorprendente era la *scoperta* che la molecola dell'elemento libero poteva contenere un numero di atomi diverso da uno: due quelle di idrogeno, ossigeno, cloro, quattro quelle di fosforo e arsenico, uno quelle di mercurio e cadmio. Avogadro e Gaudin erano giunti all'ipotesi della biatomicità della molecola d'idrogeno per spiegare la legge dei volumi di Gay-Lussac, Cannizzaro come conseguenza della legge degli atomi. In questo modo era chiarita anche la differenza tra atomo e molecola: questa era la più piccola

particella di una sostanza che era possibile trovare in Natura, che era composta da due o più atomi, uguali o diversi, che erano le più piccole particelle di un elemento che entravano a far parte delle molecole dei suoi composti, ma non necessariamente capaci di esistere non combinati.

Grazie a questa esposizione graduale e progressiva di fatti e ragionamenti, gli studenti erano in grado di dedurre, *in termini chiari, netti, coordinati e incatenati*, questa differenza e quella tra i pesi corrispondenti.

Cannizzaro poteva quindi introdurre il linguaggio delle formule, che finalmente erano *piene di significato*, perché gli studenti erano in grado di associare spontaneamente i simboli chimici agli atomi e ai loro pesi, e le formule grezze al numero di atomi contenuti nelle molecole e al loro peso totale, in modo che anche il linguaggio diventava un potente strumento conoscitivo [16], perché associava i fatti sperimentali (pesi molecolari e atomici) alla loro interpretazione (molecole e atomi).

Piuttosto che dover ricorrere, come aveva fatto Dumas, a indici frazionari per indicare il numero di molecole elementari contenute in una sostanza e rappresentare, per esempio, la molecola di acido cloridrico come composta da mezza molecola di idrogeno e mezza di cloro, era molto più conveniente affermare che essa conteneva un atomo di cloro e uno di idrogeno.

L'esistenza degli atomi era *dedotta* come una vera legge, e, per evitare il circolo vizioso di fondarla sul concetto di molecola, bastava sostituirlo con quello dei volumi eguali [21]:

... l'atomo è la quantità costante di un elemento che entra per multipli interi in volumi gassosi eguali dei composti.

La sola proprietà che fosse intimamente legata al concetto di atomo era perciò la massa, la definizione stessa della materia. La definizione concettuale di Dalton era così integrata da una definizione operativa, più utile ai chimici e quindi più facilmente accettabile: svincolato da ogni immagine di forma, grandezza, distanza, continuità o discontinuità, l'atomo non era altro che un peso costante che costituiva per multipli interi (e mai sottomultipli) i composti chimici e prendeva parte, quantitativamente inalterato, alle reazioni chimiche [21]. I fisici non riuscirono a chiarire la struttura delle particelle elementari fino al XX secolo, i chimici a metà dell'800 avevano perfettamente identificato e caratterizzato gli enti invarianti – qualitativamente e quantitativamente – nelle reazioni chimiche.

Una volta che gli studenti si erano impadroniti consapevolmente dei concetti di molecola e atomo, Cannizzaro passava a discutere i metodi sperimentali per determinarne i pesi, esaminandone i punti deboli e segnalando la necessità di ricorrere a metodi ausiliari, come il calore specifico, l'isomorfismo o le analogie, dei quali verificava i risultati alla luce del principio di Avogadro e della teoria cinetica di Clausius. Infine, esaminava quei vapori che, subendo

parziale dissociazione, costituivano una sfida alla teoria atomico-molecolare, e per i quali era più complicata la determinazione dei pesi molecolari.

#### **4. Gli argomenti accessori**

Cannizzaro era fermamente convinto che la teoria atomico-molecolare potesse risolvere i problemi che, al presente o in futuro, si sarebbero potuti presentare al chimico, o che essa stessa avrebbe messo in evidenza, e citava esplicitamente quelli della valenza (atomicità), della disposizione spaziale degli atomi, della conservazione dell'energia. Rimaneva, però, all'insegnante il problema di come affrontare questi argomenti sui quali, per mancanza di risposte sicure e sperimentalmente convalidate, *non c'era certezza*.

Come Dumas, Cannizzaro non approvava la facile soluzione di limitarsi a ignorarli, come se non esistessero, ritenendo che gli studenti, lasciati da soli ad affrontarli, *si sarebbero smarriti*, arrivando a conclusioni fondate sulla fantasia, piuttosto che su salde evidenze sperimentali. Né voleva che dessero per certe le cose che erano solo probabili e come noto ciò che si ignorava, ma cercava di tenerne sotto controllo la fantasia, lasciandoli liberi di formulare, sulla base delle proprietà chimiche e fisiche, differenti ipotesi sulla costituzione atomica e molecolare della materia, per sottoporle tutte al vaglio della ragione, valutare la differente attendibilità delle varie ipotesi, e arrivare alla conclusione che ad atomi e molecole non si potesse legare nessun altro attributo che non fosse la massa.

Riconosceva l'importanza della teoria della valenza, che si andava consolidando in quegli anni, perché includeva parecchie leggi parziali, faceva risultare relazioni importanti, consentiva di coordinare e prevedere con sufficiente sicurezza un gran numero di fatti sperimentali e perché avrebbe contribuito a far luce sulla maniera con la quale gli atomi si legano. Tuttavia, era ancora in fase di evoluzione e lasciava aperte certe questioni come, per esempio, se l'atomicità di un elemento fosse determinata e costante o potesse variare secondo determinate regole. Per evitare che gli studenti fossero indotti a estrapolazioni non giustificate dai risultati sperimentali, suggeriva agli insegnanti di mostrarne sempre ben presente la genesi storica e l'evoluzione, per capire a quale fase dello sviluppo fosse giunta [22]:

Bisogna soprattutto evitare che gli allievi si facciano della valenza degli atomi un concetto fisico e geometrico; bisogna ricordare a essi sovente che i fatti chimici non dimostrano e non contraddicono nulla sulla grandezza, la forma, la continuità, la distanza e la disposizione relativa degli atomi.

La necessità di andare oltre l'aspetto ponderale delle particelle e farsene immagini spaziali non nasceva, secondo Cannizzaro, dall'esigenza di rendersi conto dei fenomeni chimici, ma di interpretare quelli fisici [22]:

Se qualche volta siamo obbligati a usare l'espressione posizione relativa degli atomi nelle molecole e di rappresentare queste posizioni con figure schematiche, bisogna sottolineare che questi sono artifici utilizzati per esprimere con il linguaggio della vista ciò che noi percepiamo solo attraverso le trasformazioni, anche se ignoriamo completamente cosa corrisponda a ciò che chiamiamo posizione, sia nello spazio che nelle trasformazioni della materia.

Questo sembrava in contrasto con i tentativi di definire la struttura delle molecole organiche, portati avanti in quegli anni dai suoi più stretti collaboratori, Körner e Paternò. Il fatto che Cannizzaro non li ostacolasse, ma ne sollecitasse e favorisse la divulgazione delle idee, mostra la sua grandezza di scienziato e di Maestro e come non intendesse negare ai chimici il diritto di formulare ipotesi e di verificarle sperimentalmente. Diverso doveva essere l'atteggiamento degli insegnanti, ai quali chiedeva di evitare di presentare come definite ipotesi ancora da confermare [22]:

Io non credo che sia conforme allo stato attuale della scienza di affrettarsi sin dal principio di un corso di Chimica a definire la valenza degli atomi come proprietà a essi inerente, per dedurne poscia, per così dire a priori, e come corollari, i loro differenti modi di collegamento.

## 5. Gli appunti di lezione

Nel sito dell'Archivio storico della Psicologia italiana (ASPI), sono pubblicate le carte di Umberto Neyroz (1877-1927), psicologo infantile e pedagogista, raccolte dalla moglie Vittorina Lamieri, e rese disponibili dal nipote Carlo, biochimico. Tra queste ci sono alcuni quaderni relativi ai corsi della Facoltà di Medicina e Chirurgia di Roma, redatti tra il 1895 e il 1901. In due quaderni separati, sono raccolti, in due parti, indicate con i numeri I e III, le lezioni di Chimica Generale, tenute da Cannizzaro, nel 1895. Siamo, quindi, indotti a supporre l'esistenza di una parte II, verosimilmente perduta durante la Seconda Guerra Mondiale o il successivo incendio, che hanno distrutto parte dell'archivio.

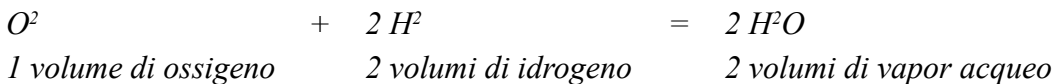
Dopo un'introduzione a carattere storico, le lezioni della parte I trattano la descrittiva di alcuni elementi non metallici, mentre la parte III è dedicata ai metalli. La grafia ordinata e l'assenza di cancellature fanno pensare che queste pagine siano state ricopiate dagli appunti presi in aula, probabilmente senza cambiare l'ordine con il quale gli argomenti erano stati svolti da Cannizzaro. Anche se un'analisi corretta dei contenuti del corso è compromessa dalla mancanza di una parte di esso, intermedia a quelle sopra descritte, qualche considerazione può essere sviluppata.

L'esame della prima parte mostra come Cannizzaro non seguisse il percorso

tracciato nel *Sunto*, ma piuttosto quello illustrato nella *Faraday Lecture* del 1872; iniziava il suo excursus storico partendo da Galilei e Torricelli, fino a Dalton, attraverso Boyle, Black, Priestley, Lavoisier, Gay-Lussac, seguendo il filo degli studi sulle sostanze gassose, delle loro proprietà fisiche e del loro comportamento chimico, riconoscendole come uno degli stati di aggregazione della materia. In accordo con la teoria dinamica del calore di Laplace, attribuiva i cambiamenti di stato al maggiore o minore grado di forza viva da cui erano animate le molecole dei corpi, del quale il calore era una conseguenza. Seguiva un richiamo a Lavoisier, del quale descriveva la teoria della combustione, in opposizione a quella del flogisto, la legge di conservazione della materia, la spiegazione dei fenomeni chimici in termini di unione o separazione di sostanze, la distinzione tra corpi semplici e composti, tra ossidi acidi, basici o indifferenti. Terminava con la legge dei rapporti costanti, la teoria atomica di Dalton, il concetto di peso atomico e la legge delle proporzioni multiple.

A meno che non fosse nella parte mancante, contrariamente a quanto ci aspetteremmo, non c'è un capitolo espressamente dedicato all'ipotesi di Avogadro-Ampère, alla determinazione dei pesi molecolari, all'atomicità delle molecole elementari, alla differenza tra atomo e molecola, alla determinazione dei pesi atomici e alla legge degli atomi, insomma ai capisaldi del *Sunto*. Piuttosto, questi argomenti erano trattati all'interno di altri, opportunamente scelti da Cannizzaro. Per esempio, dimostrava la biatomicità delle molecole di idrogeno e ossigeno sotto la voce acqua [23]:

Con un ragionamento analogo, sapendosi che in un volume di vapor acqueo c'è un intero volume di H e mezzo di O e che nei composti che fa l'H non vi è mai meno di mezzo volume, si capisce che anche la molecola dell'H è sdoppiabile e che quindi rappresentando con H l'atomo, H<sup>2</sup> ne sarà la molecola. Dunque quando l'H e l'O si combinano per formare l'acqua avremo:



Riporta l'esistenza della più piccola quantità di un elemento che entra intera o per multipli interi nei suoi composti alla voce cloro [24]:

In tutti i composti contenenti H la quantità di H è sempre eguale o multiplo intero di volte della quantità contenuta nell'HCl, questa quantità è dunque la più piccola particella di H combinabile, cioè l'atomo.

Infine, dà la definizione di peso atomico nella parte III, alla fine del capitolo sui metalli alcalini [25]:

Il peso atomico di un elemento è quel numero che rappresenta una quantità che entra sempre intera nella costituzione del peso della molecola dei composti di quel tale elemento che si considera. Necessario è dunque determinare il peso molecolare dei composti e quindi il peso atomico degli elementi.

Sull'evidente difformità tra il progetto didattico dettagliatamente esposto nel *Sunto* e la sua attuazione pratica a quasi 40 anni di distanza, si possono solo fare congetture. Troppo accurata e meticolosa è l'esposizione degli argomenti nel *Sunto* per giustificarne l'accantonamento con un ripensamento maturato nel corso degli anni, anche come conseguenza dell'esperienza fatta in classe. Forse, Cannizzaro usava il *Sunto* per rivolgersi ai colleghi chimici, cercando di vincere le loro resistenze con la logica stringente delle proprie argomentazioni e l'abbondanza di esempi portati come prova. E, infatti, il *Sunto* fu distribuito ai congressisti di Karlsruhe, con un impatto notevole sui chimici europei. La veste didattica con la quale Cannizzaro aveva presentato le proprie argomentazioni era forse un escamotage per non contrariare Piria che, da un lato, lo sollecitava a una maggiore produttività scientifica, dall'altro sconsigliava di pubblicare articoli a carattere esclusivamente teorico [26]. Tuttavia, le motivazioni di Cannizzaro erano, a suo dire, principalmente didattiche [27]:

Le cose contenute in quel libretto [*Sunto*] non furono pensate e scritte col proposito di contribuire al progresso della scienza, ma furono il frutto degli studi da me fatti per esporre chiaramente ai miei allievi le dottrine fondamentali della Chimica.

Come già detto, agli studenti Cannizzaro non voleva esporre teorie avulse dai risultati sperimentali e, per questo, inseriva i concetti fondamentali della Chimica all'interno della descrizione delle proprietà e del comportamento delle sostanze. Questa ipotesi è suffragata da Luigi Francesconi (1864-1939), suo allievo a Roma [28]:

La parte teorica riguardante i pesi molecolari ed atomici, ..., tutti questi argomenti egli trattava via via che andava sviluppando i metalli e solo quando i giovani avevano acquistato la conoscenza dei corpi e dei fenomeni sui quali si basano i suddetti capitoli della chimica generale.

Onde il suo corso poteva, a prima, vista, apparire disordinato, ma per chi lo seguiva da principio era sommamente attraente ed efficace.



## **6. Conclusioni**

A conclusione di questo rapido esame dell'approccio didattico di Cannizzaro, si può osservare come il suo intento non fosse quello di far mostra di sé, ma di condividere con gli studenti tutto ciò che aveva appreso e continuava ad apprendere. Non si contentava di instaurare un semplice rapporto trasmettente-ricevente, né che essi si limitassero a un apprendimento mnemonico, ma si preoccupava di fornir loro tutti gli strumenti utili a *costruire autonomamente* il loro patrimonio culturale, indipendentemente da quali sarebbero stati i loro futuri interessi e le loro future professioni. La sua preoccupazione era quella di formare una nuova classe di professionisti, abituati a pensare con la propria testa e ad analizzare razionalmente problemi e situazioni, prima di prendere decisioni.

Nel caso specifico della Chimica, riteneva importante tenere gli studenti aggiornati sui continui progressi di questa scienza, sviluppando in loro l'attitudine e la preparazione necessarie a seguire gli ulteriori progressi della scienza e le sue trasformazioni, ma questo non significava evitare di mostrar loro quali fossero i cardini fondamentali della disciplina, prima fra tutti la teoria atomico-molecolare, e come il chimico la dovesse utilizzare per interpretare e razionalizzare tutti i fatti sperimentali. Proprio per *costruire* la loro professionalità, non intendeva imporre *dogmaticamente* nessuna legge o teoria, ma voleva che essi raggiungessero autonomamente le stesse conclusioni cui era pervenuta la scienza, attraverso un processo logico induttivo, che si intersecava di continuo con lo sviluppo storico dei fatti e delle idee.

Tutto ciò, spesso, non era conforme a ciò che osservava intorno a sé a fine carriera: molti giovani professori, lasciandosi trascinare dal desiderio di essere concisi e di rendere la materia accessibile alle menti meno preparate, esponevano dogmaticamente in un ordine sintetico tutte le leggi e tutte le teorie, nascondendone la genesi, senza distinguere il grado di confidenza che poteva essere accordato a ciascuna di esse, mentre altri eludevano il problema, tacendo sulle leggi e sulle teorie, sebbene poi ne utilizzassero i dettagli [29]:

Si convincano anche [i giovani insegnanti] che nello stato attuale della Chimica ... non vi è migliore modo di fare la critica delle varie ipotesi in corso e dei vari concetti in discussione che l'indagarne l'origine e seguirne l'evoluzione. La storia esatta delle dottrine chimiche è la sola che può farne apprezzare al giusto il valore nella fase che attraversa attualmente la chimica.

Cannizzaro teneva anche un occhio rivolto al futuro, e senza sbilanciarsi su ipotesi non ancora consolidate, non voleva negare la solidità del concetto macroscopico di atomo che i chimici avevano adottato, anche grazie al suo contributo, come pro-

tagonista indivisibile delle trasformazioni chimiche, e che avrebbe resistito all'individuazione delle particelle subatomiche da parte dei fisici, avvenuta dopo la sua morte (1910) [30]:

Insisto adunque sull'utilità di liberare nell'insegnamento la teoria chimica molecolare e atomica da tutto ciò che non è suggerito direttamente dai fatti sui quali essa si fonda. In questa maniera si conserverà alla teoria tutta la plasticità necessaria per piegarsi e adattarsi ai progressi, alle evoluzioni dei nostri concetti fisici e matematici. Se si giungerà, ad esempio, a farsi della materia un concetto affatto differente da quello che oggi si ha, si troveranno le spiegazioni di ciò che noi chiamiamo atomi e molecole, ed avendo fatto una volta la traduzione di queste parole nelle nuove teorie, si continuerà ad impiegarle, come si è continuato ad impiegare le espressioni di calor latente, capacità pel calore, ecc.

## Riferimenti

- [1] L. Paoloni ed., *S. Cannizzaro, Scritti di storia politica e chimica*, Quaderni del Seminario di Storia della Scienza, Facoltà di Scienze, Università di Palermo, 1995, n° 5.
- [2] S. Cannizzaro, Lezioni sulla teoria atomica, *Liguria Medica*, 1858, n. 5 e 6, in rif. [1], 169-193.
- [3] S. Cannizzaro, Sunto di un corso di filosofia chimica fatto nella R. Università di Genova. Lettera al Prof. S. De Luca, *Nuovo Cimento*, 1858, 7, 321 -3 66; ristampato da Sellerio Editore, Palermo, 1991.
- [4] C. A. Wurtz, Account of the Sessions of the International Congress of Chemists in Karlsruhe, on 3, 4 and 5 September 1860, in M. J. Nye, *The Question of the Atom*, Tomash Publishers, Los Angeles, 1984, 5-30.
- [5] S. Cannizzaro, Considerations on some Points of the Theoretic Teaching of Chemistry, *Journal of the Chemical Society*, 1872, **10**, 941-967; vedi anche: S. Cannizzaro, *Sui limiti e sulla forma dell'insegnamento teorico della Chimica*, in rif. [1], 195-225.
- [6] S. Cannizzaro, Discorso di apertura della Classe III del I Congresso della Società Italiana per il progresso delle Scienze (XII Congresso degli Scienziati Italiani), *Gazzetta Chimica Italiana*, 1875, **5**, 354-371; vedi anche rif. [1], 226-250.
- [7] S. Cannizzaro, La Scienza e la Scuola, *Rassegna contemporanea*, 1910, III, n° 9; vedi anche rif. [1], 259-261.
- [8] U. Neyroz, Lezioni di Chimica Generale del prof. S. Cannizzaro, in *Archivio Storico della Psicologia Italiana*, ASPI, Archivi on line, Carte di Umberto Neyroz, <https://www.aspi.unimib.it/collections/object/detail/1778/>.

- [9] S. Cannizzaro, rif. [6], 249.
- [10] J. B. Dumas, *Comptes Rendus*, 1876, **64**, 856.
- [11] S. Cannizzaro, rif. [7], in L. Paoloni, rif. [1], 259.
- [12] S. Cannizzaro, rif. [3], p. 321; nella ristampa, 21.
- [13] S. Cannizzaro, rif. [1], 203-204.
- [14] S. Cannizzaro, rif. [1], 209.
- [15] A. M. Maggio, R. Zingales, *Appunti di Storia della Chimica*, Aracne, Roma, 2019, 244.
- [16] L. Cerruti, note al Sunto, rif. [1].
- [17] S. Cannizzaro, rif. [3], p. 327; nella ristampa, 26.
- [18] S. Cannizzaro, rif. [1], pp. 329-330; nella ristampa, 27.
- [19] S. Cannizzaro, rif. [5], 216.
- [20] S. Cannizzaro, rif. [3], p. 332; nella ristampa, 29.
- [21] S. Cannizzaro, rif [5], 217.
- [22] S. Cannizzaro, rif. [5], 222-223.
- [23] U. Neyroz, rif. [8], foto 23, p. 41.
- [24] U. Neyroz, rif. [8], foto 43-44, pp. 81-82.
- [25] U. Neyroz, rif. [8], foto 90, p. 24.
- [26] S. Cannizzaro, *Sulla vita e le opere di Raffaele Piria*, Loescher, Torino, 1883.
- [27] S. Cannizzaro, rif. [7], in rif. [1], 259.
- [28] L. Francesconi, Il Maestro, in S. Cannizzaro, *Scritti vari e lettere inedite nel centenario della nascita*, Tipografia Leonardo da Vinci, Roma, 1926, 101-109.
- [29] S. Cannizzaro, rif. [7], in rif. [1], 260.
- [30] S. Cannizzaro, rif. [5], 218.

## L'inclusione degli alunni con BES nelle attività del Laboratorio di Chimica

**Cristina D'Agostino** (Docente di Sostegno, ADSS), **Daniele Solazzo** (Docente di Laboratorio di Scienze e Tecnologie Chimiche e Microbiologiche, B12),  
**Antonio Palumbo** (Docente di Metodologie Operative, B23),  
**Maria Di Mieri** (Docente di Sostegno, ADSS), **Christian Rigardo** (Docente di Scienze e Tecnologie Chimiche, A034, Responsabile del Progetto)  
I. I. S. Polo Tecnologico Imperiese – Imperia (IM)  
e-mail: [rigardo.christian@polotecnologicoimperiese.it](mailto:rigardo.christian@polotecnologicoimperiese.it)

---

**Abstract.** The project, dedicated to the school inclusion of students with special educational needs (SEN), has demonstrated that the active and the constant dialogue among the theoretical chemistry teacher, the laboratory teacher and the support teacher, has allowed the planning of laboratory activities that has made these students able to practise more than an experience without being depleted of the fundamental contents and procedures.

**Keywords:** bisogni educativi speciali; laboratorio di chimica; progettazione; attività laboratoriali

---

### 1. Introduzione

La scuola deve rappresentare l'ambiente inclusivo per eccellenza dove, oltre a essere garantito il diritto allo studio per tutta la popolazione scolastica, è fondamentale che tutti gli studenti possano sentirsi come posti sullo stesso piano. Sulla base di questo concetto, agli studenti con Bisogni Educativi Speciali (BES) deve essere garantita la più ampia integrazione possibile all'interno del gruppo classe. Avere Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA), Disabilità Motorie, Disabilità Cognitive, Disturbi da Deficit di Attenzione e Iperattività (ADHD) o, ancora, Disturbi legati a svantaggi socioeconomici, linguistici o culturali non deve essere un'etichetta apposta al petto che possa essere causa di preclusione agli studenti con BES ad avere una vita scolastica costruttiva e socialmente attiva.

Occorre inoltre osservare che è in continua crescita la percentuale [1] di studenti con BES che popolano i banchi delle scuole di ogni ordine e grado (Figura 1) e quindi occorrerà prevedere una sempre maggiore attenzione affinché questi studenti possano realmente sentirsi in un ambiente inclusivo.



**Figura 1.** Percentuale di alunni con BES per ordine e anno scolastico

In termini di inclusione tanto è già stato fatto in ambito scolastico e ancora si sta facendo, grazie all'utilizzo di nuove metodologie didattiche e all'implementazione delle attrezzature tecnologiche a supporto dell'insegnamento, ma le strategie messe in atto riguardano prevalentemente tecniche di facilitazione degli approcci teorici alle discipline. Gli alunni con BES incontrano disagi maggiori nell'affrontare lo studio degli argomenti e il grado di difficoltà varia in funzione della diagnosi clinica o dell'entità dei disagi linguistici e culturali. È importante osservare che le difficoltà vengono anche riscontrate nell'approccio pratico alle materie che comportano attività sperimentali, come ad esempio le discipline chimiche per le quali le esperienze di laboratorio rivestono un ruolo fondamentale nella comprensione degli argomenti.

Lo studio, che viene discusso in questo articolo, ha preso in considerazione proprio l'aspetto dell'approccio laboratoriale andando a valutare quali sono gli ostacoli, per gli studenti con BES, nell'affrontare una comune metodica laboratoriale della disciplina "Scienze Integrate - Chimica".

Sulla base dei risultati ottenuti, successivamente, si è effettuata una rielaborazione delle procedure affinché questi alunni riuscissero ad operare in laboratorio con un grado di autonomia maggiore, implementando, anche, la loro capacità di inserimento e di partecipazione attiva nel gruppo di lavoro senza andare a impoverire l'approccio laboratoriale.

Per questo progetto sono state prese, come gruppo campione, due classi prime del Percorso Professionale a indirizzo Socio-Sanitario dell'I. I. S. Polo Tecnologico Imperiese, in quanto erano presenti numerosi studenti con BES, riadattando due metodiche di laboratorio previste nel programma di "Scienze Integrate - Chimica" del primo anno di studio.

## 2. Il gruppo classe

Il gruppo classe, rappresentato dalle due classi prime (1A-SS e 1D-SS) del percorso professionale a indirizzo Socio-Sanitario dell'I. I. S. Polo Tecnologico Imperiese, era composto da 30 studenti. Entrando più nel dettaglio, la morfologia culturale del gruppo campione può essere riassunta come indicato nella tabella 1.

**Tabella 1.** Caratterizzazione del gruppo classe dal punto di vista etnico e del gender

<i>Nazionalità studenti</i>	<i>Femmine</i>	<i>Maschi</i>
Albanese (2)	1	1
Italiana (18)	16	2
Peruviana (2)	2	–
Tunisina (5)	4	1
Turca (3)	3	–

Nonostante la maggior parte degli studenti siano di nazionalità italiana, occorre osservare che in realtà più del 50% di questi sono immigrati di seconda generazione, nati quindi in Italia, che vivono in famiglie dove la lingua italiana viene parlata molto poco. Il risultato di questo costume familiare porta alla persistenza di un disagio di tipo linguistico.

Entrando nello specifico, all'interno della classe si sono evidenziati i seguenti casi di BES:

- cinque studenti con disabilità cognitive ai sensi dell'art. 3, comma 1 della Legge n. 104 del 5 febbraio 1992 di cui 1 con comorbidità da autismo di livello 1
- sei studenti con disagi linguistici
- sei studenti con disagi culturali
- sei studenti con disagi socioeconomici
- tre studenti con DSA – Dislessia

Tirando le somme, il gruppo di lavoro risulta molto eterogeneo sia nelle capacità di operare che nelle dinamiche relazionali.

## 3. Descrizione dello studio

Essendo consapevoli che gli studenti con BES presentano anche difficoltà operative autonome, le esperienze laboratoriali sono state presentate a sottogruppi di 3/4 ragazzi; in questo modo tutti i ragazzi, indistintamente, avrebbero potuto operare in sinergia esaltando le proprie peculiarità individuali e mitigando i singoli punti deboli.

Lo studio sullo svolgimento di due metodiche differenti, si è sviluppato in quattro fasi:

- Fase 1 – Somministrazione della metodica laboratoriale con osservazione delle dinamiche didattiche, operative e relazionali

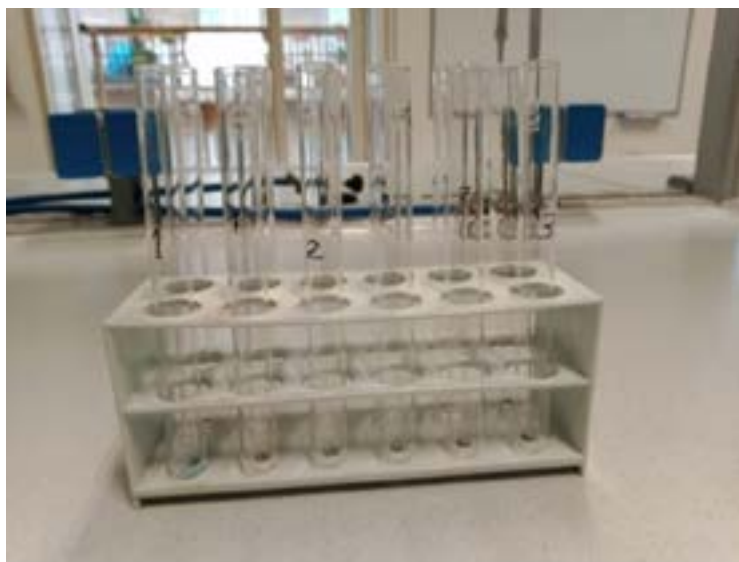
- Fase 2 – Analisi delle osservazioni raccolte e rielaborazione della metodica laboratoriale
- Fase 3 – Somministrazione della metodica riadattata ai BES con osservazione delle dinamiche didattiche, operative e relazionali
- Fase 4 – Analisi dell'ultima osservazione e verifica dei risultati a seguito dei riarrangiamenti prodotti

Al fine di effettuare un'analisi più rappresentativa della prima fase, le due metodiche classiche sono state somministrate a tutti i 30 studenti, mentre le metodiche riadattate sono state eseguite da una singola classe. Nello specifico la prima metodica riadattata è stata sviluppata dagli studenti della 1A-SS mentre la seconda da quelli della 1D-SS.

#### **4. Esperienza laboratoriale 1 – Determinazione della solubilità di alcuni composti in diversi solventi e determinazione della miscibilità di liquidi in diversi solventi**

##### **4.1 Sviluppo dell'esperienza con la metodica classica – Osservazione in bianco**

Secondo la metodica sottoposta al gruppo campione, la prima parte dell'esperienza prevedeva la prova di solubilità di tre composti a diversa polarità, iodio molecolare ( $I_2$ ), cloruro di sodio ( $NaCl$ ), e solfato rameico ( $CuSO_4$ ), in tre solventi, anch'essi a diversa polarità, acqua ( $H_2O$ ), etanolo ( $C_2H_5OH$ ) ed esano ( $C_6H_{14}$ ). Secondo questa procedura, gli studenti trovano sul bancone i tre composti solidi, posizionati in altrettante provette, e i tre solventi disposti in 3 coppie di provette numerate (acqua **1**, etanolo **2**, esano **3**) (Figura 2) e una scheda di sicurezza riepilogativa delle sostanze manipolate (Figura 3).



**Figura 2.** Presentazione delle provette ai gruppi di lavoro

Agli studenti venivano quindi forniti i DPI indicati nella scheda e, date le minime quantità di sostanze trattate (pochi ml di solvente e 3-4 cristallini di soluto), si è operato direttamente ai banchi di lavoro, azionando l'areazione meccanica dell'intera sala di laboratorio.

I sottogruppi, auto costituiti, dovevano prelevare una piccola porzione di ciascun composto solido aggiungendolo alle provette con i solventi e, dopo una blanda ma prolungata agitazione, verificarne la solubilità.

<p style="text-align: center;">SCHEDE RIEPILOGATIVA DI SICUREZZA DELLE SOSTANZE IMPIEGATE NELL'ESPERIENZA PROVE DI SOLUBILITÀ</p>	
<p><b>IODIO MOLECOLARE I<sub>2</sub></b></p> <p><i>PERICOLI</i></p>  <p>GHS07 – GHS08 – GHS09</p>	<p><b>CLORURO DI SODIO NaCl</b></p> <p><i>NESSUN PERICOLO</i></p>
<p><i>INDICAZIONI DI PERICOLO</i></p> <p>H302+H312+H332 Nocivo se ingerito, a contatto con la pelle o se inalato                      H315 Provoca irritazione cutanea                      H319 Provoca grave irritazione oculare                      H335 Può irritare le vie respiratorie                      H372 Provoca danni agli organi (tiroide) in caso di esposizione prolungata o ripetuta (in caso di ingestione)                      H400 Molto tossico per gli organismi acquatici</p>	<p><i>NESSUNA INDICAZIONE DI PERICOLO</i></p>
<p><i>CONSIGLI DI PRUDENZA</i></p> <p>P273 Non disperdere nell'ambiente                      P302+P352 IN CASO DI CONTATTO CON LA PELLE: lavare abbondantemente con acqua                      P304+P340 IN CASO DI INALAZIONE: trasportare l'informante all'aria aperta e mantenerlo a riposo in posizione che favorisca la respirazione.                      P305+P351+P338 IN CASO DI CONTATTO CON GLI OCCHI: sciacquare accuratamente per parecchi minuti. Togliere le eventuali lenti a contatto se è agevole farlo. Continuare a sciacquare.</p>	<p><i>NESSUN CONSIGLIO DI PRUDENZA</i></p>
<p><i>DPI</i></p> 	<p><i>DPI</i></p> 

**Figura 3.** Un esempio delle Schede Riepilogative di Sicurezza delle sostanze utilizzate



Successivamente, gli studenti prendevano nota delle osservazioni effettuate sugli esiti delle prove di solubilità indicando l'aspetto delle soluzioni o dei miscugli (colorazione, presenza di corpo di fondo, definizione di solubile e insolubile) su di una tabella fornita unitamente alla metodica (Figura 4) e, a seguito di un momento dedicato ai richiami teorici sulla polarità delle molecole, dovevano valutare le motivazioni teoriche alla base dei risultati ottenuti.

Sostanza	acqua	etanolo	esano
cloruro di sodio			
iodio			
solfato rameico			

**Figura 4.** Tabella di raccolta dati di solubilità della metodica originale

La seconda parte dell'esperienza prevedeva la verifica della miscibilità tra solventi. Considerando che la prima parte della metodica prevedeva già l'uso di tre solventi allora le prove venivano eseguite sulle diverse possibili combinazioni degli stessi (Figura 5).

Gli studenti, divisi negli stessi sottogruppi iniziali, dovevano prelevare piccole aliquote di due solventi e metterle in una provetta per vedere se, dopo una leggera agitazione, si fosse osservata una stratificazione delle fasi o una completa miscelazione che avrebbe portato ad una unica fase visibile.

	acqua	etanolo	esano
acqua	—		
etanolo		—	
esano			—

**Figura 5.** Tabella di raccolta dei dati di miscibilità della metodica originale

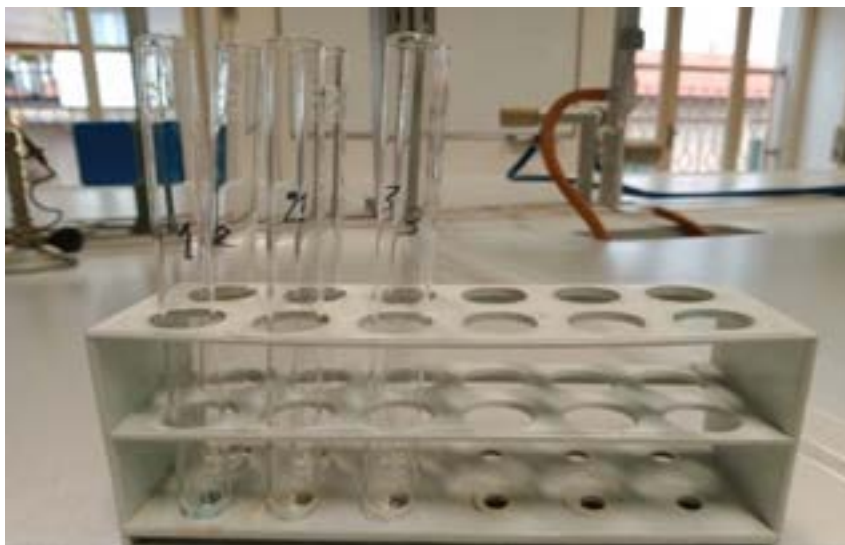
Anche in questo caso, gli studenti prendevano nota sulla scheda degli esiti osservati dalla sperimentazione per poi, nuovamente, rifarsi ai richiami teorici per discutere sui risultati osservati.

#### **4.2 Analisi delle osservazioni raccolte e rielaborazione della metodica laboratoriale da parte dei docenti di Sostegno**

Lo svolgimento della metodica proposta ha messo in evidenza diverse problematiche ad ampio spettro e nello specifico si sono osservati:

- problemi procedurali
- problemi relazionali
- problemi gestionali
- problemi cognitivi

Per quanto attiene ai problemi procedurali, le provette della prima parte dell'esperienza dovevano essere etichettate con un numero che si associasse agli specifici solventi utilizzati. Solo durante l'esperienza, però, ci si è resi conto che l'ordine delle provette, per alcuni sottogruppi, era casuale con il risultato di aver generato confusione negli studenti con BES, in particolare per quelli con disabilità cognitive e con disagi linguistici, in quanto alla richiesta del docente di prendere "la provetta 1" è risultato che alcuni di questi alunni hanno capito di prendere "la prima provetta" dato che non era stato presentato il corretto ordine (Figura 6). Questa osservazione può rientrare anche nei problemi di tipo cognitivo, ma il team di lavoro ha deciso di distinguerli perché è importante comprendere che in caso di studenti con BES occorre prestare particolare attenzione alla fase di preparazione dell'esperienza.



**Figura 6.** Provette presentate al gruppo in ordine errato

I sottogruppi, come già esposto, si erano auto costituiti consentendo agli studenti di decidere con chi lavorare sull'esperienza ma, durante l'esecuzione del lavoro, si è osservato che molti studenti risultavano poco partecipativi, oppure non partecipativi del tutto, creando problemi relazionali. Ciò, molto probabilmente è derivato dal fatto che alcuni gruppi, per simpatie tra i compagni, erano formati da studenti tutti della stessa nazionalità (acuendo eventuali disagi linguistici), o esclusivamente da studenti con BES.

La tempistica di esecuzione dell'esperienza, come da progettazione, era stimata in un'ora, in realtà 50 minuti, vista la delibera del Collegio dei Docenti di Istituto; il tempo, però, si è ridotto ulteriormente tenuto conto del fatto che gli studenti dovevano raggiungere il laboratorio e rientrare nella classe entro il

termine dell'ora di lezione. Per l'esperienza vera e propria, quindi, rimanevano circa 30 minuti, un tempo certamente insufficiente per garantire una spiegazione chiara delle consegne e dell'obiettivo da perseguire.

Infine, per quanto riguarda i problemi di tipo cognitivo, si è osservato un elevato grado di affaticamento da parte degli studenti con disabilità cognitive, ma anche da parte degli alunni con alcune tipologie di DSA, soprattutto quando si trattava di associare le sostanze alle designazioni numeriche indicate. Nello specifico, uno studente con disabilità cognitive presentava importanti limitazioni all'identificazione delle sostanze e al completamento delle schede di rilevazione necessitando di tempi estremamente lunghi per raggiungere la giusta comprensione delle situazioni e per restituire l'elaborato compilato. Si è ancora osservato che gli studenti con ADHD tendevano a perdere la concentrazione con facilità commettendo errori procedurali nell'esecuzione dell'esperienza o isolandosi dal gruppo. Si è inoltre notato che alcuni studenti con ADHD adottavano comportamenti non corretti in termini di sicurezza, avvicinando al naso i campioni e, in alcuni casi, toccandoli con le mani.

La restituzione delle riflessioni degli studenti sui fondamenti teorici alla base dell'esperienza è risultata confusionaria e spesso non corretta.

Sulla base delle riflessioni raccolte dal team docente, si è deciso di provare a operare le modifiche di seguito riportate.

Riprogettare l'esperienza assegnando all'attività laboratoriale due unità orarie anziché una, consentendo in questo modo di allungare i tempi con il risultato di permettere al docente di laboratorio una più ampia spiegazione dell'obiettivo da perseguire e delle consegne, oltre a consentire un'esecuzione meno frenetica dell'esperimento.

Associare dei colori alle sostanze utilizzate, invece dei numeri, per un riconoscimento visivo che quindi dovrebbe richiedere un minor sforzo da parte degli studenti con BES.

Progettare i gruppi di lavoro prevedendo l'affiancamento di studenti con BES ad altri studenti; questi ultimi potrebbero fungere da team leader che guidano il gruppo di lavoro ponendosi tra il docente e i compagni per motivare i ragazzi fragili, guidarli nell'esecuzione dell'esperienza e interfacciandosi, come "portavoce", con il docente nei primi momenti di lavoro. Questa tipologia di approccio, inoltre, si avvicina molto alla metodologia didattica denominata "Peer Education" che, in generale, ha dimostrato di far aumentare l'autostima degli studenti coinvolti.

Predisporre i sottogruppi facendo in modo che gli studenti con ADHD siano più vicini ai docenti al fine di sollecitare un loro maggiore coinvolgimento attivo nello sviluppo della metodica e anche nella riduzione dell'eventuale azione di disturbo a danno degli altri componenti del gruppo di appartenenza.

Procedere a rimarcare i concetti fondamentali sulla sicurezza nei laboratori chimici, proponendo anche un piccolo filmato didattico prima dell'inizio della spiegazione e della esecuzione dell'esperienza laboratoriale.

#### **4.3 Somministrazione della metodica riadattata ai BES con osservazione delle dinamiche didattiche, operative e relazionali**

La prova riadattata è stata sottoposta alla sola classe 1A-SS e, come da riprogettazione, si è deciso di dedicare due moduli orari consecutivi all'esperienza di laboratorio. Preliminarmente, l'assistente tecnico e i docenti hanno preparato il materiale da fornire ai gruppi, prestando maggiore attenzione alle disposizioni e all'ordine dei composti da utilizzare. All'arrivo della classe, la docente di sostegno ha formato i gruppi operando in modo da renderli eterogenei ed equilibrati al fine di mitigare le singole debolezze ed enfatizzando i punti di forza di ciascun ragazzo.

Una volta che gli studenti hanno preso posto e prima dell'attività pratica, è stato mostrato un breve video didattico (Figura 7), sotto forma di cartone animato, sul tema della sicurezza in cui venivano trattati i possibili fattori di rischio che si possono incontrare in un laboratorio chimico.



**Figura 7.** La classe visiona il video sulla sicurezza nei laboratori chimici

Di seguito, il docente di laboratorio ha illustrato la metodica da sviluppare somministrando la scheda operativa adattata con gli accorgimenti individuati a seguito delle riflessioni. Sono stati, quindi, associati specifici colori alle sostanze impiegate e gli stessi sono stati anche riportati sulle provette fornite ai gruppi (Figura 8 e Figura 9).

Gli studenti hanno proceduto all'esecuzione dell'esperienza e alla compilazione della scheda di raccolta dei dati.

Sostanza	acqua	etanolo	esano
cloruro di sodio			
iodio			
solfo			
solfo			

**Figura 8.** Associazione delle sostanze impiegate a colori univoci



**Figura 9.** Provette contrassegnate con gli opportuni colori

#### ***4.4 Analisi dell'ultima osservazione e verifica dei risultati a seguito dei riarrangiamenti prodotti***

Le modifiche apportate alla metodica hanno permesso di riscontrare risultati più che soddisfacenti, come di seguito indicato.

Gli studenti, all'interno dei sottogruppi, sono apparsi coinvolti e partecipativi grazie all'azione di rafforzamento operata dalla docente di sostegno dimostrando maggiore collaborazione nel gruppo dei pari. Gli studenti con ADHD, a seguito del potenziamento delle conoscenze in materia di sicurezza, hanno dimostrato maggiore responsabilità nella manipolazione delle sostanze in dota-

zione. Gli studenti con deficit di attenzione e iperattività, inoltre, sono risultati anche più quieti in quanto la vicinanza dei docenti li ha fatti sentire maggiormente accuditi mitigando così, in loro, l'esternazione della caratteristica che li contraddistingue.

Le procedure operative, descritte in metodica, sono state eseguite in tempi molto più rapidi ed efficienti, in quanto la corretta disposizione del set di vetreria e sostanze non ha creato confusione nei ragazzi.

L'identificazione delle sostanze impiegate è risultata molto più facile grazie all'assegnazione di colori univoci. Particolarmente significativo è il fatto che il ragazzo con maggior deficit cognitivo ha dimostrato di saper riconoscere le sostanze, a partire dai colori, in tempi sorprendentemente ridotti.

L'espressione e l'interpretazione dei risultati, visto un andamento più lineare dell'attività laboratoriale, sono stati coerenti e accurati (Figura 10).



**Figura 10.** Compilazione della scheda riepilogativa dell'esperienza

## **5. Esperienza laboratoriale 2 – Studio della conducibilità elettrica delle soluzioni acquose**

### **5.1 Sviluppo dell'esperienza con la metodica classica – Osservazione in bianco**

Questa esperienza, come la prima, è stata sottoposta all'intero gruppo campione, ma la metodica proposta e il setting d'aula sono stati rielaborati sulla base delle osservazioni che sono risultate funzionali con la precedente esperienza laboratoriale. Sono stati, quindi, attuati i seguenti accorgimenti concordati tra i docenti del team:

- verifica della correttezza della disposizione dei materiali per l'esecuzione dell'esperienza
- associazione di colori specifici alle sostanze impiegate
- predisposizione di gruppi eterogenei di studenti in modo da enfatizzare le peculiarità e minimizzare le criticità dei singoli componenti il gruppo

Per quanto riguarda il tempo a disposizione, si è deciso di usare un'unica unità oraria.

In una prima fase dell'esperienza, gli studenti dovevano testare qualitativamente la conducibilità elettrica di quattro liquidi (acqua distillata, acqua di rubinetto, soluzione acquosa di cloruro di sodio e soluzione acquosa di glucosio) utilizzando un Conducimetro a Comparazione (CC) (Figura 11).

Per fare questo, gli studenti dovevano preventivamente preparare le soluzioni, a concentrazione arbitraria, di cloruro di sodio e di glucosio e quindi, sotto la supervisione dei docenti, riempire quattro piccoli becher, due con le soluzioni preparate e due con le differenti tipologie di acqua. I quattro becher dovevano poi essere inseriti nel CC e, dopo aver dato potenza all'apparecchiatura, gli studenti dovevano annotare sulla scheda le osservazioni (accensione/spengimento della lampadina, luminosità relativa) e le valutazioni teoriche a corredo dei dati dichiarati.



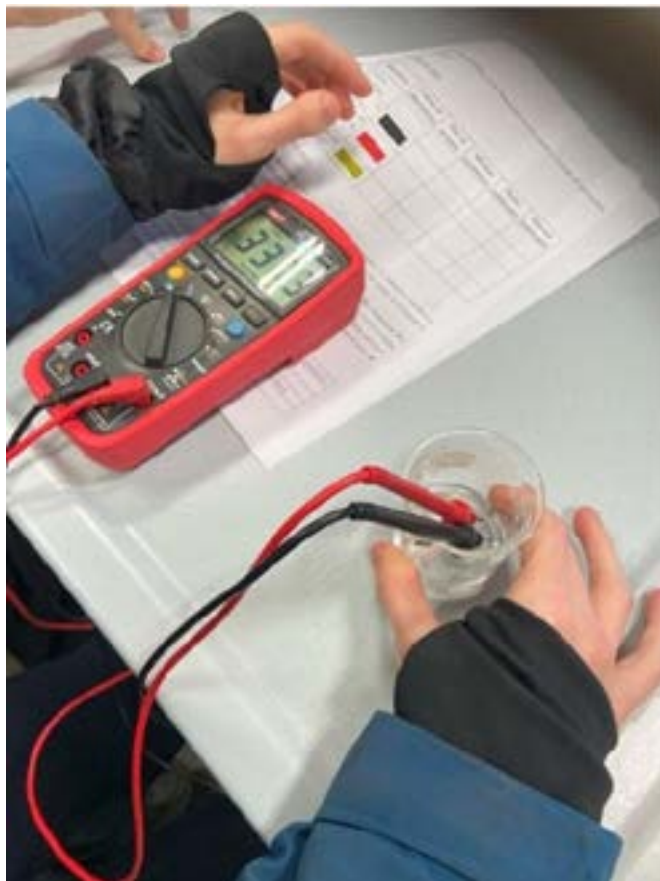
**Figura 11.** Il conducimetro a comparazione (CC) e la spiegazione del funzionamento da parte del docente

Nella seconda parte dell'esperienza, gli studenti dovevano preparare quattro soluzioni a titolo noto di cloruro di sodio (1%, 2%, 3% e 4% massa su volume) e, avendo già definito che le soluzioni saline presentano una caratteristica capacità conduttiva, effettuare misurazioni quantitative della resistenza elettrica per poi graficarne l'andamento e quindi desumere nuovi concetti teorici.

## 5.2 Analisi delle osservazioni raccolte e rielaborazione della metodica laboratoriale da parte dei docenti di Sostegno

È stato osservato dal team che gli accorgimenti concordati hanno fornito gli esiti previsti; infatti, gli studenti del gruppo campione hanno svolto tutta l'attività laboratoriale con profitto ed entusiasmo, riuscendo a comprendere tutti i passaggi e gestendosi in maniera quasi del tutto autonoma, anche se non sono riusciti a portarla completamente a termine in quanto permaneva il vincolo dell'esecuzione in un solo modulo orario.

Occorre, però, precisare che sono state riscontrate criticità nell'esecuzione della seconda parte dell'esperienza. Gli studenti, dopo aver preparato le soluzioni a titolo noto, dovevano determinare la resistenza elettrica  $R$  [ $\Omega$ ], utilizzando un multimetro digitale (Figura 12).



**Figura 12.** Utilizzo del Multimetro digitale per la misura della resistenza

Lo strumento in questione presentava due problematiche importanti: auto range e instabilità della misurazione. A causa della prima, tutti gli studenti della classe, non avendo conoscenze specifiche sull'uso delle apparecchiature di



misurazione, incontravano notevole fatica a comprendere i valori presentati, in quanto lo strumento adattava automaticamente il valore di fondo scala e la nuova unità di misura non veniva chiaramente evidenziata, essendo il simbolo di dimensioni molto inferiori rispetto al dato numerico osservato. Inoltre, trattandosi di uno strumento per le misure elettriche, il valore rappresentato sul display continuava a oscillare tra valori, a volte, molto differenti e gli studenti con BES, soprattutto quelli con DSA o con deficit cognitivi, entravano in uno stato confusionale tale da precludere loro la prosecuzione della procedura.

Seppur l'esperienza sia stata praticamente sviluppata fino in fondo, questa criticità non ha consentito di portarla a termine con una valutazione completa dei dati raccolti e, quindi, con la realizzazione e lo studio dell'andamento grafico della proprietà indagata.

### ***5.3 Somministrazione della metodica riadattata ai BES con osservazione delle dinamiche didattiche, operative e relazionali***

Fermo restando che tutti gli accorgimenti utilizzati per la stesura e la somministrazione della metodica laboratoriale hanno portato i vantaggi già esposti, per la classe 1D-SS si è deciso di utilizzare un altro strumento di misura e, cioè, un conducimetro da banco (Figura 13).

Questo strumento è in grado di rilevare la conducibilità elettrica  $C$  [ $\mu\text{S}$ ] delle soluzioni e si caratterizza per la stabilità della misura e per una buona riproducibilità oltre al fatto che, possedendo un sistema incorporato di agitazione della soluzione, consente l'omogeneizzazione del campione per tutto il tempo della lettura.

Dopo un primo momento di spiegazione delle consegne e di discussione sui richiami teorici necessari alla comprensione dell'esperimento, gli studenti hanno svolto tutta la metodica:

- preparando le soluzioni a titolo arbitrario per il conducimetro a comparazione e raccogliendo i dati dell'osservazione;



**Figura 13.** Conducimetro da banco con sistema di agitazione integrato

- preparando le quattro soluzioni a titolo noto di cloruro di sodio, determinando, per ognuna, la conducibilità elettrica e rappresentando graficamente i dati ottenuti per le valutazioni teoriche connesse.

#### 5.4 Analisi dell'ultima osservazione e verifica dei risultati a seguito dei riarrangiamenti prodotti

Gli studenti della 1D-SS, a differenza di quanto accaduto osservando l'intero gruppo campione nella fase 1, sono riusciti a portare a termine proficuamente l'esperimento, raccogliendo i dati di conducibilità sulle quattro soluzioni e riproducendoli su un piano cartesiano (Figura 14). A parte alcuni studenti con BES più rilevanti, tutti sono riusciti a produrre una rappresentazione grafica soddisfacente dei risultati, che ha permesso di definire la proporzionalità lineare tra conducibilità e titolo della soluzione, per basse concentrazioni.

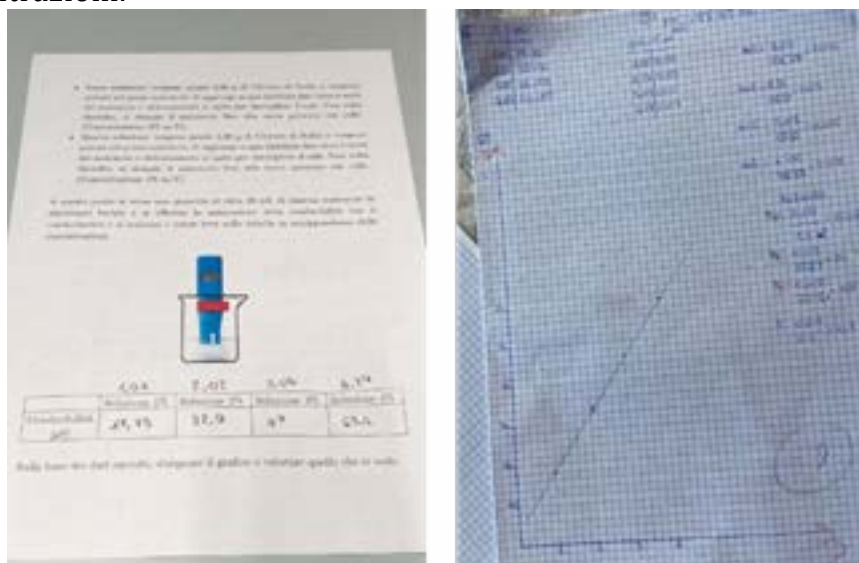


Figura 14. Raccolta dati (sinistra) e rappresentazione grafica dei dati (destra)

## 6. Inclusione a largo spettro nel laboratorio chimico

L'inclusione è un concetto spesso distorto che viene confuso con quello di integrazione o, ancora, di assimilazione [2], pensando che includere un individuo significhi immergerlo in una specifica realtà sociale consentendogli di prenderne parte, ma senza che la persona si senta accolta da quella comunità.

Sulla base di ciò è emerso che gli studenti con disagio linguistico spesso faticano a comprendere concetti anche basilari; questo si evidenzia soprattutto nelle classi prime di un istituto secondario di secondo grado quando, all'interno della classe, sono presenti studenti di altre nazionalità che magari sono arrivati da poco nel nostro paese.

Il divario linguistico deve essere colmato molto rapidamente, in particolare se si parla di sicurezza in un laboratorio chimico, dove sono presenti sostanze potenzialmente molto pericolose. Per riconoscere questi composti, a prescindere dal loro nome che sarebbe comunque molto più complicato far comprendere velocemente allo studente straniero, esistono sistemi che, rapidamente, definiscono la tipologia di pericolo. Il sistema certamente più efficace e diffuso è quello di associare alle sostanze uno o più dei 9 pittogrammi normati secondo il sistema CLP, emanato dalla European Chemicals Agency (ECHA) [3].

In collaborazione con il docente di Metodologie Operative, la classe 1D-SS ha progettato un tabellone (Figura 15) che riporta tutti i pittogrammi della sicurezza chimica in modo che questi possano essere immediatamente compresi da studenti di differenti nazionalità, nello specifico italiana, inglese, francese, spagnola, turca, araba e albanese.



**Figura 15.** Fasi di preparazione del tabellone inclusivo dei pittogrammi

In questo tabellone sono riportati i pittogrammi in forma tattile e quindi accessibile anche agli ipovedenti e ai non vedenti perché è fondamentale che tutti lavorino in sicurezza. A tal fine, le immagini sono state realizzate in rilievo e a ognuno è stato associato un cartellino con la spiegazione del potenziale pericolo nelle diverse lingue, compreso il Braille per i non vedenti (Figura 16).



Figura 16. Tabellone completato con le spiegazioni nelle varie lingue e in Braille

## 7. Conclusioni

Le modifiche prodotte sulle metodiche e sul setting d'aula, atte a tener conto dell'inclusione degli studenti con BES, hanno dimostrato una effettiva funzionalità permettendo a questi studenti di fruire molto più proficuamente delle attività laboratoriali. Dall'altro lato, queste personalizzazioni non sono state così invasive da ridurre i contenuti intrinseci della disciplina e tanto meno non hanno depauperato le competenze laboratoriali.

È, inoltre, importante sottolineare che queste rielaborazioni non sono andate a svantaggio degli studenti senza BES in quanto, come appena detto, non sono stati effettuati tagli o semplificazioni tali da indebolire i contenuti e le competenze da acquisire. La modifica del setting d'aula ha anche consentito a tutti gli studenti di sentirsi tra pari e di poter guadagnare reciprocamente punti di forza individuali.

La vera conclusione è che, come detto in premessa, gli studenti con BES sono studenti esattamente come gli altri e, con minimi sforzi, le istituzioni scolastiche e i docenti possono creare un ambiente totalmente inclusivo. Per fare questo, la sinergia tra il docente di sostegno e quello disciplinare deve essere enfatizzata e preferita anche nella fase di progettazione di una attività, perché le competenze del primo sono fondamentali per creare procedure alla portata di tutti e con standard di qualità elevati.

## **Riferimenti**

- [1] ISTAT – Istituto Nazionale di Statistica. L'inclusione scolastica degli alunni con disabilità |A.S. 2021-2022, 2022, 1-11; <https://www.istat.it/it/archivio/278438>
- [2] T. Booth, M. Ainscow, L'Index per l'inclusione, 2008, 117.
- [3] <https://echa.europa.eu/it/regulations/clp/clp-pictograms>

*Gli autori sono tutti ugualmente responsabili dei risultati della ricerca e del manoscritto e dichiarano di non avere conflitti di interesse per quanto riguarda la pubblicazione di questo articolo.*

# Un approfondimento relativo alla velocità istantanea di reazione

**Pasquale Fetto, Roberto Soldà**

e-mail: [roberto.solda@libero.it](mailto:roberto.solda@libero.it)

---

**Abstract.** Usually, at the level of basic chemistry in the first two years of secondary school, the reaction rate is defined by referring to the average speed; sometimes and only briefly the concept of instantaneous speed is mentioned.

In this article a possible in-depth analysis of the instantaneous reaction rate is provided; the analysis is not based on a theoretical-descriptive way, but uses an experimental-inductive approach.

**Keywords:** velocità di reazione; velocità istantanea; velocità media; coefficiente angolare di una retta

---

## 1. Premessa

È noto che, anche a livello di chimica di base, la velocità di reazione si definisce con riferimento alla variazione della quantità di sostanza di un determinato componente della reazione nel corso del tempo.

Però, dato che la velocità con la quale cui si consumano i reagenti e si formano i prodotti cambia durante la reazione, è necessario considerare la velocità di reazione istantanea, ossia la velocità in un determinato istante.

Quindi, a rigore, essa è definita formalmente come la variazione infinitesima della quantità di un componente (reagente o prodotto) di una reazione in un intervallo di tempo infinitamente piccolo, cioè in un intervallo di tempo infinitesimo. Essa corrisponde al coefficiente angolare (a prescindere che sia positivo o negativo) della tangente in un determinato punto alla curva che riporta come varia la quantità di un reagente o prodotto in funzione del tempo [1 - 3].

Data la definizione di velocità di una reazione come rapporto tra la variazione della quantità di reagente o prodotto,  $\Delta m$ , e il relativo intervallo di tempo,  $\Delta t$ :

$$\text{velocità} = \Delta m / \Delta t$$

la velocità istantanea si ottiene quando  $\Delta t$  diventa infinitamente piccolo:

$$\text{velocità}_{\text{istantanea}} = \Delta m / \Delta t \text{ (con } \Delta t \rightarrow 0)$$

Così, per l'insegnamento della chimica di base, in un testo molto datato [4], era descritta in dettaglio anche la misura della velocità istantanea di reazione, sfruttando il calcolo del coefficiente angolare che era insegnato (come tuttora) nel corso di matematica del primo biennio della "scuola media superiore".

In questo modo, diversi anni fa, la definizione di velocità istantanea era introdotta abbastanza rigorosamente sebbene rimanesse da spiegare, da parte dell'insegnante di chimica, la corrispondenza del coefficiente angolare della tangente alla curva con la velocità istantanea.

Attualmente, invece, per quanto riguarda la velocità di reazione ci si limita a dire solo che essa è uguale al rapporto fra la variazione della quantità di materia consumata o prodotta e l'intervallo di tempo richiesto per tale variazione, parlando semplicemente di:

- *velocità media* se l'intervallo di tempo è ampio
- *velocità istantanea* se l'intervallo di tempo è brevissimo

Ciò forse è dovuto al fatto di ritenere un approfondimento della velocità istantanea di trascurabile importanza culturale o troppo impegnativo a livello del secondo anno del primo biennio della scuola secondaria di secondo grado.

Al contrario, per la nostra esperienza, tale approfondimento, al pari di altre definizioni e concetti scientifici:

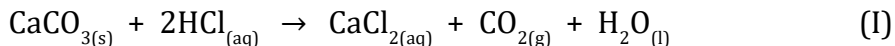
- presuppone una trattazione in chiave multidisciplinare adeguata per "sviluppare il territorio dell'interdisciplinarietà, della multidimensionalità, del reale e della complementarietà dei saperi" del nuovo paradigma della complessità, come auspicato anni fa in *CnS* [5-6];
- consente una definizione di velocità istantanea senza il ricorso ai concetti di trigonometria, limite e derivata;
- interessa molti ragazzi animati da particolare motivazione per le discipline scientifiche;
- non richiede grande dispendio di tempo ed è alla portata delle capacità di apprendimento degli studenti del secondo anno del primo biennio.

A tale scopo viene proposto un possibile approccio induttivo-sperimentale, utilizzando la reazione fra marmo ( $\text{CaCO}_3$ ) e acido cloridrico, che viene di solito effettuata, assieme ad altri esperimenti di cinetica, per evidenziare l'influenza della superficie di contatto dei reagenti sulla velocità di reazione.

Tale esperimento consiste nel misurare la diminuzione di massa di una stessa quantità di marmo in uno stesso intervallo di tempo, variando la granulosità del marmo, ma utilizzando le medesime modalità sperimentali. Nel caso specifico ci si è concentrati solo sulla misura della velocità di reazioni usando una sola granulosità del marmo.

## 2. Descrizione dell'esperimento per l'approfondimento della velocità istantanea di reazione

La reazione in questione è:



che produce diossido di carbonio con conseguente diminuzione di massa di reazione, cosa che è evidenziata da ragazzi tramite la bilancia di adeguata precisione.

Però, in questo caso, non si misura la diminuzione di massa in un certo intervallo di tempo, ma la progressiva diminuzione di massa (minuto dopo minuto) fino a quando non si osserva più nessuna variazione (termine della reazione).

### 2.1 Obiettivi

Guidare gli allievi, mediante una discussione interattiva dei risultati sperimentali ottenuti e sfruttando le loro conoscenze e abilità in matematica e fisica, alla comprensione del motivo per cui la velocità istantanea corrisponde al coefficiente angolare della tangente in uno specifico punto alla curva che riporta la variazione della quantità di sostanza in funzione del tempo.

### 2.2 Reattivi e strumenti

- becker da 250 mL
- vetrini da orologio
- pezzetti di marmo con massa compresa fra 1-2 g
- soluzione di acido cloridrico 6 M
- bilancia digitale o analogica a lettura immediata in grado di apprezzare la seconda cifra decimale
- orologio contasecondi (o cronometro)

### 2.3 Procedimento

Si versano circa 50 mL di soluzione di HCl nel becker e si pone sul piatto della bilancia. Si copre con un vetrino e si legge la massa. Si pongono sul vetrino i pezzetti di marmo la cui massa deve essere compresa fra 1 e 2 g.

Dopo avere annotato la massa di tutto il sistema, si introduce il marmo nel becker e si copre immediatamente con il vetrino per impedire la fuoriuscita di gocce di liquido.

La reazione produce gas  $\text{CO}_2$  che esce attraverso il beccuccio del becker.

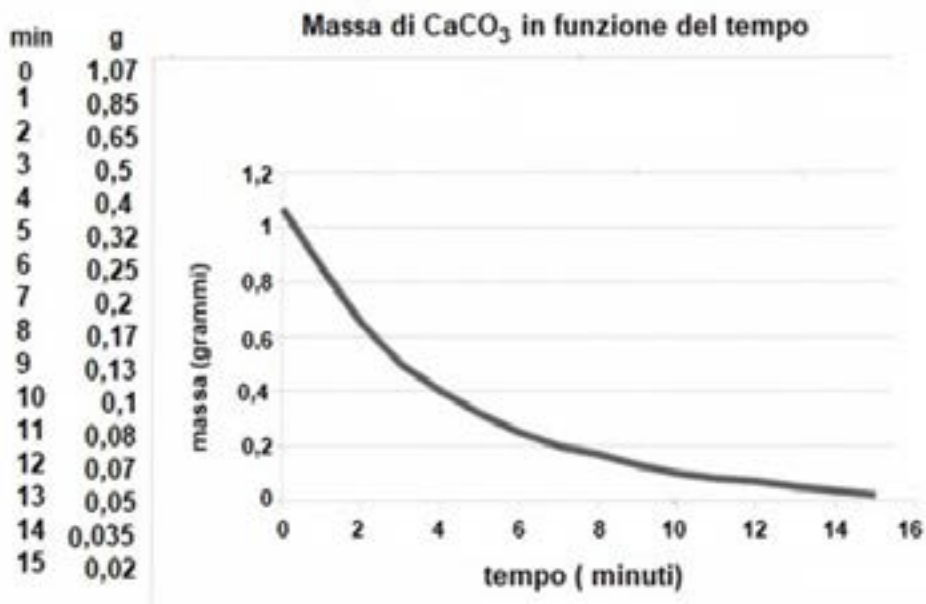
Quindi, mediante l'orologio contasecondi, si registra ogni minuto la progressiva diminuzione di massa a partire dal momento in cui i reagenti vengono a contatto fino a quando non si osserva più alcuna variazione.

Con i dati ottenuti ogni gruppo di studenti costruisce il grafico relativo alla variazione della massa in funzione del tempo e calcola il coefficiente angolare relativo ad un dato istante prefissato dall'insegnante e diverso per ogni gruppo.



Così ogni gruppo di allievi può ottenere, senza problemi di sicurezza e in tempo breve, i dati sperimentali necessari per approfondire, in una fase successiva all'attività sperimentale, il concetto di velocità istantanea.

A titolo di esempio, si riportano in figura 1 i dati sperimentali e il grafico della variazione della massa di  $\text{CaCO}_3$  (s) in funzione del tempo, per la reazione (I), ottenuti diversi anni fa da un gruppo di allievi di una classe del primo biennio dell'IPSIA "G. Ceconi" di Udine.



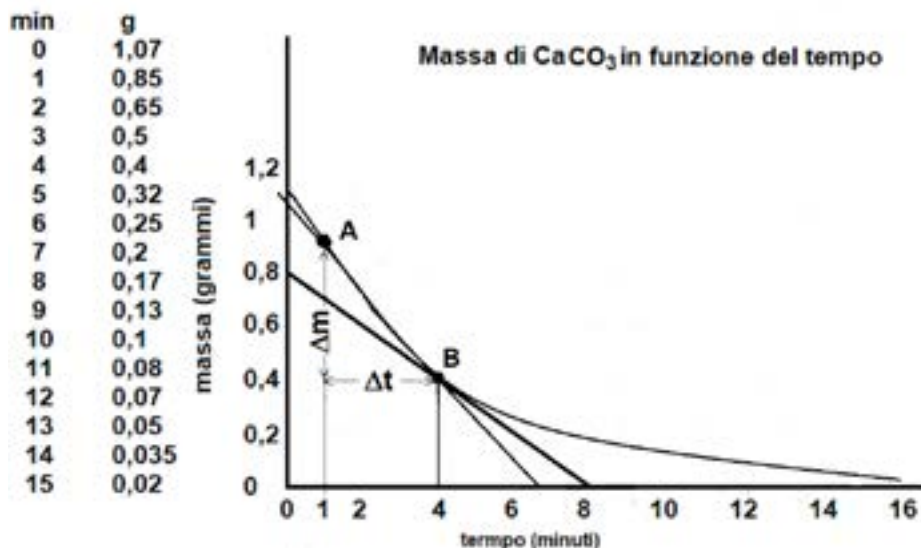
**Figura 1.** Grafico della massa di marmo in funzione del tempo (minuti)

A questo punto, si chiede agli studenti di calcolare i coefficienti angolari delle tangenti alla curva del grafico relativamente ad alcuni istanti assegnati.

### 3. Discussione

Nella discussione relativa all'esperimento, i ragazzi vengono guidati alla "scoperta" del motivo per cui la velocità istantanea corrisponde al coefficiente angolare della tangente alla curva della variazione di massa rispetto al tempo, utilizzando i loro grafici e i calcoli dei coefficienti angolari.

A tale scopo, ad esempio, si invitano gli allievi a congiungere, come riportato in figura 2, il punto A con il B nella curva variazione di massa (grammi)/tempo (minuti), ottenendo la secante della curva.



**Figura 2.** Grafico della secante e della tangente relativa all'istante  $t = 4$  minuti

Quindi indicando con:

$\Delta m$  = diminuzione di massa di  $\text{CaCO}_3$  in grammi fra i punti A e B (decremento ordinata)

$\Delta t$  = intervallo di tempo in minuti fra i punti A e B (incremento ascissa)

si fa notare che il coefficiente angolare di tale retta secante, dato dal rapporto  $\Delta m/\Delta t$ , corrisponde alla velocità media relativa al tempo  $\Delta t$  impiegato per la trasformazione di  $\Delta m$  grammi di marmo:

$$\text{velocità}_{\text{media}} = \Delta m \text{ (g)}/\Delta t \text{ (min)}$$

Pertanto, utilizzando la figura 2, gli studenti comprendono abbastanza facilmente che, quando  $\Delta t$  diventa piccolissimo, il punto A si approssima al punto B e, quanto più A si avvicina a B, tanto più la retta secante si avvicina alla tangente alla curva nel punto B.

In particolare, riferendosi ai coefficienti angolari della retta secante e della tangente, risulta evidente il motivo per cui la velocità istantanea corrisponde al coefficiente angolare della tangente alla curva variazione di massa/tempo nell'istante in esame.

Come ultima considerazione si può aggiungere che la velocità istantanea altro non è che velocità media considerando un intervallo di tempo tendente a zero.

#### 4. Conclusione

L'approfondimento proposto in questo articolo richiede un tempo supplementare rispetto a quello normalmente dedicato alla trattazione della cinetica nel primo biennio della scuola secondaria di secondo grado, ma suscita molto interesse e curiosità negli studenti più impegnati nello studio.

Inoltre, si ritiene che esso non sia di trascurabile significato culturale perché, come si è detto, anzitutto permette all'insegnante di introdurre la complessità disciplinare senza rinunciare a una definizione abbastanza rigorosa e approfondita, senza far ricorso ai concetti di trigonometria, limite e derivata.

Consente, inoltre, agli allievi di "trovare" una spiegazione non mnemonica della velocità istantanea, applicando utilmente le loro conoscenze e abilità a livello del primo biennio.

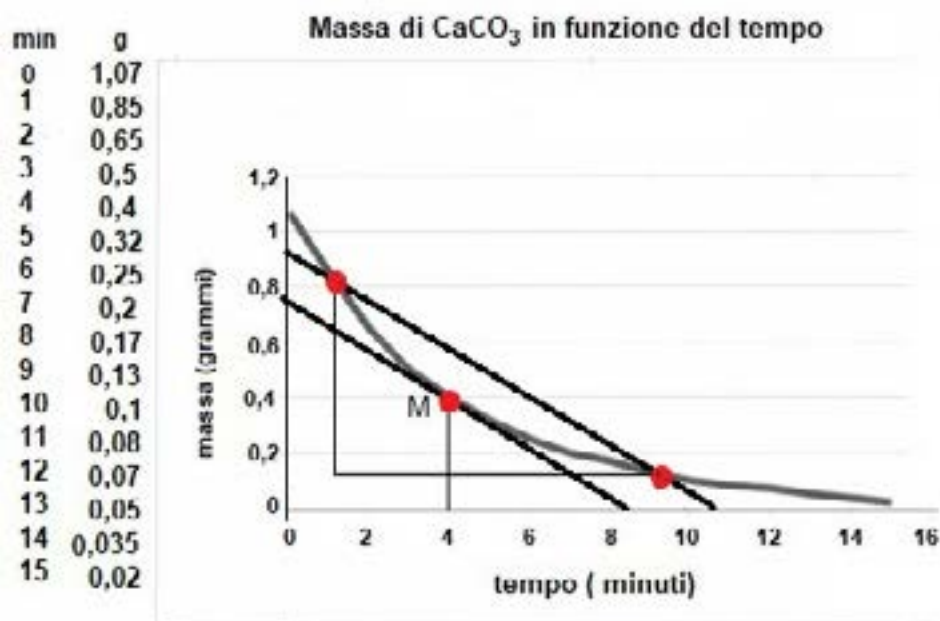
#### Nota aggiuntiva

Se l'insegnante lo ritiene adeguato alle capacità d'apprendimento dei suoi allievi, la discussione può iniziare partendo da una retta secante congiungente due punti, uno antecedente e un altro successivo a quello relativo all'istante considerato.

Infatti, nel linguaggio matematico, la velocità all'istante  $t$  è definita come il limite della velocità media in un intervallo  $\Delta t$  avente  $t$  come estremo, oppure comprendente  $t$ , quando l'ampiezza dell'intervallo tende a zero. In ogni caso, al tendere di  $\Delta t$  a zero, la retta secante si approssima sempre più alla posizione della tangente e il suo coefficiente angolare tende a diventare uguale a quello della tangente.

In tale modo, si spiega la "corrispondenza" della velocità istantanea con il coefficiente angolare della tangente alla curva variazione di massa/tempo.

Questo vale anche nel caso particolare in cui la retta secante sia *parallela* a quella tangente. Solo che, in questo caso, come si può notare dalla figura 3, la velocità all'istante  $t = 4$  min è uguale alla velocità media corrispondente all'intervallo di tempo  $\Delta t = 8$  min, cioè il coefficiente angolare della retta secante parallela è uguale a quello della retta tangente, perché le due rette sono parallele.



**Figura 3.** Caso particolare della retta secante parallela alla tangente

## Riferimenti

- [1] P. W. Atkins, J. De Paula, Elementi di chimica fisica, Zanichelli Editore, Bologna, 2018.
- [2] P. W. Atkins, J. De Paula, J. Keeler, Chimica Fisica, Zanichelli Editore, Bologna, 2020.
- [3] C. Vallance, An Introduction to Chemical Kinetics, Morgan and Claypool Publishers, San Rafael, California, 2017.
- [4] M. Lewis, G. Waller, La chimica: fatti e idee, Zanichelli Editore, Bologna 1988.
- [5] G. Villani, La chimica nella Scuola - CnS, 2009, 2, 109.
- [6] P. Ambrogi, M. A. Floriano, E. Ghibaudi, La chimica nella Scuola - CnS, 2005, 1, 9.

## Imparare la chimica analitica con il coding in Python

**Giovanni Merola, Jacopo Campagna, Samuele Celletti, Michele Maglia**  
Istituto Tecnico Industriale Statale “Stanislao Cannizzaro”, Colleferro (RM)

e-mail: [giovanni.merola@itiscannizzarocolleferro.it](mailto:giovanni.merola@itiscannizzarocolleferro.it)

---

**Abstract.** The innovation of teaching and learning methodologies in STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) is a priority for educational systems globally. It represents a fundamental challenge in schools to improve teaching effectiveness and the acquisition of technical, creative, digital, communication, collaboration, problem-solving, flexibility, adaptability, and critical thinking skills. Furthermore, the Ministry of Education aims to promote the establishment of laboratory spaces and the provision of suitable digital tools to support curriculum learning and the teaching of STEM subjects. The use of AI in STEM education opens new possibilities for engaging and interactive learning, fostering curiosity and exploration, and preparing students for the challenges of the digital age. This article presents a didactic approach to common problems in analytical chemistry, but also suitable for all STEM disciplines, which utilizes the foundations of the Python programming language to develop algorithms for solving various chemistry-related problems, including stoichiometry and analytical chemistry. Moreover, this educational program, divided into multiple modules, consists of laboratory sessions conducted in a computer or multimedia classroom. During these sessions, students will learn how to set up calculations and begin programming while gradually familiarizing themselves with the Python program's commands and syntax. Among the codes developed so far by a group of students from ITIS Cannizzaro in Colleferro (Rome), there are a unit converter, a tool for calculating the pH of weak and strong acids and bases, a tool for calculating titration curves, and others currently under development such as Webapps. The utilization of AI in this approach brings numerous benefits, including personalized learning, adaptive feedback, data analysis for optimization, real-time assistance, and fostering curiosity and digital preparedness.



**Keywords:** coding; Python; pH; STEM; chimica analitica

---

## 1. Introduzione

L'apprendimento delle discipline STEM (Scienze, Tecnologia, Ingegneria e Matematica) rappresenta una priorità nei sistemi educativi globali. Nell'ambito scolastico, è fondamentale migliorare l'efficacia didattica e sviluppare competenze tecniche, creative, digitali, di comunicazione, collaborazione, problem solving, flessibilità, adattabilità al cambiamento e pensiero critico. Il Ministero dell'Istruzione ha promosso l'implementazione di spazi laboratoriali e l'utilizzo di strumenti digitali adeguati per sostenere l'insegnamento delle discipline STEM [1].

Il linguaggio Python è stato sviluppato dall'olandese Guido van Rossum negli anni Novanta del secolo scorso per migliorare il linguaggio Perl. La sintassi di Python è molto più semplice e questo ne migliora la leggibilità del codice sorgente. L'uso di Python si è diffuso rapidamente nella community e in poco tempo ha raggiunto la notorietà di altri linguaggi *web oriented* come Java e lo stesso Perl [2]. Nel corso del tempo il linguaggio di programmazione ha beneficiato di una vera e propria evoluzione e grazie al fatto d'essere open source, tutti hanno contribuito a migliorarlo. Attualmente Python è utilizzato da molte società di *software development* e persino da molti colossi del Web, come il motore di ricerca Google e la piattaforma di condivisione dei video online YouTube. L'origine del nome è davvero particolare. Il creatore del linguaggio è un appassionato del gruppo comico inglese Monty Python. Questa passione ha influito sulla scelta del nome da dare al linguaggio di programmazione che ha un'origine decisamente bizzarra [3].

Python è un linguaggio Open Source che si sta diffondendo rapidamente in numerosi ambiti, tra cui quello scientifico. Il suo utilizzo si sta consolidando grazie alle caratteristiche di semplicità, eleganza, modernità, integrazione ed estendibilità. Questo fa di Python un candidato ideale per applicazioni scientifiche quali analisi dati, simulazioni, grafici, manipolazione algebrica e così via, anche a discapito dei numerosi software ritenuti indispensabili per tali scopi. Python ha una curva di apprendimento più rapida rispetto a Java e C++. Questo è dovuto alla sua sintassi intuitiva e alla disponibilità di una vasta documentazione e risorse online. Anche i principianti possono iniziare a scrivere codice funzionante in poco tempo.

Numeric, Scientific, SciPy, ChemPy [4] sono alcuni dei moduli che permettono moltissime operazioni di calcolo scientifico con estrema semplicità, esistono librerie per il calcolo parallelo; infine esistono moduli specifici per innumerevoli applicazioni (fisica, astronomia, chimica, ...), facilmente e liberamente reperibili, installabili e ben documentati [5]. A tutt'oggi quindi il software in ambito scientifico riveste un ruolo chiave nella elaborazione, gestione e presentazione dei dati sia nella ricerca, ma anche in ambito didattico [6].

La comunità scientifica ha già riconosciuto l'importanza di utilizzare il coding in Python nell'insegnamento della chimica, per questo sono stati svilup-

pati diversi moduli, come ad esempio, ChemPy, che offre funzionalità chimiche utili implementate in Python. Inoltre, è stato evidenziato come il computer possa aiutare nell'equilibrio delle equazioni chimiche ed è stata pubblicata una serie di quaderni Jupyter che utilizzano Python per un corso di chimica analitica [5, 7].

Questo articolo propone un approccio didattico innovativo per l'insegnamento della chimica analitica, basato sull'utilizzo del coding in Python. Lo scopo principale è fornire agli studenti uno strumento pratico e interattivo per affrontare le sfide della chimica analitica, sviluppando competenze chiave nel contesto delle discipline STEM. L'approccio didattico di costruire algoritmi per risolvere problemi fisici o chimici è importante perché promuove il pensiero logico-analitico e rafforza la comprensione dei concetti fondamentali, consentendo agli studenti di applicare le conoscenze teoriche in contesti pratici. Inoltre, sviluppa le abilità di problem solving e favorisce l'integrazione tra teoria e pratica nelle discipline scientifiche. Appare chiaro che il pensiero computazionale venga oggi riconosciuto come una competenza fondamentale per avere successo nelle discipline STEM, ma anche negli altri ambiti disciplinari. Programmare è un potente strumento di pensiero, di espressione e di crescita personale perché, imparando come si programma, si impara a imparare. A scuola gli insegnanti sono invitati a utilizzare il coding, che è il modo più diffuso per favorire l'acquisizione del pensiero computazionale [8].

L'intelligenza artificiale (IA) svolge un ruolo sempre più importante nell'ambito della programmazione e delle discipline STEM; l'IA può fornire suggerimenti e assistenza agli studenti durante il processo di programmazione. Ad esempio, possono essere forniti suggerimenti sulla sintassi corretta, su come risolvere determinati problemi, o su possibili errori nel codice. Questo aiuta gli studenti a risolvere i problemi in modo più efficiente e a superare eventuali ostacoli. Gli studenti, inoltre, possono interagire con un tutor virtuale basato sull'IA che fornisce spiegazioni dettagliate, esempi di codice e risposte alle domande. Questo offre un supporto personalizzato e accessibile in qualsiasi momento, consentendo agli studenti di apprendere al proprio ritmo. L'IA può essere utilizzata per automatizzare attività ripetitive nella programmazione: ciò consente agli studenti di concentrarsi su compiti più creativi e complessi, migliorando la loro produttività. L'IA può essere utilizzata per generare automaticamente parti di codice o interi programmi. Gli studenti possono utilizzare questa funzionalità per ottenere un punto di partenza o per esplorare nuove soluzioni. L'IA può essere usata per insegnare agli studenti i principi dell'apprendimento automatico e dell'intelligenza artificiale stessa. Gli studenti possono sviluppare modelli di apprendimento automatico utilizzando librerie e framework specifici, esplorando algoritmi e concetti chiave [9 - 13].

## 2. Metodologia

Il percorso didattico proposto è strutturato in moduli e prevede sessioni laboratoriali svolte in un'aula multimediale o informatica. Durante queste sessioni, gli studenti acquisiscono gradualmente familiarità con i fondamenti del calcolo e della programmazione, apprendendo i comandi e la sintassi del linguaggio Python. Durante il periodo compreso tra l'a.s. 2021/2022 e il 2023, un gruppo di studenti del 4° anno dell'Istituto Tecnico Industriale Statale "Stanislo Cannizzaro" di Colleferro (RM) ha partecipato attivamente al progetto PON dal nome "Mettiamoci le Mani", promosso dal nostro istituto. Queste attività si sono svolte durante l'orario pomeridiano e sono state finanziate nel contesto del Programma Operativo Nazionale (PON E POC) "Per la scuola, competenze e ambienti per l'apprendimento" 2014-2021, con il codice del progetto: PROGETTO 10.2.2A-FSEPON-LA-2021-176, nell'ambito dell'Asse I - Istruzione - Obiettivi Specifici 10.1, 10.2 e 10.3 - Azioni 10.1.1, 10.2.2 e 10.3.1. Durante il progetto i ragazzi hanno sviluppato diversi codici utili, quali un convertitore di unità di misura, uno strumento per il calcolo del pH di acidi e basi deboli e forti e uno strumento per il calcolo della massa molecolare. L'obiettivo del progetto era anche quello di realizzare percorsi educativi volti al potenziamento delle competenze e all'aggregazione e socializzazione degli studenti nell'emergenza COVID-19.

L'uso di strumenti come Colab e Trinket si è rivelato fondamentale per superare le complessità tecniche legate all'ambiente di sviluppo tradizionale su un PC. Colab ha permesso agli studenti di scrivere il codice e vedere immediatamente i risultati, senza dover affrontare l'installazione del software Python o la gestione delle dipendenze. Inoltre, l'utilizzo di Colab ha semplificato la configurazione dell'ambiente di sviluppo e la gestione dei file di progetto.

Questo approccio ha favorito l'apprendimento pratico e interattivo, sviluppando le competenze chiave nel contesto delle discipline STEM. Gli studenti hanno potuto applicare le conoscenze teoriche in contesti pratici, promuovendo il pensiero logico-analitico, il problem solving e l'integrazione tra teoria e pratica nelle discipline scientifiche.

Colab, abbreviazione di Google Colaboratory, è un ambiente di sviluppo interattivo basato sul cloud che consente di scrivere, eseguire e condividere il codice Python. È un'opzione altamente conveniente per eseguire i codici Python precedentemente sviluppati, in quanto non richiede l'installazione di software sul proprio computer.

Per accedere a Colab, è sufficiente avere un account Google e visitare il sito web ufficiale di Google Colaboratory all'indirizzo [colab.research.google.com](https://colab.research.google.com). Una volta effettuato l'accesso, è possibile creare nuovi notebook o aprire notebook esistenti. I notebook sono file interattivi che combinano codice, testo descrittivo e risultati di esecuzione.

L'utilizzo di Colab è semplice ed intuitivo. È possibile scrivere il codice Python



all'interno delle celle di codice, eseguire ogni cella singolarmente o tutte le celle contemporaneamente, visualizzare i risultati di esecuzione, importare librerie e persino installare pacchetti aggiuntivi.

### **3. Il linguaggio Python - La sintassi**

L'insegnamento della programmazione può essere una sfida, specialmente quando ci si trova di fronte a studenti disinteressati o poco competenti nella materia. Per affrontare questa sfida, è essenziale partire dalle funzioni basilari e dalla sintassi più semplice per introdurre Python.

Python è un linguaggio di programmazione versatile e potente, ma ciò non significa che debba essere insegnato in modo complesso fin dall'inizio. Al contrario, iniziare con le funzioni basilari e la sintassi più semplice può rendere l'apprendimento accessibile e coinvolgente per gli studenti che hanno poca familiarità con il coding e la programmazione.

Python è un linguaggio di programmazione ad alto livello, interpretato, dinamico e orientato agli oggetti. La sintassi di Python è progettata per essere chiara e intuitiva, facilitando così la scrittura e la comprensione del codice. La filosofia del linguaggio, spesso chiamata "Zen di Python", enfatizza la leggibilità del codice e favorisce l'approccio "esplicito è meglio del implicito". Ciò significa che il codice Python è solitamente scritto in modo chiaro e comprensibile, anche per i principianti.

Partire dalle funzioni basilari significa concentrarsi su concetti fondamentali come la dichiarazione delle variabili, la stampa dei messaggi, l'uso delle condizioni if-else e l'iterazione attraverso i cicli for. Questi concetti forniscono una base solida per la comprensione dei concetti più complessi che verranno introdotti successivamente.

La sintassi semplice, cioè l'organizzazione del codice in modo chiaro e comprensibile, è altrettanto importante. Spiegare agli studenti come strutturare correttamente il loro codice, utilizzando indentazioni adeguate e seguendo una logica di programmazione chiara, può aiutare a prevenire confusione e frustrazione.

Insegnare Python in modo graduale, partendo dalle basi e dalla sintassi più semplice, offre diversi vantaggi didattici. Prima di tutto, permette agli studenti di acquisire familiarità con il linguaggio gradualmente, senza sentirsi sopraffatti da concetti complessi. Inoltre, l'apprendimento progressivo consente agli studenti di sperimentare il successo fin dall'inizio, incoraggiandoli a continuare il loro percorso di apprendimento.

Se si vuole approfondire sono presenti diversi strumenti gratuiti on line per apprendere in modo significativo le basi del linguaggio Python come, ad esempio, i corsi Cisco "Skill for all" [14].

Oltre all'aspetto tecnico, è importante anche creare un ambiente di apprendimento stimolante e coinvolgente. Utilizzare esempi pratici, problemi reali e

progetti interessanti può aiutare a catturare l'attenzione degli studenti e dimostrare loro le applicazioni concrete della programmazione.

Infine, è fondamentale adattare l'insegnamento alle esigenze e agli interessi degli studenti. Cercare di comprendere le loro passioni e interessi personali e creare esempi e progetti che siano rilevanti per loro può rendere l'apprendimento di Python più significativo e coinvolgente.

In conclusione, partire dalle funzioni basilari e dalla sintassi più semplice per insegnare Python ai ragazzi disinteressati o poco competenti nella materia di coding e programmazione può essere un metodo efficace. Con un approccio graduale, un'organizzazione chiara del codice e l'utilizzo di esempi pratici e coinvolgenti, è possibile rendere l'apprendimento di Python accessibile, stimolante e gratificante per tutti gli studenti.

Ecco alcuni aspetti chiave della sintassi di Python che occorre introdurre per prendere pratica con i comandi.

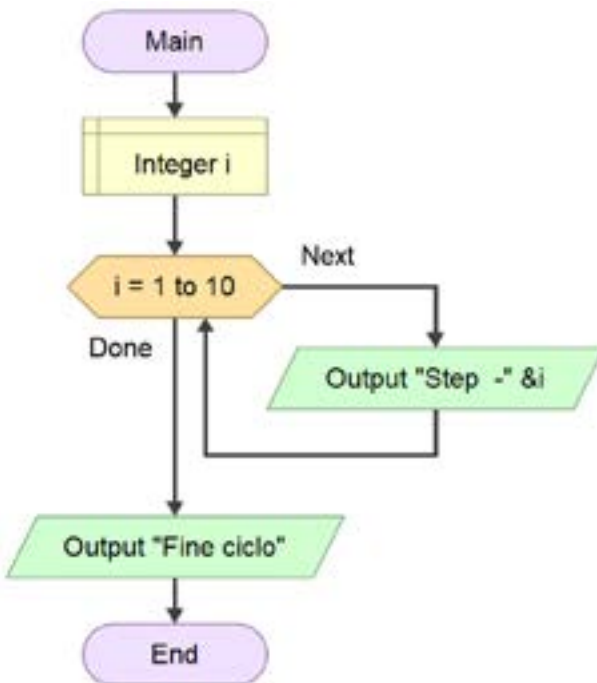
- *Indentazione*: Python utilizza l'indentazione per definire i blocchi di codice, come cicli, funzioni e classi. Gli spazi o le tabulazioni sono utilizzati per indicare la struttura del codice, evitando l'uso di parentesi graffe o altre delimitazioni simili.
- *Tipizzazione dinamica*: Python è un linguaggio a tipizzazione dinamica, il che significa che non è necessario dichiarare il tipo di una variabile esplicitamente. Le variabili in Python possono essere assegnate a diversi tipi di dati durante l'esecuzione del programma.
- *Commenti*: i commenti in Python vengono preceduti dal simbolo “#” e sono utilizzati per fornire spiegazioni o note nel codice. I commenti non vengono eseguiti e sono utili per rendere il codice più comprensibile agli altri programmatori.
- *Operatori*: di seguito è riportata una tabella con alcuni operatori matematici in Python

Operatore	Descrizione	Esempio	Risultato
+	Addizione	2 + 3	5
-	Sottrazione	5 - 3	2
*	Moltiplicazione	2 * 3	6
/	Divisione	6 / 3	2.0
//	Divisione intera	7 // 3	2
%	Resto della divisione	7 % 3	1
**	Potenza	2 ** 3	8
math.sqrt	Radice quadrata	math.sqrt(9)	3.0

Questi sono solo alcuni degli operatori matematici disponibili in Python. Puoi combinare questi operatori per eseguire calcoli più complessi.

- *Strutture dati*: Python fornisce diverse strutture dati incorporate, come liste, tuple, set e dizionari, che consentono di organizzare e manipolare i dati in modo efficiente.
- *Controllo del flusso*: Python offre costrutti per il controllo del flusso come if-else, cicli for e while, che consentono di eseguire azioni condizionali o ripetitive.

Un app utile è Flowgorithm [15] che ci consente di programmare attraverso schemi di flusso a blocchi e vedere il codice corrispondente ed eseguirlo direttamente:



#### Esempio di ciclo

```
for i in range(1, 10 + 1, 1):  
    print("Step -" + str(i))  
    print("Fine ciclo")
```

output:

```
Step -1  
Step -2  
Step -3  
Step -4  
Step -5  
Step -6  
Step -7  
Step -8  
Step -9  
Step -10  
Fine ciclo
```

- *Funzioni*: Le funzioni in Python sono definite utilizzando la parola chiave "def" e possono essere richiamate per eseguire azioni specifiche. Le funzioni consentono di modularizzare il codice e renderlo riutilizzabile.

Esempio di funzione:

```
def saluta(nome): # Definizione di una funzione 'saluta' con un parametro 'nome'  
    print("Ciao,", nome, "! Benvenuto.") # Stampa del messaggio di saluto  
    saluta("Marco") # Chiamata alla funzione 'saluta' con il valore "Marco" come  
    argoment
```

Output:

```
Ciao, Marco! Benvenuto.
```

- *Librerie:* Python ha una vasta gamma di librerie e moduli che forniscono funzionalità aggiuntive. Queste librerie possono essere importate nel codice per estendere le capacità di base del linguaggio.

Esempio di utilizzo di una libreria esterna:

```
import math # Importazione della libreria 'math' per eseguire operazioni matematiche
raggio = 5 # Dichiarazione della variabile 'raggio' con il valore 5
area = math.pi * raggio ** 2 # Calcolo dell'area del cerchio utilizzando la costante pi
print("L'area del cerchio con raggio", raggio, "è", area) # Stampa del risultato
```

Output:

```
L'area del cerchio con raggio 5 è 78.53981633974483.
```

#### 4. Il codice sviluppato

Il percorso didattico sviluppato nella prima parte si basa sull'approccio di inquiry, che promuove l'apprendimento attraverso l'esplorazione attiva, la scoperta e l'indagine. In particolare, nella prima parte di questo percorso, gli studenti vengono guidati a risolvere problemi analitici in chimica utilizzando Python senza l'uso di moduli esterni.

Per avvicinare gli studenti al calcolo del pH di un acido forte e debole, vengono fornite loro le equazioni di base e i principi sottostanti all'equilibrio chimico. Inizialmente, gli esercizi si concentrano su sistemi abbastanza semplici e con approssimazioni che consentono agli studenti di risolvere gli equilibri analiticamente e ottenere una formula risolutiva per il calcolo del pH. Questo approccio classico è simile a quello che viene svolto tradizionalmente sulla lavagna e sul quaderno durante le lezioni di chimica. Tuttavia, come evidenziato, quando si affrontano sistemi chimici più complessi, come acidi poliprotici che coinvolgono equilibri multipli, la soluzione analitica diventa notevolmente più complessa. In queste situazioni, il calcolo del pH richiederebbe numerose approssimazioni e condizioni, rendendolo un esercizio di chimica estremamente ripetitivo e con poco valore didattico. A livello scolastico, quindi, è comune limitarsi a una descrizione qualitativa dei fenomeni più complessi come gli equilibri multipli.

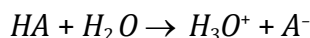
Per superare questa limitazione e fornire agli studenti gli strumenti per affrontare anche problemi chimici più complessi, nella seconda parte di questo percorso didattico, ci si è concentrati sull'approccio di "thinkering" (pensare sperimentando) insieme all'utilizzo di moduli specializzati, come ChemPy, per

risolvere problemi chimici più complessi e realistici. Il *thinkering* è un concetto che combina il pensiero critico con l'esplorazione sperimentale e il *tinkering* (sperimentare e modificare). A differenza dell'approccio tradizionale, in cui gli studenti risolvono analiticamente gli equilibri chimici, il *thinkering* permette agli studenti di "armeggiare" con il codice Python e di sperimentare con diversi input e parametri per ottenere risultati interessanti. L'uso di moduli specializzati quale ChemPy si rivela prezioso quando si affrontano sistemi chimici complessi, come acidi poliprotici. Il principale vantaggio di questi moduli è la notevole semplificazione del processo di calcolo, il che consente agli studenti di concentrarsi sulla logica del problema e sulle regole per utilizzare correttamente tali strumenti. Questo approccio apre la possibilità di affrontare problemi chimici più realistici e complessi senza richiedere una conoscenza matematica estremamente approfondita, rendendo l'apprendimento più accessibile e stimolante. Anche se gli studenti potrebbero non comprendere pienamente tutti i dettagli matematici o gli algoritmi alla base dei moduli, acquisiranno comunque una competenza fondamentale nell'applicare strumenti tecnologici per esplorare e risolvere problemi scientifici. Questa metodologia offre un valore didattico significativo poiché consente agli studenti di affrontare in modo più efficace ed efficiente problemi complessi, sviluppando al contempo competenze di problem-solving e programmazione che saranno preziose sia nella scienza che in altre discipline.

Prima di sviluppare il codice per il calcolo del pH di un acido forte o debole, è stata effettuata una revisione della teoria chimica degli equilibri acido-base. Ci si è basati sulle formule e le approssimazioni presenti nel libro di testo in adozione alla classe "Chimica Analitica" [16]. Durante questo processo, sono state prese in considerazione le condizioni in cui alcune approssimazioni sono valide o non valide.

Ad esempio, nel caso di un acido forte, quando l'acidità è molto elevata e la concentrazione dell'acido è significativa, si può utilizzare direttamente il logaritmo della concentrazione per calcolare il pH.

Per un acido forte monoprotico HA si ha:



Partendo dalla definizione di pH

$$pH = -\log_{10} a_{H_3O^+}$$

e considerando  $\gamma \rightarrow 1$ , si può calcolare il pH con la seguente espressione:

$$pH = -\log_{10} [H_3O^+]$$

Questa approssimazione è valida quando il contributo dell'autoionizzazione dell'acqua può essere trascurato rispetto alla concentrazione dell'acido forte e, cioè, quando la concentrazione dell'acido è superiore a  $10^{-5}$  M.

D'altra parte, nel caso di una concentrazione più bassa dell'acido, si deve prendere in considerazione l'equilibrio di autoprotolisi dell'acqua con il suo valore  $K_w$  e considerare la relazione:

$$[H_3O^+]_{Totali} = [H_3O^+]_{acido} + [H_3O^+]_{acqua}$$

$2H_2O$	$\rightleftharpoons$	$H_3O^+$	$+$	$OH^-$
		$[H_3O^+]_{acido} + [H_3O^+]_{acqua}$		$[OH^-]_{acqua}$
		$-x$		$-x$
		$[H_3O^+]_{acido} + [H_3O^+]_{acqua} - x$		$[OH^-]_{acqua} - x$

$$K_w = [H_3O^+] \times [OH^-]$$

$$K_w = ([H_3O^+]_{acido} + [H_3O^+]_{acqua} - x) \times ([OH^-]_{acqua} - x) = 10^{-14}$$

Risolviendo l'equazione di secondo grado possiamo ricavare e quindi calcolare il pH.

Per un acido debole monoprotico HA si ha:

$HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$		
$K_a = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA]}$		
$C_a = \text{concentrazione analitica dell'acido}$ $x = [H_3O^+] = [A^-]$		
$HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$		
$C_a$	$-$	$-$
$-x$	$x$	$x$
$C_a - x$	$x$	$x$
$K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{C_a - [H_3O^]}$		
Se $C_a \gg [H_3O^+] \Rightarrow C_a - [H_3O^+] \cong C_a$		
$K_a = \frac{[H_3O^+]^2}{C_a} \Rightarrow [H_3O^+] = \sqrt{K_a \times C_a}$		
Altrimenti è necessario risolvere l'equazione di 2° grado: $[H_3O^+]^2 - K_a \times [H_3O^+] + K_a \times C_a = 0$		

Tuttavia, nel primo caso, è necessario tenere conto di alcune approssimazioni come, ad esempio, il fatto che la concentrazione dell'acido debole sia molto inferiore rispetto alla concentrazione dell'acqua e che il rapporto tra la concentrazione dell'acido e la costante di dissociazione sia inferiore a 100.

Considerando queste condizioni e approssimazioni, è stato possibile sviluppare un codice che permette di calcolare correttamente il pH di un acido forte o debole, fornendo così un utile strumento per gli studi di chimica analitica.

Durante il periodo di sviluppo del codice nel contesto del progetto "Mettiamoci le Mani", gli studenti hanno potuto beneficiare del supporto dell'Intelligenza Artificiale (IA) (OpenAI, s.d.) quale strumento di aiuto nella creazione degli algoritmi. L'IA ha fornito un supporto prezioso dando suggerimenti e soluzioni, ottimizzando il processo di sviluppo e consentendo agli studenti di affrontare in modo più efficace le sfide di programmazione. L'IA ha svolto un ruolo importante nel migliorare la produttività e la precisione degli algoritmi, consentendo agli studenti di concentrarsi sulle logiche di risoluzione del problema e di approfondire la comprensione dei concetti fisici e chimici sottostanti. Di seguito viene riportato il codice fornito nel riquadro a parte, con commenti che spiegano il funzionamento di ciascun codice.

#### 4.1 Convertitore

Si parte da un semplice codice, un convertitore che prende in input un valore in metri cubi e lo converte in litri moltiplicando per 1000 (Figura 1). Il risultato viene quindi stampato a video.

```
#Convertitore.py
print('convertitore metri cubi a litri')
M_3 = float(input('inserisci il valore in metri cubi :'))
L = M_3 * 1000
print('il risultato è:', L, 'Litri')
```

\*In appendice il commento al codice



```
- Convertitore da metri cubi a litri
Aut. Celletti Samuele

[ ] #Convertitore.py
print('convertitore metri cubi a litri')
M_3 = float(input('inserisci il valore in metri cubi :'))
L = M_3 * 1000
print('il risultato è:', L, 'Litri')

convertitore metri cubi a litri
inserisci il valore in metri cubi :3
il risultato è: 3000.0 Litri
```

**Figura 1.**  
Esempio  
di utilizzo  
del codice  
Convertitore in  
google Colab

#### 4.2 Calcolo del pH di un acido forte

Questo codice calcola il pH di un acido forte in base alla sua molarità. L'utente può inserire la molarità dell'acido e il programma calcola il pH corrispondente (Figura 2). Se la molarità è inferiore a  $10^{-6}$ , viene risolta un'equazione di secondo grado per ottenere il pH corretto. Se la molarità è maggiore o uguale a  $10^{-6}$ , viene calcolato direttamente il pH utilizzando il logaritmo in base 10. L'utente può inserire 0 per uscire dal programma.

```
#Acidoforteloop.py
import math
print('calcolo pH di un acido Forte --- inserisci 0 per uscire')
pH = float(0)
Ca = 0.1
while Ca > 0:
    Ca = float(input('inserisci la Molarità dell acido: '))
    if Ca < 1e-6 and Ca > 0:
        print('Molto diluita!! risolvo l\'equazione di secondo grado')
        x = (-Ca + ((Ca**2) + 4e-14)**0.5) / 2
        x += Ca
        x = -math.log(x, 10)
        print('il pH è:', x)
    elif Ca >= 1e-6:
        pH = -math.log(Ca, 10)
        pH = round(pH, 2)
        print('il pH è:', pH)
    else:
        print('Fine')
```

\*In appendice il commento al codice

```
↳ calcolo pH di un acido Forte --- inserisci 0 per uscire
   inserisci la Molarità dell acido: 0.1
   il pH è: 1.0
   inserisci la Molarità dell acido: 0
   Fine
```

Figura 2. Output del codice per il calcolo del pH di un acido forte



### 4.3 Calcolo del pH di un acido debole

Questo codice calcola il pH di un acido debole in base alla sua molarità e alla costante di acidità  $K_a$ . L'utente può inserire la molarità dell'acido e la  $K_a$ , e il programma calcola il pH corrispondente (Figura 3). Vengono considerati diversi casi: se la molarità divisa per la  $K_a$  è inferiore a 100 e la molarità è maggiore di  $10^{-5}$ , viene risolta un'equazione di secondo grado per ottenere il pH corretto. Se la molarità divisa per la  $K_a$  è maggiore di 100, viene calcolato il pH utilizzando la radice quadrata del prodotto della molarità per la  $K_a$ . Se nessuna delle condizioni precedenti è soddisfatta, viene stampato un messaggio di avviso. L'utente può inserire 0 per uscire dal programma.

```
#acidodebole.py
import math
print("""----calcolo pH di un acido Debole ---
inserisci 0 per uscire """)
pH = float(0)
Ca = 0.1
Ka = float(input('Inserisci la Ka: '))
while Ca > 0 and Ka > 0:
    Ca = float(input('inserisci la Molarità dell acido: '))
    if Ca == 0:
        break
    if Ca/Ka <= 100 and Ca >= 1e-5:
        print('Molto diluita o acido poco debole !! risolvo l\'equazione di secondo grado')
        x = (-Ka + ((Ka**2) + 4*Ka*Ca)**0.5) / 2
        x = -math.log(x, 10)
        print('il pH è:', x)
    elif Ca/Ka > 100:
        H = (Ca*Ka)**0.5
        pH = -math.log(H, 10)
        pH = round(pH, 2)
        print('il pH è:', pH)
    else:
        print('Troppo Diliuta....!')
        break
print('Fine')
```

\*In appendice il commento al codice

```
☞ ----calcolo pH di un acido Debole ---
   inserisci 0 per uscire
   Inserisci la Ka: 10e-5
   inserisci la Molarità dell acido: 0.01
   Molto diluita o acido poco debole !! risolvo l'equazione di secondo grado
   il pH è: 3.021705686457112
   inserisci la Molarità dell acido: 0.1
   il pH è: 2.5
   inserisci la Molarità dell acido: 0
   Fine
```

Figura 3. Esempio di utilizzo del codice per il calcolo del pH di un acido debole

## 5. ChemPy e calcolo di equilibri multipli

L'utilizzo di librerie o strumenti specializzati come ChemPy [17] nel contesto dello sviluppo di codice per calcolare il pH di acidi può offrire diversi vantaggi significativi rispetto alla creazione manuale di algoritmi. Una volta compreso il meccanismo di base, l'adozione di ChemPy può semplificare notevolmente il processo di sviluppo e migliorare l'efficienza complessiva. Una sostanziale novità viene introdotta in questa fase nella programmazione con l'utilizzo delle librerie e della programmazione agli oggetti rispetto alla programmazione procedurale e l'utilizzo delle variabili finora utilizzati. La differenza fondamentale tra la programmazione procedurale utilizzando le variabili e la programmazione orientata agli oggetti sta nell'approccio e nell'organizzazione del codice. Nella programmazione procedurale, il codice è organizzato in procedure o funzioni che manipolano dati mediante l'utilizzo di variabili. Le variabili contengono i valori e vengono passate alle funzioni per elaborare i dati. Questo approccio è più lineare e mira a risolvere un problema attraverso una sequenza di passi strutturati, invece nella programmazione orientata agli oggetti, il codice è organizzato intorno agli "oggetti", che rappresentano entità del mondo reale con attributi e comportamenti specifici. Gli oggetti interagiscono tra loro attraverso messaggi e ogni oggetto può essere visto come una "capsula" che incorpora dati e funzioni pertinenti ad esso. Questo paradigma consente di organizzare il codice in modo più modulare, permettendo la riutilizzabilità del codice e una maggiore astrazione dei concetti.

Uno dei principali vantaggi di ChemPy è l'accesso ad algoritmi già pronti e specificamente progettati per gestire situazioni complesse con equilibri multipli. Questo è particolarmente importante quando si lavora con acidi deboli che possono avere molteplici specie ioniche e possono comportarsi in modo non lineare. ChemPy offre strumenti e funzioni specifiche per risolvere tali equilibri in modo accurato e preciso, fornendo risultati affidabili senza la necessità di implementare manualmente algoritmi complessi.

Inoltre, ChemPy permette l'utilizzo di database con dati sulle sostanze chimiche, come la massa molecolare, i dati termodinamici e altre proprietà rilevanti.

Questi database consentono di accedere rapidamente e facilmente a informazioni chiave sulle sostanze coinvolte negli equilibri acido-base. Ciò semplifica il processo di ricerca e recupero delle informazioni necessarie per effettuare i calcoli corretti e rende il codice più robusto e affidabile.

Per installare la libreria ChemPy è necessario eseguire in google colab il seguente comando prima di eseguire il codice. Una volta installata la libreria non sarà più necessario eseguire di nuovo il comando

```
!pip install chempy
```

Per i comandi fare riferimento alla guida on line di ChemPy al link: <https://pythonhosted.org/chempy/>

### 5.1 Calcolo del pH dell'ammoniaca

Questo codice calcola il pH di una soluzione di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) in equilibrio con ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), in base alla concentrazione iniziale dei componenti (Figura 4). Viene utilizzata la libreria ChemPy per gestire l'equilibrio chimico. Viene definito un sistema di equazioni chimiche con le reazioni di autoprotolisi dell'acqua e di protolisi dell'ammoniaca. Viene quindi calcolato il pH utilizzando il metodo root del sistema di equazioni. Viene stampato il risultato a video.

```
#Ammonia.py
from collections import defaultdict
from chempy import Equilibrium
from chempy.equilibria import EqSystem
from chempy.chemistry import Species
from math import log10
Cb = float(input('Inserisci concentrazione molare ammoniaca: '))
water_autop = Equilibrium({'H2O'}, {'H+', 'OH-'}, 10** -14) # unit "molar" assumed
ammonia_prot = Equilibrium({'NH4+'}, {'NH3', 'H+'}, 10** -9.24) # same here
substances = [Species.from_formula(f) for f in 'H2O OH- H+ NH3 NH4+'.split()]
eqsys = EqSystem([water_autop, ammonia_prot], substances)
print('\n'.join(map(str, eqsys.rxns))) # "rxns" short for "reactions"
init_conc = defaultdict(float, {'H2O': 1, 'NH3': Cb})
x, sol, sane = eqsys.root(init_conc)
assert sol['success'] and sane
print(' M, '.join('% .2g' % v for v in x))
print("pH: %.2f" % -log10(x[2]))
```

\*In appendice il commento al codice

```
↳ Inserisci concentrazione molare ammoniaca: 0.01
H2O = H+ + OH-; 1e-14
NH4+ = H+ + NH3; 5.75e-10
1 M, 0.00041 M, 2.4e-11 M, 0.0096 M, 0.00041
pH: 10.61
```

Figura 4. Esempio di utilizzo della libreria Chempy nel codice "ammonia.py"

## 5.2 Calcolo del pH di un acido monoprotico debole

Questo codice calcola il pH di un acido debole monoprotico (HA) che si dissocia in uno ione  $A^-$  e un protone  $H^+$ . L'utente può inserire i valori per HA,  $A^-$ ,  $K_a$  (costante di acidità) per diversi tipi di acidi in una lista all'interno del codice o eventualmente in un modulo separato; successivamente viene richiesto di selezionare il tipo di acido e la sua concentrazione iniziale  $C_a$  (concentrazione iniziale di HA). Viene utilizzata la libreria chempy per gestire l'equilibrio chimico. Viene definito un sistema di equazioni chimiche con le reazioni di autoprotolisi dell'acqua e di protolisi dell'acido debole. Viene quindi calcolato il pH utilizzando il metodo root del sistema di equazioni (Figura 5). Viene stampato il risultato a video.

```
#monoprotico.py
from collections import defaultdict
from chempy import Equilibrium
from chempy.equilibria import EqSystem
from chempy.chemistry import Species

# Lista degli acidi monoprotici
acidi_monoprotici = {
    'Acido acetico': {'formula': 'CH3COOH', 'Ka': 1.8e-5},
    'Acido formico': {'formula': 'HCOOH', 'Ka': 1.8e-4},
    'Acido propionico': {'formula': 'C2H5COOH', 'Ka': 1.3e-5},
    'Acido butirrico': {'formula': 'C3H7COOH', 'Ka': 1.5e-5},
    'Acido valerico': {'formula': 'C4H9COOH', 'Ka': 1.8e-5},
    'Acido benzoico': {'formula': 'C6H5COOH', 'Ka': 6.3e-5}
    # Aggiungi altri acidi monoprotici alla lista con le relative formule e valori di Ka
}

print("Calcolo pH acido monoprotico")
print("Seleziona un acido monoprotico dalla lista:")
for i, acido in enumerate(acidi_monoprotici.keys(), start=1):
    print(f"{i}. {acido}")

scelta = int(input("Inserisci il numero corrispondente all'acido scelto: "))
acido_scelto = list(acidi_monoprotici.keys())[scelta - 1]
formula = acidi_monoprotici[acido_scelto]['formula']
```

```
Ka = acidi_monoprotici[acido_scelto]['Ka']
Ca = float(input("Inserisci la concentrazione di HA: "))

water_autop = Equilibrium({'H2O'}, {'H+', 'OH-'}, 10** -14)
acid_prot = Equilibrium({formula}, {f'{formula[:-1]}-', 'H+'}, Ka)

substances = [Species.from_formula(f) for f in ['H2O', 'OH-', 'H+', formula, f'{formula[:-1]}-']]
eqsys = EqSystem([water_autop, acid_prot], substances)

init_conc = defaultdict(float, {'H2O': 55.4, formula: Ca})
x, sol, sane = eqsys.root(init_conc)

if sol['success'] and sane:
    conc = dict(zip(eqsys.substances, x))
    from math import log10
    pH = -log10(conc['H+'])
    print(f"pH: {pH:.2f}")
else:
    print("Impossibile calcolare il pH.")
```

\*In appendice il commento al codice

```
↳ Calcolo pH acido monoprotico
Seleziona un acido monoprotico dalla lista:
1. Acido acetico
2. Acido formico
3. Acido propionico
4. Acido butirrico
5. Acido valerico
6. Acido benzoico
Inserisci il numero corrispondente all'acido scelto: 2
Inserisci la concentrazione di HA: 0.01
pH: 2.90
```

**Figura 5.** Esempio di utilizzo della libreria Chempy nel codice "monoprotico.py"

## 6. pHcalc e curve di titolazione

pHcalc [18] è un modulo Python che fornisce funzionalità per il calcolo delle curve di titolazione acido-base. È uno strumento molto utile per gli scienziati e gli studenti di chimica che desiderano esplorare e comprendere il comportamento acido-base di diverse specie chimiche.

Con pHcalc è possibile definire acidi e basi con i loro  $pK_a$ , concentrazioni iniziali e cariche. Utilizzando un algoritmo basato sull'equilibrio chimico, pHcalc risolve le equazioni di bilancio ionico e calcola il pH delle soluzioni in diverse condizioni.

Questo modulo permette di tracciare le curve di titolazione acido-base, che mostrano come il pH di una soluzione varia al variare del volume di una sostanza titolante aggiunta. È possibile ottenere curve di titolazione per una vasta gamma di acidi e basi, consentendo di esplorare diversi scenari e confrontare i risultati. L'utilizzo di pHcalc semplifica il calcolo dei pH delle soluzioni durante le titolazioni e fornisce un modo pratico per visualizzare e analizzare i dati sperimentali. Inoltre, grazie alla flessibilità e alla modularità di Python, pHcalc può essere facilmente integrato in script personalizzati o applicazioni più ampie per l'analisi chimica.

pHcalc calcola il pH di un sistema complesso di acidi e basi utilizzando un metodo di soluzione dell'equilibrio sistemico. Questo metodo è descritto in dettaglio in un articolo del *Journal of Chemical Education* [19] e in uno di WikiChem [20]. Essenzialmente, questo metodo trova il pH ottimale per la miscela regolando sistematicamente il pH fino a raggiungere un equilibrio di carica, ovvero le concentrazioni degli ioni a carica positiva uguali a quelle degli ioni a carica negativa. Per gli acidi deboli, viene determinata la distribuzione frazionata delle specie a un dato valore di pH. Moltiplicando questa distribuzione per la concentrazione dell'acido in soluzione, si ottengono le concentrazioni di ciascuna specie acida nel sistema che vengono utilizzate per bilanciare la carica. Questa strategia risolutiva di solito non viene trattata con gli studenti delle scuole superiori di secondo grado, ma è necessario introdurla, partendo dalla condizione di elettroneutralità e dal bilancio di massa, per trattare i diagrammi di distribuzione. Per gli acidi deboli poliprotici viene determinata la distribuzione frazionata delle specie a un dato valore di pH. Questo processo coinvolge il bilancio di massa e il bilancio di carica delle specie presenti. Ad esempio, considerando un acido poliprotico come l'acido carbonico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , che si dissocia in due ioni idrogeno,  $\text{H}^+$ , uno ione idrogeno-carbonato,  $\text{HCO}_3^-$ , e uno ione carbonato,  $\text{CO}_3^{2-}$ , il pH ottimale è determinato tenendo conto delle concentrazioni di tutte le specie coinvolte e garantendo la conservazione della massa e della carica. Moltiplicando la distribuzione frazionata per la concentrazione dell'acido in soluzione, si ottiene la concentrazione di ciascuna specie acida nel sistema, e queste concentrazioni vengono utilizzate per bilanciare la carica. Usando tale metodologia, le basi e gli acidi forti possono essere descritti utilizzando specie inerti e cariche. Una combinazione 1:1 di  $\text{Na}^+$  e  $\text{H}_2\text{CO}_3$  descriverebbe una soluzione di  $\text{NaHCO}_3$ , e così via. Per installare la libreria pHcalc è necessario eseguire in google colab il seguente comando prima di eseguire il codice; una volta installata la libreria non sarà più necessario eseguire di nuovo il comando

```
!pip install pHcalc
```

Per i comandi fare riferimento all guida on line di pHcalc al link: <https://pypi.org/project/pHcalc/>

Oltre al modulo pHcalc è utilizzato il modulo Numpy [21]. Scipy e Numpy sono due librerie molto popolari e potenti in linguaggio di programmazione Python, utilizzate per elaborazioni numeriche, calcoli matematici e scientifici. Numpy offre potenti strutture dati e operazioni vettoriali, mentre Scipy fornisce funzionalità matematiche e scientifiche specializzate costruite sopra Numpy, consentendo agli utenti di Python di eseguire calcoli avanzati e complessi in modo più semplice ed efficiente.

Esempio di utilizzo di pHcalc.

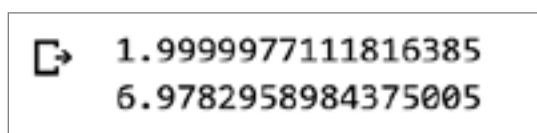
pHcalc definisce tre classi - Acid, Inert e System - che vengono usate per calcolare il pH del sistema.  $H_3O^+$  e  $OH^-$  non vengono definiti esplicitamente. La concentrazione di  $H_3O^+$  viene regolata internamente e  $OH^-$  viene calcolato utilizzando  $K_w$  (Figura 6).

```
from pHcalc import Acid, Inert, System
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# pH di 0.01 M di HCl
cl = Inert(charge=-1, conc=0.01)
system = System(cl)
system.pHsolve()
print(system.pH)

# pH di 1e-8 M di HCl
cl = Inert(charge=-1, conc=1e-8)
system = System(cl)
system.pHsolve()
print(system.pH)
```

\*In appendice il commento al codice



```
↳ 1.9999977111816385
   6.9782958984375005
```

**Figura 6.** Output dell'esempio

Utilizzando un semplice loop, è possibile costruire anche curve di titolazione arbitrarie (Figura 7). In questo esempio, si titola l' $H_3PO_4$  con NaOH.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from pHcalc import Acid, Inert, System

na_moles = np.linspace(1e-8, 5.e-3, 500)
sol_volume = 1. # Litri
phos = Acid(pKa=[2.148, 7.198, 12.375], charge=0, conc=1.e-3)
phs = []

for mol in na_moles:
    na = Inert(charge=1, conc=mol/sol_volume)
    system = System(phos, na)
    system.pHsolve(guess_est=True)
    phs.append(system.pH)

plt.plot(na_moles, phs)
plt.show()
```

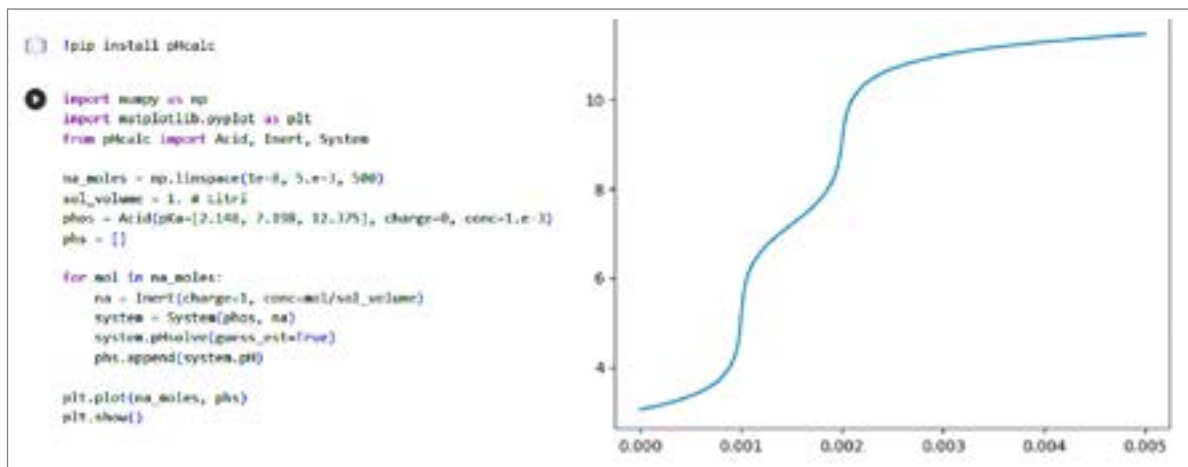


Figura 7. Esempio di costruzione di curve di titolazione con pHcalc

### 6.1 Modifica dell'algoritmo

Con l'aiuto di pHcalc e l'assistenza dell'IA di Chat GPT [22], siamo giunti a un punto in cui è diventato facile aggiungere funzionalità al nostro codice per tracciare curve di titolazione di diversi acidi. Come abbiamo visto precedentemente, pHcalc è una libreria Python che calcola il pH di un sistema complesso di acidi e basi, forti e deboli, utilizzando un metodo di soluzione degli equilibri sistematico. Grazie alla sua semplicità d'uso e alle sue potenti funzionalità, siamo stati in grado di estendere il codice per tracciare le curve di titolazione di acidi come l'acido fosforico, l'acido carbonico e molti altri. L'aggiunta delle curve di titolazione è stata possibile anche grazie all'interazione con l'IA di Chat GPT,



che ha fornito informazioni e spiegazioni sulle diverse classi e metodi di pHcalc. Inoltre, l'IA di Chat GPT ha facilitato la traduzione e la sintesi delle istruzioni di utilizzo e degli esempi di codice forniti nella documentazione di pHcalc.

Ora, con questa combinazione di strumenti, abbiamo la capacità di esplorare e visualizzare graficamente le curve di titolazione di diversi acidi, consentendoci di approfondire la comprensione dei processi chimici e delle relazioni tra concentrazioni e pH (Figura 8).

```
from pHcalc import Acid, Inert, System
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def plot_titration_curve(acid, na_moles, sol_volume):
    phs = []
    for mol in na_moles:
        na = Inert(charge=1, conc=mol/sol_volume)
        system = System(acid, na)
        system.pHsolve(guess_est=True)
        phs.append(system.pH)
    plt.plot(na_moles, phs)

print("Disegna curva di titolazione dell'acido selezionato")
# Parametri comuni
na_moles = np.linspace(1e-8, 5.e-1, 500)
sol_volume = 1. # Liter

# Lista degli acidi
acids = [
    Acid(pKa=[2.148, 7.198, 12.375], charge=0, conc=1.e-1), # Acido fosforico
    Acid(pKa=[1.21, 4,21], charge=0, conc=1.e-1), # Acido ossalico
    Acid(pKa=[1.91, 6.07], charge=0, conc=1.e-1), # Acido maleico
    Acid(pKa=[9.24, 12.4, 13.3], charge=0, conc=1.e-1), # Acido borico
    Acid(pKa=[-3, 1.99], charge=0, conc=1.e-1), # Acido solforico
    Acid(pKa=[4.76], charge=0, conc=1.e-1), # Acido acetico
    Acid(pKa=[4.19], charge=0, conc=1.e-1), # Acido benzoico
    Acid(pKa=[1.89,7.25], charge=0, conc=1.e-1), # Acido solforoso
    Acid(pKa=[6.34,10.36], charge=0, conc=1.e-1), # Acido carbonico
]

# Imposta i nomi degli acidi
acids[0].name = "Acido fosforico"
acids[1].name = "Acido ossalico"
acids[2].name = "Acido maleico"
acids[3].name = "Acido borico"
acids[4].name = "Acido solforico"
acids[5].name = "Acido acetico"
```

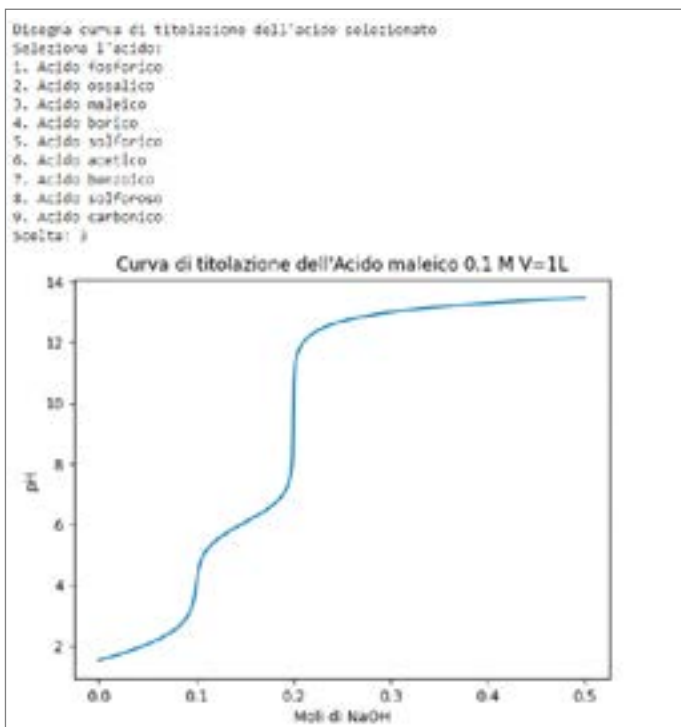
```
acids[6].name = "Acido benzoico"
acids[7].name = "Acido solforoso"
acids[8].name = "Acido carbonico"

# Scelta dell'acido
print("Seleziona l'acido:")
for i, acid in enumerate(acids):
    print(f"{i+1}. {acid.name}")
choice = int(input("Scelta: "))

if 1 <= choice <= len(acids):
    selected_acid = acids[choice - 1]
    plot_titration_curve(selected_acid, na_moles, sol_volume)
    plt.title(f"Curva di titolazione dell'{selected_acid.name} 0.1 M V=1L")
    plt.xlabel("Moli di NaOH")
    plt.ylabel("pH")
    plt.show()
else:
    print("Scelta non valida.")
```

\*In appendice il commento al codice

Il grafico della curva di titolazione verrà quindi visualizzato come di seguito riportato.



**Figura 8.** Curva titolazione dell'acido maleico

## **6.2 Sviluppi ulteriori**

Un ulteriore sviluppo potenziale per il calcolo del pH di un acido monoprotico potrebbe essere l'utilizzo delle API di servizi esterni come Wikipedia [20] e PubChemPy [23] per ottenere informazioni aggiuntive sull'acido selezionato.

Le API (Application Programming Interface) sono un insieme di regole e protocolli che consentono a due software di comunicare tra loro. Le API possono essere usate per ottenere informazioni aggiuntive da servizi esterni come Wikipedia, Google. L'utilizzo delle API di Wikipedia permette di recuperare descrizioni e informazioni chimiche sull'acido selezionato consentendo di arricchire l'applicazione con informazioni aggiuntive sull'acido e integrare dati provenienti da diverse fonti. PubChemPy è un servizio che fornisce informazioni sulla chimica, inclusi dati sulle proprietà delle sostanze chimiche. Potrebbe essere implementata una funzione che, utilizzando l'API di PubChemPy, cerca il composto chimico corrispondente all'acido selezionato e recupera informazioni come la sua struttura molecolare, peso molecolare, numero CAS e altre proprietà chimiche rilevanti. Oltre a Wikipedia e PubChemPy, potrebbero essere utilizzate altre API chimiche o scientifiche per ottenere ulteriori informazioni sull'acido, ad esempio API che forniscono dati sulla tossicità, reattività o effetti ambientali. Questi sviluppi possono essere implementati tramite richieste HTTP alle API pertinenti e l'elaborazione dei dati restituiti all'interno dell'applicazione.

Sviluppi futuri per le app basate sugli script di calcolo del pH potrebbero includere un'interfaccia utente intuitiva, un database di acidi completo, l'aggiunta di equilibri chimici più complessi, l'integrazione con servizi esterni per informazioni aggiuntive, personalizzazione delle unità di misura, salvataggio e condivisione dei risultati e il supporto per multiple soluzioni.

## **7. Conclusioni**

In conclusione, il percorso che abbiamo seguito, partendo dal convertitore di unità di misura fino agli script per il calcolo del pH degli acidi monoprotici, ha offerto una panoramica completa delle potenzialità delle librerie chimiche e dei vantaggi di utilizzare un codice per semplificare e automatizzare i calcoli chimici. Questo tipo di approccio presenta numerosi risvolti didattici, consentendo agli studenti di chimica di sperimentare in prima persona come le nozioni teoriche possono essere applicate nella pratica. Attraverso l'utilizzo di librerie come ChemPy si è evidenziata l'importanza di un approccio modulare e basato sulle librerie per risolvere complessi problemi chimici. Questo approccio consente agli studenti di concentrarsi sulla comprensione dei concetti chimici fondamentali, mentre l'implementazione pratica viene semplificata grazie alle funzionalità offerte dalle librerie. Inoltre, l'integrazione di API esterne come Wikipedia e PubChem può aprire ulteriori opportunità per l'apprendimento. Gli studenti possono accedere a informazioni chimiche aggiun-

tive, esplorare proprietà molecolari, studiare reazioni chimiche e ampliare la loro comprensione del mondo chimico in generale. Il feedback riscontrato dal docente in aula dagli studenti è risultato inizialmente diffidente verso la nuova materia (coding e informatica), che non faceva parte del loro corso di studi in chimica e materiali, ed è stata percepita come un elemento estraneo. Tuttavia, con il passare del tempo, la programmazione è diventata sempre più interessante per loro, suscitando crescente curiosità e coinvolgimento. Verso la fine del modulo, gli studenti hanno cambiato la percezione del coding, non considerandolo più un elemento estraneo, ma comprendendone le potenzialità. Come previsto dalla piattaforma PON INdire, sono stati redatti dai tutor dei questionari iniziali e finali per rilevare l'atteggiamento dei partecipanti nei confronti del percorso di studi, nonché un questionario di gradimento specifico per il modulo seguito "Mettiamoci le mani". Dall'analisi dei dati emerge chiaramente un miglioramento dell'atteggiamento nei confronti dello studio e un discreto gradimento da parte dei partecipanti riguardo alla loro partecipazione al modulo. Questo tipo di approccio favorisce l'apprendimento attivo in cui gli studenti possono esplorare, scoprire e approfondire le proprie conoscenze. Infine, il potenziale sviluppo di app basate su questi script offre un'opportunità per creare strumenti interattivi che rendono l'apprendimento chimico ancora più coinvolgente e accessibile: gli studenti possono interagire direttamente con gli script, personalizzare i parametri, visualizzare grafici e risultati in modo intuitivo e sperimentare con diverse configurazioni chimiche. Quindi, tale approccio favorisce l'autonomia, la creatività e la comprensione profonda dei concetti chimici. In definitiva, l'utilizzo di script per il calcolo del pH e l'integrazione di librerie chimiche e API esterne offrono un'opportunità unica per rendere l'apprendimento della chimica più stimolante, pratico e coinvolgente.

## Riferimenti

- [1] Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD); available at: [https://www.istruzione.it/scuola\\_digitale/index.shtml](https://www.istruzione.it/scuola_digitale/index.shtml).
- [2] G. Van Rossum, *Python library reference*, CWI report, 1995, <https://ir.cwi.nl/pub/5009/05009D.pdf>.
- [3] G. Van Rossum, Python Programming language, in *USENIX annual technical conference*, 2007.
- [4] B. Dahlgren, ChemPy: A package useful for chemistry written in Python, *Journal of Open Source Software*, 2018, 3(24), 565.
- [5] F. Nati, Python ed il suo utilizzo nella ricerca scientifica, in *Linux Day*, Roma, 2002.
- [6] P. Barabotti, L. Marcolini, Il computer.....bilancia le equazioni chimiche!, *CnS, La Chimica nella scuola*, 2002, 3, 88-90.

- [7] E. J. Menke, Series of Jupyter Notebooks Using Python for an Analytical Chemistry Course, *Journal of Chemical Education*, 2007, 97(10), 3899-3903.
- [8] L. Lana, V. Mazzoli, Il coding e le sue potenzialità didattiche, *Educare.it*, 2021, 21(9), 98-105.
- [9] B. P. Woolf, *Building intelligent interactive tutors: student-centered strategies for revolutionizing e-learning*, Morgan Kaufmann-Elsevier, 2008.
- [10] A. Mitrovic, A. Weerasinghe, Towards Individualized Dialogue Support for Ill-Defined Domains, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2009, 19, 357-359.
- [11] P. Slovak, G. Fitzpatrick, Teaching and developing social and emotional skills with technology, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 2015, 22(4), 1-34.
- [12] M. Fahimirad, S. S. Kotamjani, A review on application of artificial intelligence in teaching and learning in educational contexts, *International Journal of Learning and Development*, 2018, 8(4), 106-118.
- [13] P. Rospigliosi, Artificial intelligence in teaching and learning: what questions should we ask of ChatGPT?, *Interactive Learning Environments*, 2023, 31(1), 1-3.
- [14] The Cisco Networking Academy platform, *Python essentials 1*; available at: <https://skillsforall.com/course/python-essentials-1?courseLang=en-US>
- [15] *Flowgorithm*; available at: <http://www.flowgorithm.org/>
- [16] L. F. Adelaide Crea, *Chimica Analitica-Analisi Qualitativa e quantitativa*, Zanichelli, 1999.
- [17] *Chempy*; available at: <https://pythonhosted.org/chempy/>
- [18] *pHcalc*; available at: <https://pypi.org/project/pHcalc/>
- [19] J. J. Baeza-Baeza, M. C. García-Álvarez-Coque, Systematic Approach to Calculate the Concentration of Chemical Species in Multi-Equilibrium Problems, *Journal of Chemical Education*, 2011, 88(2), 169-173.
- [20] *ChemWiki*; available at: [http://chemwiki.ucdavis.edu/Core/Analytical\\_Chemistry/Analytical\\_Chemistry\\_2.0/06\\_Equilibrium\\_Chemistry/6G%3A\\_Solving\\_Equilibrium\\_Problems#6G.3\\_A\\_Systematic\\_Approach\\_to\\_Solving\\_Equilibrium\\_Problems](http://chemwiki.ucdavis.edu/Core/Analytical_Chemistry/Analytical_Chemistry_2.0/06_Equilibrium_Chemistry/6G%3A_Solving_Equilibrium_Problems#6G.3_A_Systematic_Approach_to_Solving_Equilibrium_Problems)
- [21] E. Bressert, SciPy and NumPy: an overview for developers; available at: [http://geofaculty.uwyo.edu/neil/teaching/Numerical\\_web/SciPy-NumPy.pdf](http://geofaculty.uwyo.edu/neil/teaching/Numerical_web/SciPy-NumPy.pdf)
- [22] OpenAI, CHATGPT; available at: <https://chat.openai.com/>
- [23] Pubchem; available at: <https://pubchempy.readthedocs.io/en/latest/>

## APPENDICE

In questa appendice sono raccolte le informazioni aggiuntive sui codici utilizzati.

### Convertitore

Il codice inizia con l'istruzione `print('convertitore metri cubi a litri')` che stampa a video un messaggio per informare l'utente sulla funzione del convertitore.

Successivamente, viene utilizzata l'istruzione `M_3 = float(input('inserisci il valore in metri cubi :'))` per richiedere all'utente di inserire il valore in metri cubi da convertire. L'input viene letto come una stringa e viene convertito in un numero in virgola mobile utilizzando la funzione `float()`.

A seguire, l'istruzione `L = M_3 * 1000` esegue la conversione del valore in metri cubi in litri moltiplicando il valore per 1000, poiché ci sono 1000 litri in un metro cubo.

Infine, l'istruzione `print('il risultato è:', L, 'Litri')` stampa a video il risultato della conversione, concatenando il valore di `L` con del testo descrittivo.

In breve, il codice richiede all'utente di inserire un valore in metri cubi, lo converte in litri moltiplicando per 1000 e restituisce il risultato stampato a video.

### Calcolo pH di un acido forte

Ecco una spiegazione linea per linea del codice

`import math`: questa linea importa il modulo `math`, che fornisce funzioni matematiche avanzate, come il logaritmo.

`print('calcolo pH di un acido Forte --- inserisci 0 per uscire')`: stampa un messaggio di testo che informa l'utente sull'obiettivo del programma e fornisce istruzioni su come uscire.

`pH = float(0)`: inizializza la variabile `pH` con il valore 0.0. Sarà utilizzata per memorizzare il pH calcolato.

`Ca = 0.1`: inizializza la variabile `Ca` con il valore 0.1. Sarà utilizzata per memorizzare la molarità dell'acido inserita dall'utente.

`while Ca > 0`: inizia un ciclo `while` che si ripeterà finché il valore di `Ca` è maggiore di zero. Questo permette all'utente di inserire più valori di molarità.

`Ca = float(input('inserisci la Molarità dell acido: '))`: richiede all'utente di inserire la molarità dell'acido e la converte in un numero in virgola mobile utilizzando la funzione `float()`. Il valore inserito viene assegnato alla variabile `Ca`.

`if Ca < 1e-6 and Ca > 0`: verifica se la molarità `Ca` è inferiore a  $1e-6$  (0.000001) e maggiore di zero. Questa condizione controlla se l'acido è molto diluito e richiede la risoluzione di un'equazione di secondo grado.

`print('Molto diluita!! risolvo l'equazione di secondo grado')`: stampa un messaggio che indica che l'acido è molto diluito e che sarà risolta un'equazione di secondo grado per calcolare il pH corretto.

`x = (-Ca + ((Ca**2) + 4e-14)**0.5) / 2`: calcola il valore di `x` utilizzando l'equazione di secondo grado. Questa formula è una soluzione approssimata dell'equazione e permette di calcolare il pH corretto per acidi molto diluiti.

`x += Ca`: aggiunge il valore di `Ca` a `x` per ottenere il pH corretto.

`x = -math.log(x, 10)`: calcola il logaritmo in base 10 di `x` utilizzando la funzione `math.log()` e lo assegna di nuovo a `x`. Questo calcola il pH effettivo.

`print('il pH è:', x)`: stampa il valore del pH calcolato.

`elif Ca >= 1e-6`: se la molarità `Ca` è maggiore o uguale a  $1e-6$ , esegue questo blocco di codice.

`pH = -math.log(Ca, 10)`: calcola direttamente il pH utilizzando il logaritmo in base 10 della molarità `Ca` e lo assegna alla variabile `pH`.

`pH = round(pH, 2)`: arrotonda il valore del pH a due cifre decimali utilizzando la funzione `round()` e lo assegna di nuovo a `pH`.

`print('il pH è:', pH)`: stampa il valore del pH calcolato.

`else`: se la condizione del ciclo `while` (`Ca > 0`) non è soddisfatta, esegue questo blocco di codice.

`print('Fine')`: stampa un messaggio per indicare che il programma è terminato.

## Calcolo pH ammoniacale

Ecco il commento linea per linea del codice

```
from collections import defaultdict
from chempy import Equilibrium
from chempy.equilibria import EqSystem
from chempy.chemistry import Species
```

Queste istruzioni importano le librerie necessarie per il codice. `defaultdict` viene utilizzato per creare un dizionario con valori predefiniti. `Equilibrium` è una classe per rappresentare un equilibrio chimico. `EqSystem` è una classe che rappresenta un sistema di equilibri. `Species` rappresenta una specie chimica.

```
water_autop = Equilibrium({'H2O'}, {'H+', 'OH-'}, 10**-14)
ammonia_prot = Equilibrium({'NH4+'}, {'NH3', 'H+'}, 10**-9.24)
```

Qui vengono definiti due equilibri chimici: uno tra acqua, ioni  $H^+$  e ioni  $OH^-$  e l'altro tra ammonio ( $NH_4^+$ ), ammoniacale ( $NH_3$ ) e ioni  $H^+$ . I valori di  $10^{-14}$  e  $10^{-9.24}$  rappresentano le costanti di equilibrio riferite alla dissociazione dell'acqua e all'idrolisi dell'ione ammonio. Entrambi i comandi seguono una struttura simile: si specificano le specie chimiche coinvolte nell'equilibrio come insiemi di stringhe, utilizzando le formule chimiche corrispondenti. Successivamente, si specificano i prodotti dell'equilibrio come un secondo insieme di stringhe. Infine, si specifica la costante di equilibrio, che rappresenta il rapporto tra le concentrazioni dei prodotti e dei reagenti all'equilibrio. Questi comandi sono utili per creare oggetti di equilibrio chimico che possono essere utilizzati per calcolare le concentrazioni finali delle specie chimiche coinvolte in un sistema di equilibrio.

```
substances = [Species.from_formula(f) for f in 'H2O OH- H+ NH3 NH4+'.split()]
```

Viene creato un elenco di oggetti **Species** corrispondenti alle specie chimiche coinvolte negli equilibri. Viene utilizzata la funzione `from_formula` per creare gli oggetti **Species** a partire dalle formule chimiche delle specie coinvolte.

A questo punto, definite le costanti di dissociazione e le variabili coinvolte, deve essere definito il sistema di equazioni

```
eqsys = EqSystem([water_autop, ammonia_prot], substances)
```

Qui viene creato un oggetto **EqSystem** che rappresenta il sistema di equilibri. Vengono passati gli equilibri chimici e le specie chimiche coinvolte.

```
print('\n'.join(map(str, eqsys.rxns)))
```

Questa istruzione stampa a video le reazioni chimiche presenti nel sistema di equilibri.

```
init_conc = defaultdict(float, {'H2O': 1, 'NH3': 0.1})
```

Viene creato un dizionario `init_conc` con le concentrazioni iniziali delle specie chimiche. La funzione `defaultdict` viene utilizzata per impostare il valore predefinito a zero.

```
x, sol, sane = eqsys.root(init_conc) assert sol['success'] and sane
```

Qui viene chiamato il metodo `root` dell'oggetto **EqSystem** per calcolare il punto di equilibrio che rappresenta un metodo computazionale implementato in **Chempy** per trovare le radici del sistema. Il risultato viene assegnato alle variabili `x`, `sol` e `sane`. Viene utilizzata un'asserzione per verificare che il calcolo abbia avuto successo e che il risultato sia valido.

```
print(' M, '.join('%2g' % v for v in x))
```

```
print("pH: %2f" % -log10(x[2]))
```

Infine, vengono stampati a video il risultato del calcolo delle concentrazioni al punto di equilibrio e il pH con i valori approssimati a due cifre significative.

## Calcolo pH acido monoprotico debole

Nel codice per il calcolo del pH di un acido monoprotico debole, rispetto a `ammonia.py`, sono utilizzati i seguenti comandi aggiuntivi o modificati.

Utilizzo del modulo `chempy.equilibria` per gestire gli equilibri chimici tra le specie chimiche coinvolte nell'acido monoprotico.

Creazione di un dizionario chiamato `acidi_monoprotici` per memorizzare le informazioni sugli acidi monoprotici disponibili, come i loro nomi, formule e valori di  $K_a$ .

Presentazione all'utente di un elenco di acidi monoprotici disponibili e richiesta di selezionarne uno mediante l'inserimento del numero corrispondente.

Utilizzo del modulo `defaultdict` dalla libreria `collections` per gestire le concentrazioni iniziali delle specie chimiche coinvolte nell'equilibrio chimico.

Creazione dell'equilibrio chimico dell'acido monoprotico selezionato utilizzando la formula dell'acido e la sua forma ionica negativa (ottenuta rimuovendo l'atomo di idrogeno).



Gestione dell'eccezione **ValueError** nel caso in cui il calcolo del pH non sia possibile a causa di un acido non valido o di problemi durante il calcolo dell'equilibrio chimico.

Questi comandi aggiuntivi o modificati consentono di gestire in modo dinamico diversi acidi monoprotici e di calcolarne il pH in base alla selezione dell'utente.

## **pHcalc e curve di titolazione**

Per i comandi fare riferimento alla guida on line di pHcalc al link: <https://pypi.org/project/pHcalc/>

Codice di esempio

Il codice fornito utilizza la libreria pHcalc per calcolare il pH di due diverse soluzioni di acido cloridrico (HCl) a diverse concentrazioni. Di seguito, viene fornito un commento linea per linea per spiegare il funzionamento del codice.

```
# Import delle librerie necessarie
from pHcalc import Acid, Inert, System
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
# Definizione di una soluzione di HCl con una concentrazione di 0.01 M
# In questo caso, HCl si dissocia completamente in acqua producendo quantità uguali
di H3O+ e Cl-.
# Poiché H3O+ viene regolato internamente, è sufficiente definire solo Cl-.
# Ciò implica un equivalente di H3O+ per bilanciare la carica del sistema.
cl = Inert(charge=-1, conc=0.01)
system = System(cl)
# Risoluzione del sistema per determinare il pH
system.pHsolve()
# Stampa del valore del pH calcolato
print(system.pH) # Dovrebbe stampare 1.9999
# Definizione di una soluzione di HCl con una concentrazione di 1e-8 M
# Questo è un esempio notoriamente complicato per gli studenti di chimica introduttiva,
ma pHcalc lo gestisce in modo eccellente.
cl = Inert(charge=-1, conc=1e-8)
system = System(cl)
# Risoluzione del sistema per determinare il pH
system.pHsolve()
# Stampa del valore del pH calcolato
print(system.pH) # il pH calcolato è 6.978295898 e (NON 8!)
```

Nell'esempio di utilizzo vengono creati oggetti delle classi **Acid**, **Inert** e **System**. La concentrazione dell'acido cloridrico (HCl) viene fornita come input per il

calcolo del pH. L'oggetto **Inert** rappresenta lo ione cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) nel sistema, mentre l'oggetto **System** viene istanziato con l'oggetto **Inert**.

Successivamente, utilizza il metodo **pHsolve()** per calcolare il pH del sistema, che tiene conto delle reazioni di dissociazione dell'acido cloridrico e del bilancio di carica. Il risultato del pH calcolato viene quindi stampato a schermo.

L'esempio dimostra come **pHcalc** semplifichi notevolmente il calcolo del pH, anche in situazioni complesse come la concentrazione molto bassa di HCl. Questo strumento può essere prezioso per gli studenti di chimica introduttiva che vogliono affrontare problemi complessi in modo più efficiente ed efficace.

Diversi codici di esempio sono reperibili alla pagina <https://pypi.org/project/pHcalc/>

### pH di acidi poliprotici

Questo codice utilizza la libreria pHcalc per calcolare il pH di una soluzione contenente un acido poliprotico (con tre pKa) e un catione sodio ( $\text{Na}^+$ ) a diverse concentrazioni. Di seguito, viene fornito un commento linea per linea per spiegare il funzionamento del codice.

```
# Import delle librerie necessarie
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from pHcalc import Acid, Inert, System

# Creazione di un array di 500 valori equidistanti nell'intervallo da 1e-8 a 5e-3 moles di Na+
na_moles = np.linspace(1e-8, 5.e-3, 500)

# Volume della soluzione in litri (1 litro)
sol_volume = 1.

# Definizione dell'acido poliprotico con i pKa specificati e la concentrazione di 1e-3 M
phos = Acid(pKa=[2.148, 7.198, 12.375], charge=0, conc=1.e-3)

# Creazione di una lista vuota per memorizzare i valori del pH calcolati
phs = []

# Ciclo for per iterare attraverso le diverse concentrazioni di Na+
for mol in na_moles:
    # Creazione di un oggetto Inert per il catione sodio Na+
    # La concentrazione viene calcolata dividendo il numero di moli (mol) per il volume
    # della soluzione
    na = Inert(charge=1, conc=mol/sol_volume)
```

```
# Creazione di un sistema contenente l'acido poliprotico (phos) e il catione sodio (na)
system = System(phos, na)

# Risoluzione del sistema per determinare il pH, utilizzando l'opzione 'guess_est' per
stimare il pH iniziale
system.pHsolve(guess_est=True)

# Aggiunta del valore del pH calcolato alla lista 'phs'
phs.append(system.pH)

# Creazione di un grafico che mostra come il pH varia al variare della concentrazione di Na+
plt.plot(na_moles, phs) # Vettori dei dati del grafico
plt.xlabel('Concentrazione Na+ (mol/L)') #etichetta asse X
plt.ylabel('pH') #etichetta asse Y
plt.title('Variazione del pH con la concentrazione di Na+')#titolo del grafico
plt.show() # comando che visualizza il grafico
```

Nell'esempio sopra, viene costruita una curva di titolazione dell' $\text{H}_3\text{PO}_4$  con NaOH. Viene utilizzato un loop per variare la concentrazione del NaOH (rappresentato dall'oggetto **Inert**) Per ogni valore di concentrazione di Na<sup>+</sup>, viene creato un sistema chimico con l'acido poliprotico e il catione sodio, quindi viene risolto il sistema per calcolare il pH utilizzando l'opzione 'guess\_est' con la funzione **pHsolve()**. I valori del pH vengono salvati nella lista "phs". Infine, i valori del NaOH e del pH vengono tracciati utilizzando la funzione **plt.plot()** di matplotlib. La curva di titolazione viene visualizzata utilizzando **plt.show()**.

## Curva titolazione acido

```
from pHcalc import Acid, Inert, System
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def plot_titration_curve(acid, na_moles, sol_volume):
    phs = []
    for mol in na_moles:
        na = Inert(charge=1, conc=mol/sol_volume)
        system = System(acid, na)
        system.pHsolve(guess_est=True)
        phs.append(system.pH)
    plt.plot(na_moles, phs)
print("Disegna curva di titolazione dell'acido selezionato")
# Parametri comuni
na_moles = np.linspace(1e-8, 5.e-1, 500)
sol_volume = 1. # Liter
```

### # Lista degli acidi

```
acids = [  
    Acid(pKa=[2.148, 7.198, 12.375], charge=0, conc=1.e-1), # Acido fosforico  
    Acid(pKa=[1.21, 4.21], charge=0, conc=1.e-1), # Acido ossalico  
    Acid(pKa=[1.91, 6.07], charge=0, conc=1.e-1), # Acido maleico  
    Acid(pKa=[9.24, 12.4, 13.3], charge=0, conc=1.e-1), # Acido borico  
    Acid(pKa=[-3, 1.99], charge=0, conc=1.e-1), # Acido solforico  
    Acid(pKa=[4.76], charge=0, conc=1.e-1), # Acido acetico  
    Acid(pKa=[4.19], charge=0, conc=1.e-1), # Acido benzoico  
    Acid(pKa=[1.89,7.25], charge=0, conc=1.e-1), # Acido solforoso  
    Acid(pKa=[6.34,10.36], charge=0, conc=1.e-1), # Acido carbonico  
]
```

### # Imposta i nomi degli acidi

```
acids[0].name = "Acido fosforico"  
acids[1].name = "Acido ossalico"  
acids[2].name = "Acido maleico"  
acids[3].name = "Acido borico"  
acids[4].name = "Acido solforico"  
acids[5].name = "Acido acetico"  
acids[6].name = "Acido benzoico"  
acids[7].name = "Acido solforoso"  
acids[8].name = "Acido carbonico"
```

### # Scelta dell'acido

```
print("Seleziona l'acido:")  
for i, acid in enumerate(acids):  
    print(f"{i+1}. {acid.name}")  
choice = int(input("Scelta: "))  
  
if 1 <= choice <= len(acids):  
    selected_acid = acids[choice - 1]  
    plot_titration_curve(selected_acid, na_moles, sol_volume)  
    plt.title(f"Curva di titolazione dell' {selected_acid.name} 0.1 M V=1L")  
    plt.xlabel("Moli di NaOH")  
    plt.ylabel("pH")  
    plt.show()  
else:  
    print("Scelta non valida.")
```

In questo codice:

- viene importato il modulo necessario `pHcalc`, insieme alle librerie `numpy` e `matplotlib` per il calcolo e la visualizzazione dei dati;
- viene definita la funzione "`plot_titration_curve`" che prende come argomenti l'oggetto "acid" (un'istanza della classe `Acid`), "`na_moles`" (una sequenza di valori che rappresentano le moli di NaOH) e "`sol_volume`" (il volume della soluzione);
- all'interno della funzione "`plot_titration_curve`", viene eseguito un ciclo su "`na_moles`" per creare diverse combinazioni di acido e NaOH;
- viene istanziato un oggetto `Inert` per NaOH e un oggetto `System` che contiene l'acido e NaOH;
- viene quindi chiamato il metodo "`pHsolve`" dell'oggetto `System` per calcolare il pH della soluzione;
- infine, il valore del pH viene aggiunto alla lista "`phs`";
- viene definita una lista di acidi utilizzando l'istanza della classe `Acid` per ciascun acido desiderato; ogni acido è configurato con i suoi  $pK_a$ , carica e concentrazione iniziale;
- vengono impostati i nomi degli acidi nella lista "`acids`" utilizzando l'attributo "`name`" dell'oggetto `Acid` corrispondente;
- viene visualizzato un elenco degli acidi disponibili e viene richiesto all'utente di selezionarne uno;
- se la scelta è valida, viene eseguita la funzione "`plot_titration_curve`" passando l'acido selezionato, la sequenza di moli di NaOH e il volume della soluzione;
- viene quindi disegnata la curva di titolazione corrispondente utilizzando il modulo `matplotlib`;
- se la scelta non è valida, viene visualizzato un messaggio di errore.

## Gli atti del Congresso di Karlsruhe del 1860

**Maurizio D'Auria**

Dipartimento di Scienze dell'Università della Basilicata

e-mail: [maurizio.dauria@unibas.it](mailto:maurizio.dauria@unibas.it)

---

**Abstract.** During 1860 in Karlsruhe Kekulé organized an important chemistry congress with the hope to solve some problems related to the nature of atom and molecules. In this congress Stanislao Cannizzaro presented his results collected in the *Sunto di un Corso di Filosofia Chimica* published on *Nuovo Cimento*. Here we publish the act of this congress, collected by Anschütz and translated by Michele Giua; the Italian version was published on an almost unobtainable journal. In this act the role of Cannizzaro appears to be relevant and decisive for the results of the congress.

**Keywords:** Congresso dei chimici di Karlsruhe; Kekulé; Wurtz; Cannizzaro; Atti; Giua

---

### 1. Premessa e introduzione

Qualche tempo fa ho potuto acquistare in rete un vecchio libro. Il titolo mi intrigava, l'autore rappresentava una sicurezza. Il libro era *Storia della Chimica* di Michele Giua, edito da Chiantore nel 1946. Si trattava di un libro mai più edito dopo questa prima edizione. A pag. 149 del testo, parlando del Congresso di Karlsruhe, si fa riferimento agli atti di questo convegno, pubblicati nel 1929 da Anschütz nell'ambito di un testo dedicato a Kekulé. Il documento era stato tradotto da M. Giua e pubblicato in italiano sulla *Rivista di Chimica Scientifica ed Industriale* nel 1930 [1]. Rivestendo quel documento un certo interesse, non solo



da un punto di vista storico, ma anche quale possibile strumento didattico, ho cercato di recuperare l'articolo e poi ho chiesto a CnS se volesse pubblicarlo. Quello che segue è la riproduzione degli atti tradotti da Giua.

Dopo aver letto il documento sono costretto a fare alcune riflessioni sul modo in cui abbiamo descritto quello che era successo in questo congresso. Una certa vulgata ci racconta che Cannizzaro in questa sede portò il suo articolo (*Sunto di un Corso di Filosofia Chimica*) pubblicato sul *Nuovo Cimento*, ma che le sue osservazioni furono accolte con una certa freddezza, tanto che occorre del tempo per permettere alle sue vedute di prevalere nell'ambito della disciplina. Questo quadro è avvalorato anche dal fatto che nel 1871 Cannizzaro stesso ritenne opportuno ritornare sul problema al fine di correggere interpretazioni sbagliate [2].

Vediamo come abbiamo rappresentato il convegno di Karlsruhe e i suoi esiti nei testi di storia che ho a disposizione nella mia libreria (questi possono rappresentare il grado di conoscenza storica di un chimico medio). Prima di tutto: questo resoconto è stato utilizzato come fonte? Il saggio di Cerruti che accompagna l'edizione palermitana del *Sunto* ricostruisce le vicende del congresso di Karlsruhe utilizzando con molta efficacia il verbale che qui viene riprodotto, probabilmente ripreso dall'originale [3]. Si tratta di una descrizione estremamente dettagliata e puntuale degli avvenimenti connessi al convegno. Personalmente penso che debba essere il punto di partenza per ogni riflessione in merito. Anche Di Meo riporta fedelmente l'intervento di Cannizzaro al convegno di Karlsruhe, preso da un lavoro di Nasini, ma in questa forma appare sganciato dal contesto in cui quell'intervento era stato fatto [4].

Per quanto attiene alla valutazione degli esiti del convegno, nella *Storia della Chimica* di Gaudiano si legge: "*La proposta di C. non fu generalmente apprezzata, e forse neanche ben capita*" [5]. Una posizione simile viene presa da Torracca che scrive: "*Gli interventi di Cannizzaro in favore del sistema unitario furono tra i più convincenti e apprezzati della conferenza, ma non avrebbero forse avuto altro seguito se alla fine dei lavori l'altro italiano presente a Karlsruhe [...] non avesse distribuito gli estratti di un lavoro dell'amico apparso due anni prima [...]*" [6]. Questo tipo di interpretazione la si ritrova sia su Wikipedia ("*Il Congresso di Karlsruhe si concluse senza un accordo definitivo sul problema dei pesi atomici e molecolari. Tuttavia, l'ultimo giorno del congresso vennero distribuite le ristampe di una pubblicazione del 1858 di Stanislao Cannizzaro sui pesi atomici, in cui lo scienziato utilizzò il lavoro precedente di Amedeo Avogadro. Gli sforzi di Cannizzaro esercitarono una forte e, in alcuni casi, alquanto immediata influenza sui delegati*" [7]), che nell'interpretazione data da A. M. Maggio e R. Zingales, che scrivono: "*L'intervento di Cannizzaro non convinse tutti i congressisti, ma quelli che lessero il Sunto ne rimasero profondamente colpiti. [...] Cannizzaro diede un contributo sostanziale, fornendo*

*un metodo per la determinazione dei pesi atomici e mettendo a disposizione dei chimici i dati indispensabili per formulare la teoria della valenza e individuare la periodicità delle proprietà degli elementi*" [8]. Anche Cerruti fa notare come Cesare Pavese avesse già prima del Congresso di Karlsruhe data ampia diffusione del testo del *Sunto* di Cannizzaro e che, quindi, fosse ben noto sia a Kekulé che a Wurtz [9].

Solov'ev, invece, dà un'interpretazione entusiasta circa l'esito del convegno: *"Particolare successo ebbe al Congresso la relazione di Cannizzaro, intervenuto calorosamente in difesa del principio di Avogadro, esponendo in modo estremamente chiaro e convincente il giusto sistema di determinazione dei pesi molecolari e atomici basato sulla misura della densità di vapore e sulla determinazione della composizione ponderale dei composti di un o altro elemento"* [10]. Che l'effetto sui presenti al Congresso degli interventi di Cannizzaro fossero rilevanti è bene espresso da Ciardi che riporta con attenzione le note positive che l'intervento di Cannizzaro ebbe sugli scienziati presenti [11].

Il quadro che esce dalla lettura degli atti mostra in tutta la sua importanza il ruolo decisivo svolto da Cannizzaro nel determinarne gli esiti. Gli atti riportano in relativo dettaglio gli interventi di Kekulé, che era stato l'ispiratore del congresso, ma soprattutto viene riportato in dettaglio un intervento di Cannizzaro, dimostrando come da subito l'interesse del convegno si sia concentrato su quello che il nostro rappresentante ebbe a dichiarare. Il ruolo di Cannizzaro appare determinante al fine di comprendere gli esiti del congresso stesso. Forse questa impressione deriva dal fatto che Cannizzaro fu l'unico a inviare il riassunto esteso del suo intervento. È vero che la deliberazione contro cui Cannizzaro si scaglia non verrà votata, ma verrà votata una mozione "tecnica", relativa ai pesi atomici di alcuni metalli, che di fatto era prodromica all'accettazione dell'impostazione al problema data da Cannizzaro stesso.

La lettura di questo testo può essere utile per far comprendere a uno studente lo stato di confusione in cui versava la Chimica intorno al 1860. Permette, inoltre, di comprendere i meccanismi non solo scientifici, ma anche umani che portano gli scienziati a preferire un'interpretazione dei dati scientifici, permette di comprendere la difficoltà che una persona può incontrare a modificare le proprie vedute, permette infine di comprendere come, in ambito scientifico, una dottrina può lentamente prevalere.

Concludendo questa mia breve introduzione, un'altra osservazione che mi sento di fare è relativa a chi ha tradotto questo testo. Su Michele Giua sono stati scritti alcuni articoli importanti sia su *La Chimica e l'Industria* [12] che su *CnS* [13], per cui non mi dilungherò. Vale però la pena di notare che questo chimico, uno dei pochissimi che non giurò fedeltà al fascismo (cosa che gli costò il posto di professore all'Università di Torino), che visse successivamente



facendo il libero professionista, incarcerato dal Tribunale Speciale dal 1935 al 1943, in clandestinità fino alla fine della guerra, nel 1945 pubblica le memorie della sua prigionia, ma anche una *Storia della Scienza ed Epistemologia* e nel 1946 una *Storia della Chimica*, estremamente chiara e documentata. Questo dimostra che Giua (che sarà poi membro della Costituente e senatore) durante la sua prigionia aveva continuato ad occuparsi attivamente dei problemi connessi all'attività scientifica e che, forse, proprio il mantenimento di questa attività intellettuale gli aveva permesso di sopravvivere a otto anni di una detenzione ingiusta.

## 2. Rendiconto delle sedute del Congresso Internazionale dei Chimici tenuto a Karlsruhe il 3, 4 e 5 settembre 1860

L'idea di proporre la convocazione di una riunione internazionale di chimici è stata di Kekulé. Durante l'autunno del 1859 egli ebbe occasione di conferire in proposito dapprima con Weltzien e poi con Wurtz.



Questi tre scienziati, riunitisi a Parigi verso la fine del marzo del 1860, si accordarono sui preliminari per effettuare il progetto in questione e, allo scopo di raccogliere le adesioni dei chimici più rappresentativi, redassero una prima circolare (in francese, tedesco ed inglese), nella quale, in linea generale, si mettevano in evidenza le divergenze esistenti nelle vedute teoriche dei chimici, e la necessità di prendere degli accordi. Poiché questo primo appello fu accolto con favore, si stabilì l'epoca e il luogo della riunione, inviando la seguente circolare.

Parigi, 15 giugno 1860

*Egregio collega,*

Il grande sviluppo fatto dalla chimica in questi ultimi anni e le divergenze che si sono manifestate nelle opinioni teoriche, rendono opportuno ed utile un Congresso che abbia per iscopo la discussione di alcune questioni importanti dal punto di vista dei progressi futuri della scienza.

I sottoscritti convocano a questa riunione tutti i chimici che per i loro lavori o la loro posizione possono prendere deliberazioni obbligatorie per tutti; ma con una discussione libera e approfondita può togliere alcuni malintesi e render facile un comune accordo sopra alcuni dei punti che seguono:

- Definizione delle nozioni chimiche importanti, come quelle che vengono espresse coi termini atomo, molecola, equivalente atomico, basico.
- Esame della questione degli equivalenti e delle formule chimiche.
- Fondamento di una notazione e di una nomenclatura uniforme.

Pur senza avere la speranza che le deliberazioni dell'assemblea siano tali da conciliare tutte le opinioni e da far svanire tutti i dissidii, i sottoscritti pensano tuttavia che esse possano preparare nell'avvenire un accordo fra i chimici, almeno per quel che concerne le questioni più importanti. Una commissione potrà essere incaricata di proseguire lo studio di queste questioni, interessando Accademie e Società scientifiche che dispongono dei mezzi necessari per risolverle.

Il Congresso si riunirà a Carlsruhe il 3 settembre 1860.

Il collega Weltzien, professore al Politecnico di questa città, assume le funzioni di commissario generale; a causa di ciò, riceverà le adesioni dei membri futuri del Congresso e il giorno indicato, alle ore 9 del mattino, aprirà l'assemblea.

Allo scopo di evitare spiacevoli omissioni, i sottoscritti pregano le persone alle quali viene indirizzata questa circolare di comunicarla agli amici scienziati.

Babo, Freiburg; Balard, Parigi; Beketoff, Kansan; Boussingault, Parigi; Brodie, Oxford; Bunsen, Heidelberg; Bussy, Parigi; Cahours, Parigi; Cannizzaro, Genova; Deville, Parigi; Dumas, Parigi; Engellhardt, Pietroburgo; Erdmann, Lipsia; Fehling, Stoccarda; Frankland, Londra; fremy, Parigi; Fritzsche, Pietroburgo; Hoffmann, Londra; Kekulé, Gand; Kopp, Giessen; Hlasiwz, Innsbruck; Liebig, Monaco; Malaguti, Rennes; Marignac, Ginevra; Mitscherlich, Berlino; Odling, Londra; Pasteur, Parigi; Payen, Parigi; Pebal, Vienna; Peligot, Parigi; Pelouze, Parigi; Piria, Torino; Regnault, Pa-

rigi; Roscoe, Manchester; Schrötter. Vienna; Socoloff, Pietroburgo; Staedeler, Zurigo; Stas, Bruxelles; Strecker, Tubinga; Weltzien, Karlsruhe; Will, Giessen; Williamson, Londra; Wöhler, Gottinga; Wurtz, Parigi; Zinin, Pietroburgo.

NB. – Le adesioni vanno inviate direttamente a Weltzien (Potitecnico, Karlsruhe), oppure a Kekulé, professore di chimica a Gand, che le trasmetterà poi a Weltzien.

Il numero degli aderenti fu considerevole e il 3 settembre 1860, 140 chimici<sup>1</sup> si riunirono nella sala delle sedute della Seconda Camera degli Stati, locale che S. A. R. il Granduca di Baden mise a disposizione del Congresso.

### ***Prima seduta del Congresso***

Weltzien, commissario generale, apre la prima seduta col discorso seguente:

*Signori,*

Come presidente provvisorio ho l'onore di inaugurare un Congresso, di cui mai per lo innanzi si era visto l'eguale.

In realtà dal 1822, per incitamento di Ohen<sup>2</sup> dietro l'esempio dei Congressi svizzeri, scienziati e medici tedeschi si riunirono quasi ogni anno a congresso nelle varie città della loro patria. L'esempio fu imitato dagli inglesi, francesi e negli ultimi anni anche dagli scandinavi.

Questi tuttavia sono studiosi, che pur dedicando le loro energie ai diversi rami delle scienze naturali, appartengono sempre ad una medesima Nazione.

L'attività scientifica di queste riunioni consiste principalmente in conferenze, che vengono tenute da ogni singolo cultore sui proprii lavori, l'argomento dei quali non è legato ad alcun programma prestabilito.

Uno scambio attivo, amichevole, rallegrato da una serie di feste, riunisce per diversi giorni gli scienziati e i medici affini per l'origine e per la lingua.

Non così questo Congresso.

Per la prima volta si sono riuniti i cultori di una scienza sola, e la più giovine di tutte: questi cultori appartengono però a quasi tutte le nazionalità. Noi apparteniamo a razze diverse, parliamo lingue diverse, ma siamo affini perché coltiviamo la medesima scienza e ci lega un interesse scientifico e ci riunisce lo stesso fine.

Noi siamo qui raccolti per lo scopo ben stabilito, di cercare di trovare una via unica in alcune questioni capitali per questa nostra bella scienza.

---

<sup>1</sup> Degli italiani furono presenti Cannizzaro e Pavesi di Pavia (*nota di Michele Giua*).

<sup>2</sup> Oken (MDA).

Nello sviluppo straordinariamente rapido della chimica, specialmente nella abbondante raccolta del materiale sperimentale, le idee teoriche dei ricercatori e le espressioni in parole e simboli sono andate molto al di là di ciò che si richiede per una comprensione reciproca e soprattutto di ciò che è utile per l'insegnamento. Per l'importanza che la chimica ha per gli altri rami delle scienze naturali, per il fatto di essere essa indispensabile per la tecnica è grandemente desiderabile dare ad essa una forma più esatta, affinché sia possibile apprenderla scientificamente in tempo più breve.

Per raggiungere questo scopo non c'era bisogno di essere costretti a proporre diverse vedute e modi di scrivere in cui le differenze hanno poca sostanza, né di caricarsi con una nomenclatura, a cui con una massa di simboli non necessari manca per lo più ogni base razionale e che, per accrescere l'equivoco, deriva in massima parte da una teoria, che ora è scarsamente valida.

La partecipazione numerosa a questo Congresso è ben un segno evidente che questi inconvenienti sono ammessi da tutti e che è fortemente desiderabile l'eliminarli per raggiungere un punto di vista unico. Il raggiungimento di questo scopo è un premio così bello, che val bene la pena di tentare di raggiungerlo.

L'idea di un Congresso di chimici mi fu espressa già da molto tempo dal collega Kekulé. Questa primavera io feci i primi passi per realizzarla. Da più parti si riconobbe maturo il tempo per il tentativo, per ogni dove incontrai una adesione calorosa, sì che io non dubito che questo Congresso sarà destinato a stabilire un periodo importante per la nostra scienza.

La città di Carlsruhe, che or sono due anni ebbe la fortuna di ospitare uno dei più brillanti Congressi di scienziati e medici, ha ora l'onore di veder riunito nelle sue mura il I Congresso Internazionale dei Chimici.

Carlsruhe è la capitale di un paese piccolo ma benedetto, in cui sotto un principe di spirito elevato ed un governo liberale fioriscono le scienze e le arti e i cultori di queste, stimati ed appoggiati, possono seguire la loro vocazione con gioia ed amore.

Mentre dò loro il benvenuto in questa città non dubito che la stessa letizia penetri in queste riunioni e che un giorno la scienza possa riandare con soddisfazione a questo Congresso.

Dopo questo discorso il commissario generale invita Bunsen ad assumere la presidenza; questi rifiuta e prega l'assemblea di dare a Weltzien l'incarico di dirigere questa prima seduta, ciò che l'assemblea approva. Wurtz, Strecker, Kekulé, Odling, Roscoe e Schishkoff sono incaricati delle funzioni di segretari. Kekulé prende la parola ed espone il seguente programma.

***Preparazione letterale di Kekulé al suo discorso nella prima seduta del Congresso Internazionale di Karlsruhe del 1860<sup>3</sup>***

Non diritto. Obbligo.

Due parole sullo scopo intravisto e mezzi per raggiungerlo.

Dalle generalità ad un invito.

Essenzialmente: stabilire un accordo o preparare su questioni di forma.

Anzitutto un paio di osservazioni.

A questo punto indulgenza.

Io il più giovane – ad uomini così sperimentati ecc. – oso.

A me sembra:

1. Per la natura della questione, esclusa la comunicazione di fatti nuovi, se non sono in diretto rapporto con le questioni generali da trattarsi.

2. Vorrei pregare.

Parlare il più possibile. Specialmente quei colleghi la cui opinione non coincide:

a. La riunione, come tale, non ha una idea prestabilita.

b. Anzi ponderare il pro e il contro.

3. Inoltre non dimenticare che si tratta solo di opinioni.

4. Infine appena necessario osservare – ciò che è stato espresso già nel primo programma.

Potrei dire un voto vero e proprio senza senso e scopo. Ma potrebbe esser posta la questione se forse (o sempre o nei singoli casi) è adatto allo scopo constatare dalla raccolta dei voti se ecc. ecc. in favore.

... Confesso che ciò mi sembra presentare difficoltà nell'esecuzione e non utilità. Si potrebbe perciò proporre in ogni caso non come principio – tutto al più nei casi che possibilmente si verificano e quindi per proposta speciale.

Al contrario votazione in questioni dell'ordinamento programmatico.

Dopo queste osservazioni preliminari, alla questione.

Scopo principale accordo sulla questione di forma.

È noto a tutti come ciò sia necessario e rispondente allo scopo.

Ad ottener ciò si offrono due vie.

I. Trattare direttamente le singole questioni speciali.

---

<sup>3</sup> Del discorso di Kekulé non si ha che questo abbozzo assai imperfetto e in alcune parti di difficile comprensione (nota di Michele Giua).

II. Con considerazioni generali, più teoriche, preparare una discussione in proposito.

Così di frequente che una preparazione più lunga faciliti il lavoro. A me sembra che questo sia il caso.

Mi sia permesso di considerare quali questioni, e nella teoria e nella forma, potranno possibilmente esser discusse. E quindi vedere quale di esse può essere ora sottoposta ad una discussione più minuziosa con previsione di successo (soluzione).

Sotto I si potrebbe:

- 1) È utile la teoria atomica e quale forma può assumere allo stato attuale della scienza.  
Inoltre, idea: atomo, molecola, equivalente.
- 2) Può (ora) essere emessa un'ipotesi sulle proprietà degli atomi che spieghi i rapporti secondo cui gli atomi si combinano. Ad es.: offre dei vantaggi l'idea espressa sotto forma di teoria della basicità?
- 3) È possibile dai fatti noti presentemente derivare un'ipotesi sulla natura della forza e modo della sua azione? Electro: a questo punto teoria meccanica del calore.
- 4) Sono utili le idee più volte manifestate in questi ultimi tempi sull'influenza degli atomi che entrano in un composto e sull'influenza della posizione relativa di essi?
- 5) È (ora) possibile stabilire un'idea sulla reale disposizione degli atomi (vera costituzione)? Offrono dei vantaggi i tentativi che mirano a ciò?

Questione importante a causa del senso delle formule razionali.

Ora ciò che riguarda questioni di forma.

- I. Quali parole debbono usarsi per i concetti, indicati sopra come atomo, equivalente, molecola, e che sono derivati dalla discussione delle altre questioni?
- II. È da preferirsi nella scrittura delle formole per l'uso comune una scrittura secondo gli equivalenti o quella secondo gli atomi? E quale per gli elementi più importanti? e alcuni composti semplici?
- III. Quale scrittura più adatta (fra le diverse) per le formule razionali?
- IV. Nomenclatura

Tra queste questioni, che con una giusta interpretazione sembrano comprendere tutto, ciò che presentemente potrebbe esser discusso, ve ne sono alcune evidentemente insolubili al presente.

Per es. la nomenclatura.

Altre al contrario sembrano risolvibili.

Sarebbe opportuno anzitutto limitare la discussione a queste ultime.

Primo.

1) I e II proposto di riunirli in una sola cosa.

Secondo.

5) Riunire forse con III.

Resta ancora da dire in qual modo può raggiungersi una soluzione. Secondo la mia opinione e l'opinione di molti colleghi con cui ho parlato: da una discussione immediata in assemblea plenaria si avrebbero scarsi risultati.

Meglio una specie di Comitato che discuta le questioni e quindi nella prossima seduta esponga il pro e il contro. Così prepara ed introduce la discussione.

Se mi è permesso di far proposte nella composizione di questa Commissione:

Bureau completato.

Io non posso assolutamente pretendere e non credo neppure di aver esaurito in alcun modo l'argomento e oserei perciò di chiedere ai membri del Congresso di proporre altre questioni. È più opportuno che esse siano presentate per iscritto al Bureau; da questo comunicate al Congresso e quindi, se il Congresso decide per una discussione, assegnate ad una Commissione.

Infine prego che si discuta su queste mie proposte.

Erdmann insiste sulla necessità di deliberare su questioni di forma anziché su punti determinanti di dottrina. Dopo alcune osservazioni di Fresenius, Kekulé, Wurtz, Boussigault, Kopp propone, e l'assemblea approva, che la Commissione tenga le sue sedute a porte chiuse.

### ***Prima seduta della Commissione sotto la presidenza di H. Kopp***

La Commissione si riunisce il 3 settembre alle 11 sotto la presidenza di H. Kopp. Il presidente propone di iniziare la discussione sulla nozione di molecola e d'atomo e invita Kekulé e Cannizzaro, i cui studi vertono specialmente sulla questione, a riferire in proposito.

Kekulé insiste sulla necessità di distinguere la molecola dall'atomo e, almeno in principio, la molecola fisica dalla molecola chimica.

Cannizzaro non può concepire il concetto di molecola chimica. Per lui non esistono che le molecole fisiche e la legge d'Ampere e d'Avogadro è la base delle considerazioni relative alla molecola chimica. Questa non è altro che la molecola gassosa.

Kekulé pensa al contrario che solo i dati chimici debbono servire di base a definire e determinare la molecola (chimica) mentre le considerazioni fisiche non debbono essere prese in considerazione che per il controllo.

Strecker fa osservare che in certi casi l'atomo è identico alla molecola, come per l'etilene.

Wurtz dice che l'ossigeno e gli elementi biatomici in generale, essendo comparabili all'etilene, si può essere in imbarazzo nel definire la molecola chimica di questi corpi. Le considerazioni fisiche conducono a considerarle come molecole formate da due atomi, ma finora nessun dato chimico sembra favorire questo raddoppiamento.

Riassumendo la discussione, Kopp dice che sembra evidente la necessità di separare la nozione di molecola da quella di atomo, che la nozione di molecola si può stabilire per mezzo di considerazioni puramente chimiche e che non è necessario per questa definizione prendere in considerazione la densità; infine sembra ovvio denominare molecola la quantità più grande, atomo la quantità più piccola. Terminando l'oratore propone all'assemblea il primo quesito: «È conveniente fare una distinzione fra i termini molecola e atomo, di denominare molecole le quantità più piccole dei corpi che prendono parte ad una reazione o che si formano e che possono compararsi per ciò che concerne le qualità fisiche, di denominare atomi le quantità più piccole dei corpi che sono contenute nella molecola?»

Fresenius richiama l'attenzione sull'espressione *atomo composto* e dice che essa è contraddittoria. L'osservazione di Fresenius motiva così la redazione del secondo quesito da proporre all'Assemblea: «L'espressione *atomo composto* può essere soppressa e sostituita da *radicale* o *residuo*?»

Kopp riprende in esame l'esposizione di Kekulé e richiama l'attenzione sulla definizione del termine *equivalente*. Gli sembra che la nozione di equivalente sia perfettamente chiara e si distingue nettamente da quella di molecola e di atomo. Per conseguenza la Commissione senza discussione approva il 3° quesito da proporre all'Assemblea: «La nozione degli equivalenti è empirica ed indipendente da quella di molecola e di atomo».

La seduta continua sotto la presidenza di Erdmann.

La discussione s'inizia sulla *notazione*. Kekulé fa notare che si può usare la notazione molecolare o atomistica o quella degli equivalenti, ma che in un sistema o l'altro è necessario attenersi rigorosamente e in modo conseguente alla notazione scelta. Sul significato del termine *equivalente* si fanno alcune osservazioni. Béchamps dice che non si può ammettere l'equivalenza che solo nel caso che le funzioni dei corpi siano identiche. Schischkoff non condivide questa opinione; egli pensa che la notazione di equivalenza e di quantità equivalenti sia indipendente dalle funzioni chimiche. Tutti ammettono una equivalenza fra il cloro e l'idrogeno. Dopo alcune osservazioni fatte sulla questione da diversi altri congressisti si toglie la seduta.



## **2ª seduta del Congresso sotto la presidenza di Boussingault**

Boussingault, nell'assumere la presidenza, ringrazia il Congresso per l'onore fatto ad uno scienziato, i cui studi, più che indirizzati a ricerche teoriche, hanno avuto per scopo argomenti di chimica applicata. Egli vede in questa nomina un legame fra ciò che si chiama antica e nuova chimica. Protesta però contro questa distinzione affermando che non invecchia la chimica, bensì i chimici. Annuncia che il lavoro della Commissione non è finito, per quanto essa sia accordata sulle tre questioni da sottoporre all'approvazione dell'Assemblea; pertanto invita uno dei segretari a riferire in merito.

Strecker dà lettura delle questioni redatte dalla Commissione. Kekulé sviluppa i punti indicati nella prima questione. Per ciò che concerne l'ipotesi fondamentale che si può fare sulla natura della materia, l'oratore si domanda se bisogna adottare l'ipotesi atomica e se ci si deve contentare di una ipotesi dinamica. A lui sembra preferibile la prima ipotesi. L'ipotesi di Dalton è verificata da ciò che si conosce sulla natura dei gas. Si è condotti ad ammettere nei gas delle piccole unità, dei piccoli individui e quando uno stesso corpo può presentarsi nello stato gassoso, liquido o cristallino è possibile che le molecole cristalline siano precisamente gli individui piccoli gassosi di cui si tratta o che questi siano frazione di quelli; ma la natura di queste relazioni non può essere precisata. È però certo che nelle reazioni chimiche esiste una quantità che entra e che ne esce nella proporzione più piccola e mai per una frazione di questa proporzione. Queste quantità sono le più piccole che possano esistere libere: sono le molecole definite chimicamente. Ma queste quantità non sono indivisibili, bensì le reazioni chimiche le conducono allo stato di particelle indivisibili. Queste particelle sono gli atomi. Gli elementi stessi, quando sono allo stato libero, hanno le molecole formate da atomi; così la molecola del cloro libero è formata da due atomi. Si è dunque condotti ad ammettere differenti unità molecolari e atomiche:

- 1) le molecole fisiche
- 2) le molecole chimiche
- 3) gli atomi

Ancora non è stato dimostrato che le molecole fisiche gassose siano identiche alle molecole fisiche liquide o solide. In secondo luogo, le molecole chimiche non è dimostrato che siano identiche alle molecole gassose. Così non è certo che la quantità più piccola di un corpo che prende parte ad una reazione sia la quantità più piccola di questo corpo che entra in gioco nei fenomeni termici.

Tuttavia ordinariamente bisogna dire che la molecola chimica è identica alla molecola gassosa. Si è pure preteso che la prima non rappresenti altro che la seconda. Per l'oratore non è così. La molecola chimica ha una esistenza indipendente, e per essere condotti alla distinzione precedente, bisogna dimostrare che in alcuni casi ciò si verifica. Non è dimostrato dalla densità di vapore del solfo, che le molecole chimiche non si separano sempre completamente le une

dalle altre, ma in certe condizioni (500°) restano saldate per formare le molecole fisiche? L'oratore aggiunge che l'esistenza e la grandezza delle molecole chimiche possono e devono essere determinate con dimostrazioni chimiche e che i dati fisici non permettono di giungere a questo risultato, Per es., com'è possibile, con considerazioni puramente fisiche, dimostrare che l'acido cloridrico risulta formato da un solo atomo d'idrogeno e un solo atomo di cloro?

Non basterebbe moltiplicare la formula HCl per un certo coefficiente e fare lo stesso per le altre formule per stabilire una perfetta concordanza fra le proprietà fisiche?

Cannizzaro prende la parola per osservare che la distinzione tra molecole fisiche e chimiche non gli sembra né necessaria né stabilita chiaramente.

Wurtz è d'avviso che questo punto sia secondario; al contrario gli sembra che la questione relativa alla distinzione fra molecola e atomo sia giunta ormai a maturazione e tutti ammettono la necessità di tale distinzione. Si tratta di precisare il senso dei termini usati generalmente ed egli pensa che in una questione di questo genere si avrebbe convenienza e sarebbe utile che l'assemblea prendesse una decisione. Questa decisione non avrebbe naturalmente nulla di obbligatorio.

La discussione s'inizia sulla seconda questione relativa al termine «radicale composto». Miller pensa che il linguaggio scientifico non può fare a meno del termine atomo composto. Vi hanno atomi di corpi semplici e atomi di corpi composti.

Kekulé, Natanson, Strecker, Ramon de Luna, Nicklés, Béchamps fanno osservazioni in vario senso, ma la discussione sopra questa questione, come su quella precedente, non porta ad una deliberazione dell'assemblea.

### **2ª seduta della Commissione sotto la presidenza di H. Kopp**

Kekulé espone le sue idee sulla notazione chimica. Si deve osservare che si può impiegare o una notazione atomico-molecolare o una notazione in equivalenti. Nel primo caso, la formula chimica rappresenta la molecola, nel secondo l'equivalente. Questa distinzione si comprende con gli esempi seguenti:

Notazione atomico-molecolare

HCl

H<sub>2</sub>Θ

H<sub>3</sub>Az

Notazione in equivalenti

HCl

HO

Haz.

(dove H = 1, Θ = 16, Az = 14, az = 14/3). Ciò che importa è di non confondere, come usualmente si fa, queste due notazioni. Si confondono scrivendo l'acqua HO = 9 e l'ammoniaca H<sub>3</sub>Az = 17, ecc.

Cannizzaro insiste sull'importanza per la notazione delle considerazioni relative ai volumi. Gli argomenti sviluppati dall'oratore sono riprodotti in *extenso* nel rendiconto della 3ª seduta del Congresso (v. oltre).

Il Presidente fa notare che la discussione si prolunga troppo e che nel seno della Commissione le questioni debbono essere accennate più che approfondite. Egli pensa che si può lasciar da parte la discussione relativa alla notazione in equivalenti, come viene formulata da Kekulé. Nessuno se ne serve. L'oratore crede conveniente non stare troppo attaccati alle questioni teoriche, toccando il fondo delle cose e attenersi a questioni di forma.

Opinioni analoghe vengono manifestate da diversi membri: particolarmente Erdmann fa notare l'urgenza di adottare una notazione tale che i simboli rappresentino un valore determinato e invariabile.

Riassumendo la discussione, il Presidente riconosce che, visti i recenti progressi della scienza, è probabile che debbano essere raddoppiati certi pesi atomici, ma che nella notazione in cui ci si serve di questi pesi raddoppiati, sarebbe utile aver riguardo alla notazione impiegata generalmente fin qui e non impiegare esattamente i simboli dell'ultima notazione rappresentando valori diversi. Pensa che sarebbe conveniente, come misura transitoria e per evitare confusione, adottare alcuni segni per indicare le differenze. Per conseguenza egli approva l'abitudine presa da alcuni chimici di sbarrare i pesi atomici doppi.

Terminando, egli formula la questione da proporre al Congresso nel modo seguente: «È desiderabile di mettere in armonia la notazione chimica coi progressi recenti della scienza raddoppiando un certo numero di pesi atomici».

### ***3ª seduta della Commissione sotto la presidenza di Dumas***

Kekulé riassume la discussione della seduta precedente e riproduce in una forma alquanto mitigata la questione annunciata da Kopp. Secondo l'oratore questa questione si deve porre nel modo seguente: «I progressi recenti della scienza autorizzano un cambiamento della notazione, ecc.?»

Strecker propone di adottare come principio la notazione atomica.

Il Presidente insiste con calore sugli inconvenienti che risultano dalla confusione presente. Se questo stato di cose dovesse prolungarsi esso porterebbe nocimento non solo all'insegnamento e al progresso della scienza, ma anche alla sicurezza dei lavori industriali. Riportiamoci col pensiero, egli dice, a venti anni addietro. La tavola dei pesi atomici di Berzelius era insieme il fondamento della scienza intiera e la guida infallibile delle operazioni dell'industria. Niente sostituisce oggi questa autorità riconosciuta da tutti e bisogna provvedere a che la chimica non decada.

Wurtz è felice di riconoscere che Dumas ha posto la questione sul suo vero terreno e pensa che bisogna ritornare ai principi dei pesi atomici e della notazione di Berzelius. Piccoli cambiamenti nell'interpretazione di alcuni fatti sarebbero sufficienti, secondo l'oratore, per porre i principi di questa notazione in armonia con le esigenze della scienza moderna. La notazione che oggi conviene adottare non è quella di Gerhardt. Questi ha reso servizi immensi alla scienza. Egli è morto e il suo nome dev'essere pronunciato con rispetto.

Ma sembra che questo chimico abbia commesso due errori: l'uno è relativo solamente alla forma, l'altro alla sostanza delle cose. Prima di tutto, invece di presentare la sua notazione come fondata su principi nuovi, egli avrebbe fatto meglio a riattaccarsi ai principi di Berzelius, e porre così la sua innovazione sotto l'autorità di questo grande. In secondo luogo, sembra che Gerhardt abbia commesso un errore raffigurando tutti gli ossidi della chimica minerale all'ossido di argento e all'ossido di potassio anidro, attribuendo come a questi ultimi, la formula



In chimica minerale debbono esservi degli ossidi corrispondenti all'ossido di etilene, come vi sono ossidi che i rappresentanti dell'ossido di etile e altri che corrispondono all'ossido di glicerile, e se l'idrato di potassio per es. può compararsi all'alcool, altri idrati debbono essere comparati al glicol e alla glicerina. Si comprende che queste considerazioni sono di natura tale da provocare e rendere legittimi alcuni cambiamenti nella notazione di Gerhardt e nei pesi atomici ch'egli attribuiva ad alcuni metalli.

Dopo una discussione alla quale prendono parte Cannizzaro, Wurtz e Kekulé questi emette l'opinione che il problema sia sufficientemente maturo per essere sottoposto alla decisione del Congresso e chiede che l'ufficio di Presidenza formuli la proposta. Il che viene approvato.

### ***3ª seduta del Congresso sotto la presidenza di Dumas***

Assumendo la presidenza Dumas rivolge all'assemblea alcune parole di ringraziamento ed esprime la speranza che si giungerà ad un accordo sopra alcune delle questioni proposte al Congresso. In seguito propone Will e Miller come vice-presidenti. Odling sostituisce Roscoe come segretario. Si dà lettura delle questioni elaborate dalla Commissione, così concepite:

«È da desiderare di porre in armonia la notazione chimica coi progressi della scienza?»

«È conveniente adottare di nuovo i principi di Berzelius, per ciò che riguarda la notazione, apportando ad essi alcune modificazioni?»

«È da desiderare di distinguere, per mezzo di segni particolari, i nuovi simboli chimici da quelli che erano generalmente in uso una quindicina di anni or sono?»

Cannizzaro prende la parola per combattere la seconda proposizione. A lui sembra assai poco conveniente e poco logico far retrocedere la scienza fino ai tempi di Berzelius, per farle poi percorrere il cammino fatto fin qui. In effetti, al sistema di Berzelius sono state fatte successivamente delle modificazioni e queste modificazioni ci hanno condotto al sistema di formule di Gerhardt. Questi cambiamenti sono stati fatti come conseguenza di progressi successivi

e non bruscamente. Se Gerhardt non li avesse proposti, ciò avrebbero fatto o Williamson od Odling oppure qualche altro chimico che avesse preso parte al movimento scientifico.

La sorgente a cui rimonta il Sistema di Gerhardt è la teoria d'Avogadro e di Ampère sulla costituzione uniforme dei corpi nello stato gassoso. Questa teoria conduce a considerare le molecole di alcuni corpi semplici come suscettibili di una ulteriore suddivisione. Dumas comprese l'importanza della teoria di Avogadro e la portata delle sue conseguenze. Egli pose questa questione: havvi un accordo fra i risultati della teoria di Avogadro e quelli che si deducono dagli altri metodi che servono a determinare i pesi relativi delle molecole? Accorgendosi della povertà della scienza in risultati sperimentali di questo genere, egli volle riunirne il numero maggiore possibile prima di *giungere ad una conclusione generale sopra questo soggetto*. Così, adoperando il suo metodo per la determinazione della densità di vapore, egli dette alla scienza risultati preziosi. Tuttavia, da questi risultati, sembra ch'egli non abbia tratto quella conclusione generale alla quale tendeva. Comunque, spetta a lui il merito di aver indirizzato i chimici sulla via della teoria di Avogadro, perché egli ha contribuito più che ogni altro a introdurre l'abitudine di scegliere per i corpi volatili formule corrispondenti allo stesso volume che occupano l'acido cloridrico e l'ammoniaca.

L'influenza della scuola di Dumas si nota nel modo più evidente in una memoria di uno dei suoi allievi, Gaudin. Questi accetta senza riserve la teoria di Avogadro. Egli ha stabilito una netta distinzione fra *atomo e molecola*, con la quale ha potuto conciliare i fatti con la teoria. Questa distinzione era già stata fatta da Dumas che, nelle sue lezioni di filosofia chimica, aveva denominata la molecola *atomo fisico*. Essa è certamente uno dei pilastri del sistema di Gerhardt.

Gaudin, più conseguente e più attaccato alla teoria di Avogadro che non lo fosse Gerhardt, profittando dei nuovi dati sperimentali sulle densità di vapore, stabilì che gli atomi non sono sempre la stessa frazione delle molecole dei corpi semplici; vale a dire che queste molecole non contengono sempre lo stesso numero di atomi; che, mentre la molecola dell'ossigeno, dell'idrogeno e degli alogeni è formata da 2 atomi, la molecola del mercurio contiene un solo atomo. Egli per dedurre la composizione relativa della loro molecola arrivò fino a comparare la composizione di volumi uguali di alcool e di etere. Ma il suo spirito da questo confronto non trasse tutte le conseguenze e i chimici hanno dimenticato la sua idea. E pertanto questo confronto è uno dei punti di partenza della riforma proposta da Gerhardt. Altri chimici, fra i quali si può citare Proust, accettarono la teoria di Avogadro e giunsero alle conseguenze generali alle quali era pervenuto Gaudin. In questo stato della scienza, che cosa ha fatto Gerhardt?

Egli accetta la teoria di Avogadro con la conseguenza della divisibilità degli

atomi dei corpi semplici, egli applica questa teoria a dedurre la costituzione relativa delle molecole dell'idrogeno, ossigeno, cloro, azoto, acido cloridrico, acqua e ammoniaca. Se si fosse fermato qui, non sarebbe andato oltre Avogadro e Dumas. Ma egli sottopose ad un esame generale tutte le formule della chimica organica e si accorse che tutte quelle formule corrispondenti a volumi eguali di acido cloridrico e di ammoniaca erano confermate da tutte le reazioni e da tutte le analogie chimiche. Egli pensò allora di modificare le formule che facevano eccezione a questa regola famigliarizzata da Dumas. Egli pensò di dimostrare che le ragioni per le quali ci si era allontanati dalla regola dei volumi eguali non erano fondate. Il punto di partenza delle riforme proposte da Gerhardt fu quello di ridurre le formule di tutti i corpi volatili organici a volumi eguali. Come conseguenza di questo primo passo si ebbero le modificazioni dei pesi atomici di alcuni corpi semplici, la scoperta delle relazioni fra gli idrati, sia acidi che basici, con l'acqua. E che avvenne in seguito? Le esperienze memorabili di Williamson sull'eterificazione, sugli eteri misti, sui chetoni, quelle di Gerhardt sulle anidridi degli acidi, di Wurtz sui radicali alcoolici, ecc. confermarono successivamente ciò che Gerhardt aveva previsto come conseguenza del suo sistema. Così si ebbe in chimica qualcosa di analogo che in ottica, quando fu introdotta la teoria delle ondulazioni.

Questa teoria ha fatto prevedere con ammirevole esattezza i fatti che l'esperienza ha più tardi confermato. In chimica, il sistema di Gerhardt non è stato meno fecondo per l'esattezza delle previsioni. Esso è legato intimamente alla storia della scienza, ai lavori che lo hanno preceduto e ai progressi che lo hanno seguito. Non è un salto brusco, un fatto isolato: è un passo regolare in avanti, piccolo in apparenza, ma grande nei risultati. Ormai non si può eliminare questo sistema dalla storia della scienza; si può e si deve discuterlo e modificarlo, ma se vuole introdurre nella scienza un sistema di formule in accordo con lo stato attuale delle nostre conoscenze, bisogna prenderlo come punto di partenza. Alcuni sono forse tentati di dire: la differenza fra le formule di Gerhardt e quelle di Berzelius è piccolissima; per es., la formula dell'acqua è la stessa nei due sistemi. Ma bisogna stare attenti. In apparenza la differenza è piccola, ma in sostanza è grande. Berzelius era sotto l'influenza delle idee di Dalton. L'idea di una differenza fra l'atomo e la molecola dei corpi non è mai entrata nella sua mente. In tutti i suoi ragionamenti ammette implicitamente che gli atomi dei corpi semplici sono, rispetto alle forze fisiche, delle unità dello stesso ordine degli atomi composti. Per questa ragione ha cominciato con l'ammettere che volumi eguali contengono lo stesso numero di atomi. Presto si accorse che questa regola non poteva applicarsi che ai corpi semplici e durante la sua carriera scientifica, per scegliere le formule, non attribuì nessuna importanza agli atomi dei corpi composti. Pertanto fu obbligato a limitare la regola del numero eguale di atomi in volumi eguali ad un piccolo numero di corpi semplici, vale a dire a tutti quelli che sono gas

permanenti, introducendo così nella costituzione dei gas e dei vapori una differenza che nessun fisico ha mai potuto ammettere. Berzelius non ammetteva che nella combinazione le molecole dei corpi semplici potessero dividersi, egli al contrario supponeva che spesso due molecole formano la quantità che entra intiera nel composto. È ciò che denominò *atomi doppii*. Così egli ammetteva che l'acqua e l'acido cloridrico contenessero la stessa quantità di idrogeno, quantità eguale a due molecole fisiche riunite.

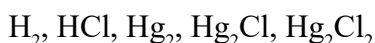
Voi vedete dunque, Signori, quale profonda differenza esista fra le idee di Berzelius e quelle di Avogadro, Ampère, Dumas e Gerhardt. Io mi meraviglio che Kekulé abbia accettato la proposizione della Commissione, egli che nel suo trattato ha detto che Gerhardt è il primo e il solo che abbia compreso la teoria atomica.

Io credo di aver dimostrato, continua Cannizzaro, che bisogna prendere come punto di partenza di una discussione delle formule quelle di Gerhardt, ma non sostengo che bisogna accettarle tutte come sono state proposte. Anzi, alcuni anni fa, io ho cercato di apportarvi alcune modificazioni, in modo da evitare le incongruenze che mi sembrano esistere nel sistema di Gerhardt. Infatti, è curioso vedere come questo chimico ha rinnegato la teoria di Avogadro, dopo essersene servito come di base per le sue riforme. Ecco come si esprime: «Vi sono molecole con 1, 2 e 4 vol. come ve ne sono a  $1/2$ ,  $1/3$  e  $1/4$  di volume» (*Comptes rendus des travaux de Chimie*, anno 1851, pag 146). E continua così (pag. 147): «Ci si può forse meravigliare di vedermi sostenere questa tesi, dopo che io ho sempre raccomandato di seguire in chimica organica una notazione regolare, rappresentando tutti i corpi volatili con lo stesso numero di volumi, con 2 o con 4. I chimici che in ciò veggono due affermazioni contraddittorie, dimenticano che io non ho mai considerato il principio precedente come una verità molecolare, ma come una condizione necessaria per arrivare alla conoscenza di alcune leggi o di alcuni rapporti che una notazione arbitraria, o appropriata a casi particolari, lascierebbe sfuggire all'attenzione dell'osservatore».

Vi erano dei fatti che obbligavano Gerhardt a rinnegare la teoria di Avogadro, ma vi erano pure delle ipotesi gratuite. I fatti erano le densità di vapore dell'acido solforico monoidrato, dei sali ammoniacali e del percloruro di fosforo. Voi già sapete, Signori, che in occasione della pubblicazione della memoria di Deville sulla dissociazione termica di alcuni composti, ho cercato per primo d'interpretare il fatto di queste densità anormali, supponendo che questi corpi si raddoppino e che realmente nella determinazione di queste densità si pesa una mescolanza di vapori. Dopo di me, Kopp ha proposto indipendentemente la stessa interpretazione. Io non ripeterò qui gli argomenti che abbiamo esposti, favorevoli a questa interpretazione. Aggiungerò solamente che uno dei membri di questo Congresso mi informa che il punto di ebollizione dell'acido solforico è quasi costante a diverse pressioni, ciò che

dimostra che si tratta non di punto di ebollizione, ma di decomposizione. Io sono convinto che altri fatti confermeranno l'interpretazione da noi data per le densità anormali e faranno così svanire i dubbi che alcuni scienziati sembrano ancora conservare in merito alla teoria di Avogadro. Ma indipendentemente dai fatti che ora ho esposto, vi erano pure delle ipotesi gratuite che avevano allontanato Gerhardt dalla teoria di Avogadro. Dimostrerò ora ch'è così.

Gerhardt ammetteva come una verità dimostrata che tutti i composti metallici hanno delle formule analoghe a quelle dei corrispondenti composti idrogenati. Ammesso ciò dà ai cloruri di mercurio le formule  $\text{HgCl}$ ,  $\text{Hg}_2\text{Cl}$ , supponendo che la molecola del mercurio libero sia formata da due atomi, come quella dell'idrogeno. Notiamo che le densità di vapore conducono a un risultato diverso. Infatti, per rappresentare la composizione di volumi eguali dai cinque corpi seguenti: idrogeno, acido cloridrico, mercurio, cloruro mercurioso, cloruro mercurico, avremo le formule seguenti:



Facendo un confronto fra queste formule vediamo che nelle molecole del mercurio libero e dei suoi due cloruri esiste la stessa quantità di mercurio espressa da  $\text{Hg}_2$ ; che il cloruro mercurioso è analogo all'acido cloridrico, mentre il cloruro mercurico contiene nella sua molecola una quantità doppia di cloro. La stessa ragione che ci ha condotto a raddoppiare l'atomo di carbonio deve farci raddoppiare l'atomo di mercurio. Ciò equivale a dire che la quantità di mercurio espressa da  $\text{Hg}_2$  nelle formule precedenti, rappresenta un solo atomo.

In questo caso si vede che l'atomo è eguale alla molecola del corpo libero, che nei sali mercuriosi questo atomo è l'equivalente di un solo atomo d'idrogeno, mentre nei sali mercurici è l'equivalente di 2 atomi d'idrogeno. In altri termini e per impiegare il linguaggio oggi usato, nei sali mercuriosi il mercurio è monoatomico, nei sali mercurici è biatomico, come i radicali dei glicoli di Wurtz. È importante fare notare che raddoppiando il peso atomico del mercurio, come si è fatto pel solfo, si ottengono numeri che si accordano con la legge dei calori specifici. Ma se si raddoppia il peso atomico del mercurio, per analogia si è condotti a raddoppiare quelli del rame, zinco, piombo, stagno, ecc., in una parola si ricade nel sistema dei pesi atomici di Regnault, che concorda coi calori specifici, l'isomorfismo e le analogie chimiche.

Era cosa veramente spiacevole questo disaccordo fra il sistema di Gerhardt e la legge dei calori specifici e dell'isomorfismo. Esso in realtà aveva prodotto due chimiche diverse; una, che trattava dei corpi inorganici, attribuiva un grande valore all'isomorfismo; l'altra che studiava i corpi organici, non ne teneva alcun conto, di modo che lo stesso corpo poteva non avere la stessa formula in una o l'altra chimica. Questo disaccordo deriva dal fatto che il sistema di



Gerhardt non era conseguente in tutte le sue parti, ma esso sparisce non appena si sopprimono le inconseguenze.

Le densità di vapore offrono il mezzo di determinare il peso delle molecole dei corpi, sia semplici, che composti. I calori specifici servono a controllare i pesi degli atomi e non quelli delle molecole. L'isomorfismo svela le analogie di costituzione molecolare.

A conferma della modificazione che ho proposto dei pesi atomici di alcuni metalli, citerò i fatti seguenti: tutti i composti volatili di mercurio, zinco, stagno e piombo contengono quantità di metallo rappresentate dalla notazione ordinaria da  $Hg_2$ ,  $Zn_2$ ,  $Sn_2$ ,  $Pb_2$ . Questo fatto solo è sufficiente per indicare che queste quantità rappresentano i veri atomi dei metalli in questione. Si potrebbe pure citare il fatto che esistono tre ossalati di potassio e ammonio (radicali monoatomici), mentre esistono solamente due ossalati di bario e calcio (radicali biatomici). Ma per il momento, non insisto su questo punto e dall'altro lato non posso misconoscere che vi è un caso ove il peso atomico dedotto dal confronto delle composizioni molecolari è in disaccordo con quello che si dedurrebbe dal calore specifico. Questo caso è quello del carbonio. Probabilmente qui la legge dei calori specifici è annebbiata da altre cause che influiscono sul calore specifico.

Riassumendo, Signori, io propongo di accettare il sistema di Gerhardt prendendo in considerazione le modificazioni proposte per i pesi atomici di alcuni metalli e le formule dei loro sali. E se non possiamo essere d'accordo per accettare la base del nuovo sistema, evitiamo almeno di dare un giudizio contrario che, siatene certi, sarebbe senza risultato. Infatti non possiamo impedire che il sistema di Gerhardt non guadagni sempre più partigiani. Oggidì, esso è accettato dalla maggior parte dei giovani chimici, da quelli che prendono la parte più attiva al progresso della scienza. In questo caso, limitiamoci a stabilire qualche convenzione per evitare la confusione che risulta dall'impiego di simboli identici ai quali si attribuiscono valori diversi. Così, generalizzando una usanza già stabilita, si potranno, per rappresentare i pesi atomici doppi, accettare le lettere sbarrate.

Strecker dà alcuni chiarimenti sulla redazione della seconda proposizione sottoposta al Congresso. In essa dapprima si faceva il nome di Gerhardt, ma poi si sostituì a questo nome quello di Berzelius. L'oratore non è favorevole a questa opinione. Non gli pare necessario risalire fino a Berzelius, al quale si può rimproverare la mancanza di logica nella questione degli atomi e degli equivalenti. Ciò che è utile ed urgente è di migliorare ciò che esiste, tenendo conto dei progressi della scienza dopo Berzelius. Strecker aggiunge che le dottrine di cui è l'espressione il «sistema di Gerhardt» presentano dei vantaggi reali. Egli, d'ora in avanti, nelle sue Memorie, adotterà i nuovi pesi atomici, pur pensando che non è ancora venuto il momento di introdurli nell'insegnamento e nei libri elementari.

Kekulé condivide pienamente le opinioni espresse da Cannizzaro. Tuttavia gli sembra utile fare una riserva sopra un punto di dettaglio. Cannizzaro considera il cloruro mercurioso come  $\text{HgCl}$  ( $\text{Hg} = 200$ ); a lui sembra più razionale considerarlo come un composto analogo al liquido degli olandesi, vale a dire come  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  ( $\text{Hg} = 200$ ) e ammettere che nella vaporizzazione la molecola si scinda.

Will non vuole entrare nei dettagli delle questioni sottoposte al Congresso; si limita a far notare che bisogna procedere direttamente allo scopo. Questo consiste nel trovare una notazione chiara, logica, incapace di generare confusione nella mente di chi s'inizia allo studio delle formule e capace di esprimere, non solo i fatti associati dalla scienza, ma ciò che le scoperte apporteranno quotidianamente.

Erdmann propone di abbandonare le due prime questioni e di limitarsi alla discussione dell'ultima. Gli sembra difficile giungere ad un accordo su questioni di principio e soprattutto di imporre con un voto una notazione.

Wurtz fa notare che nessuno ha avuto l'idea d'imporre una opinione qualunque. Ci si trova in presenza di due specie di questioni di forma. Se le prime non sono ancora così sicure per affermarle con un voto, niente impedisce che ci si accordi e si voti sulle questioni di forma.

Hermann Kopp constata che le opinioni dei chimici sono divise in molti punti teorici. Queste differenze di opinioni sono in parte causate da malintesi, che possono essere tolti da una discussione.

Erlenmeyer propone che per esprimere i pesi atomici che rappresentano gli antichi equivalenti doppi ci si serva sempre dei simboli sbarrati.

L. Meyer fa notare che ciò sembra ormai acquisito, perché nessun ha fatto al riguardo obiezioni.

S'inizia una discussione fra vari membri sull'opportunità di esprimere un voto.

Cannizzaro è d'avviso ch'è inutile votare sulla terza questione.

Boussingault fa osservare che gli sembra difficile che si possa equivocare sul significato dei voti che può dare il Congresso; votando si esprime un desiderata e non s'impone a chicchessia l'opinione della maggioranza.

Will è dello stesso avviso.

Normandy fa osservare che gli scienziati che propongono di fare alcune riforme sulla notazione sono quelli che coltivano principalmente la chimica organica. Poiché non si è d'accordo su vari punti gli sembra prematuro di applicare alla chimica minerale principi che sono ancora in discussione.

Odling prende la parola in merito ai simboli sbarrati. Egli ricorda che furono introdotti da Berzelius per esprimere atomi doppi. La sbarra, egli dice, è dunque il segno di divisibilità e sembra contrario alla logica sbarrare i simboli che rappresentano gli atomi indivisibili dell'ossigeno e del carbonio.

Kekulé, pur accordando che gli atomi doppi di Berzelius avevano un significato diverso da quello degli atomi indivisibili di cui si è proposto di sbarrare i simboli, fa notare che questi simboli sbarrati debbono indicare, non la divisibilità degli atomi, ma la divisibilità del valore espresso da questi simboli e che è doppio di quello che prima si ammetteva.

In risposta alle osservazioni di Erdmann e Normandy, Kekulé aggiunge che nessuno può aver l'idea d'imporre una opinione teorica o una notazione con un voto, ma una discussione sopra questi argomenti è necessaria ed utile e non mancherà di dare i suoi frutti.

Il Congresso esprime il voto che s'introduca l'uso dei simboli sbarrati che rappresentano pesi atomici doppi di quelli che prima si ammettevano.

Dumas toglie la 3<sup>a</sup> ed ultima seduta del Congresso dopo aver espresso, a nome dell'Assemblea, la sua riconoscenza a S. A. R. il Granduca di Baden per l'ospitalità accordata.

## **Riferimenti**

- [1] Rendiconto delle Sedute del Congresso Internazionale dei Chimici tenuto a Karlsruhe il 3 ,4, 5 Settembre 1860, *Rivista di Chimica Scientifica ed Industriale* 1930, 12-16; 41-46; 72-76.
- [2] S. Cannizzaro, *Notizie storiche e considerazioni sull'applicazione della teoria atomica alla chimica e sui sistemi di formule esprimenti la composizione dei composti*, *Gazz. Chim. It.*, 1871, 1, 1-33; 213-230; 293-314; 389-397; 567-586; 629-683.
- [3] L. Cerruti, *Il luogo del «Sunto»*, in S. Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, Sellerio, Palermo, 1991, 207-214.
- [4] A. Di Meo, *Atomi e molecole fra storia, didattica e teoria*, in S. Cannizzaro, *La teoria atomica e molecolare*, Edizioni Teknos, Roma, 1994, XXIV-XXIX.
- [5] A. Gaudio, *Storia della Chimica e della Farmacia in Italia dalle più lontane origini ai primi anni del duemila*, Aracne, Roma, 2008, 261.
- [6] E. Torracca, *Il periodo della chimica classica*, in *Storia della Chimica, dalla ceramica del neolitico all'età della plastica*, A. Di Meo, Ed., Marsilio Editori, Venezia, 1990, 161-164.
- [7] [https://it.wikipedia.org/wiki/Congresso\\_di\\_Karlsruhe](https://it.wikipedia.org/wiki/Congresso_di_Karlsruhe) (ultimo accesso: 26 Giugno, 2023).
- [8] A. M. Maggio, R. Zingales, *Appunti di Storia della Chimica*, Aracne Editrice, Roma, 2019, 275.
- [9] L. Cerruti, *Concordia discors. I chimici italiani dell'Ottocento, fra politica e scienza*, in *Chimica e le tecnologie chimiche nel Veneto dell'800*, A. Bassani, Ed., Istituto veneto di scienze lettere ed arti, Venezia, 2001, 11-72.

- [10] J. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri*, Mondadori, Milano, 1976, 177.
- [11] M. Ciardi, *Il segreto degli elementi. Mendeleev e l'invenzione del sistema periodico*, Hoepli, Milano, 2019, 51-55.
- [12] R. Carpignano, *Il chimico Michele Giua, una professione come etica*, *La Chimica e l'Industria*, 2001, 83(3), 71-73.
- [13] N. Nicolini, *Michele Giua: libertà e morale di un chimico socialista*, *CnS*, numero speciale: *Fascismo*, *Chimica e Scienza*, 2022, 91-99.

## Plagio ovvero i mediocri copiano...

**Renato Noto**

professore emerito di Chimica Organica dell'Università di Palermo

e-mail: [renato.noto@unipa.it](mailto:renato.noto@unipa.it)

---

**Abstract.** Among the ethically improper activities that damage Science, plagiarism is that which is committed to the detriment of another by taking some or *in toto* his work or even an idea.

In this paper I give a brief discussion of how to avoid the indictment of plagiarism and then, demonstrating how insidious this crime can be. A few well-known examples show how the work of distinguished scientists has, in some cases, been considered a form of plagiarism.

**Keywords:** etica; plagio; scienziati illustri

---

### 1. Introduzione

Negli ultimi anni il numero di ricercatori operanti nel mondo è aumentato notevolmente come conseguenza della comparsa nel mondo scientifico di realtà come quella cinese, indiana e coreana. L'aumentato numero di ricercatori ha comportato un ovvio aumento del numero delle pubblicazioni scientifiche, questo aumento è stato anche maggiore del previsto perché, per poter progredire nella carriera e per poter ottenere finanziamenti, ogni ricercatore è costretto a pubblicare (*publish or perish*). Il grande aumento del numero delle pubblicazioni ha comportato un minor controllo della qualità delle stesse e, fatto ancora più grave, della loro attendibilità. La comunità europea nel 2011 ha emanato un codice di condotta europeo per l'integrità della ricerca, rivisto successivamente nel 2017 [1]. In questo documento si legge, tra l'altro, che l'attività fraudolenta e/o la cattiva condotta nella ricerca può ricondursi a tre forme: *fabrication*, *falsification*, *plagiarism*. Questi termini specificatamente significano (1) inventarsi dei risultati e registrarli come se fossero reali (*fabrication*); (2) manipolare la ricerca, modificare o omettere dati rilevanti (*falsification*); (3) appropriarsi di lavoro o idee altrui senza farne menzione (*plagiarism*).

L'*American Chemical Society* (ACS) nel 2015 ha emanato, sul modello di quanto precedentemente fatto dalla *Society for Industrial and Applied Mathematics*:

*Authorial Integrity in Scientific Publication*, le linee guida per gli autori che volessero sottoporre i loro scritti alle riviste della società. Ben otto dei quindici punti sono in qualche modo riferibili ad aspetti riguardanti il plagio [2].

*Fabrication e falsification* sono due comportamenti eticamente scorretti che danneggiano l'immagine della ricerca e dei ricercatori; il plagio (*plagiarism*), però, non solo danneggia l'immagine della ricerca, ma è un reato commesso nei confronti di una persona e la sua gravità è testimoniata dal fatto che è perseguito dal Codice penale (legge 475/25). In questo breve articolo scriverò di quest'ultima attività eticamente scorretta.

## 2. Plagio

*Anche se la capacità di imbrogliare è segno di acutezza e di potere, l'intenzione di imbrogliare è senza dubbio segno di cattiveria o di debolezza*  
Cartesio

Nella XII edizione del vocabolario della lingua italiana *lo Zingarelli* il plagio viene definito come: *appropriazione, totale o parziale, di lavoro altrui, letterario, artistico, e sim., che si voglia spacciare per proprio* [3]. Il plagio consiste nell'appropriarsi non solo delle parole di un altro, come avviene quando si copia uno scritto in tutto o in parte, ma anche di idee o altri tipi di informazione, come quando si riassume o si riporta con le proprie parole il contenuto di un testo senza indicarne la fonte. Bisogna comunque sottolineare che malgrado la gravità del reato c'è spesso una certa tolleranza riguardo a coloro che si rendono colpevoli di tale azione. Negli ultimi anni la cronaca ha riportato casi di ministri coinvolti in tale reato per aver copiato ampie parti della loro tesi di dottorato. In alcuni casi ciò ha portato alle dimissioni del colpevole, in altri casi, dopo il clamore iniziale, nessuna iniziativa sanzionatoria è stata presa.

Alcune volte il plagio scaturisce dall'ingenuità di chi lo commette, al quale non è chiaro come deve comportarsi con quanto esiste in letteratura e che ritiene utile o indispensabile per la stesura del proprio elaborato. Vedremo fra poco quali sono le regole che si devono rispettare per evitare di essere accusati di plagio. Non può essere attribuito a ingenuità il copiare pedissequamente interi paragrafi o capitoli di opere esistenti in letteratura. È altresì plagio volontario copiare o tradurre intere parti di pubblicazioni esistenti in letteratura cambiando qualche parola o la costruzione delle frasi, attribuendosi la paternità dello scritto. Un caso clamoroso di plagio è quello che ha visto protagonista Elias A. K. Alsabti (1954-1990) il quale copiò alcune decine di pubblicazioni scientifiche di area medica attribuendosene la paternità [4].

Oggi giorno l'esistenza di programmi idonei a individuare quanto di un elaborato possa essere ritenuto copia di pubblicazioni esistenti dovrebbe scoraggiare coloro che intraprendono le azioni descritte precedentemente.

Qual è il corretto comportamento di chi vuole utilizzare ciò che esiste in letteratura e che ritiene utile per la stesura del proprio elaborato?

In molti siti universitari sono riportate le istruzioni, di seguito riassunte, a cui ci si deve attenere per evitare di commettere plagio.

Bisogna riportare tra virgolette e anche in corsivo le citazioni testuali copiate o tradotte letteralmente. Se queste sono eccessivamente lunghe, è meglio usare una formattazione speciale. Inoltre, è necessario riferire la fonte delle citazioni indicando l'autore, il testo, la pagina e tutti gli estremi utili a identificarla. Costituisce plagio anche parafrasare o riassumere un testo, riportare un'idea altrui senza indicare la fonte.

A questo punto è lecito porsi la domanda: è sempre necessario indicare la fonte? Se in uno scritto si riporta la frase: *nel mezzo del cammin di nostra vita ...*, è necessario, in questo caso, riportare la fonte? Vi sono delle frasi, dei concetti che sono entrati nella vita comune o che si trovano nei libri di testo scolastici, che possono essere considerati ovvi; in questi casi non è necessario citare la fonte. Se da chimico scrivo che fra due atomi esiste un legame covalente, non è necessario riportare il riferimento bibliografico relativo al legame covalente.

Un altro caso da considerare è quando ciò che si riporta non è stato consultato direttamente, ma è stato ricavato da una rassegna bibliografica o qualcosa di simile. In questo caso bisogna fare riferimento a entrambi gli autori, sia il riferimento bibliografico relativo a chi ha prodotto il dato o l'idea, sia quello della rassegna da cui si è ricavata l'informazione. A questo proposito, soprattutto nella vita comune, succede di citare qualcosa attribuendola, in buona fede, a chi quella citazione l'ha resa nota ai più. Due esempi, abbastanza conosciuti, mi vengono in mente. La prima frase è: *"A pensar male degli altri si fa peccato ma spesso ci si indovina"*; la frase è comunemente attribuita a Giulio Andreotti il quale, in realtà, non ne riconobbe mai la paternità che dovrebbe essere di papa Pio XI. La seconda frase è: *"I buoni artisti copiano i grandi artisti rubano"*; questa frase Steve Jobs l'attribuì a Picasso; in realtà lo stesso concetto è stato espresso, anche se in forma leggermente diversa, da molti altri [5].

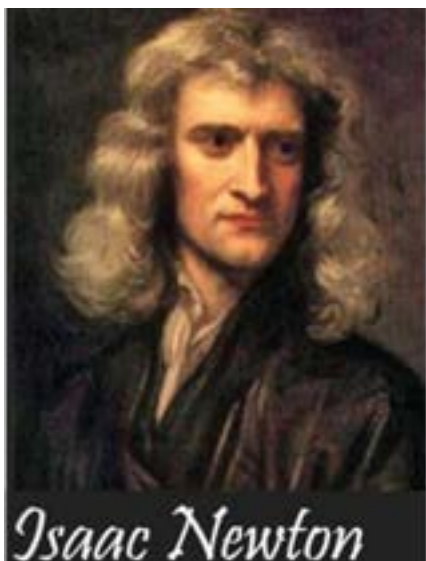
Un altro aspetto relativo al plagio che vorrei sottoporre e che ci dovrebbe far riflettere compare in una intervista rilasciata dal filosofo Gianni Vattimo in difesa di Umberto Galimberti accusato di plagio: *"... si scrive anche a distanza di anni dalla lettura"*; *"Il sapere umanistico è retorico"*; *"Capisco se fossimo scienziati in corsa per il premio Nobel"* [6]. Non sono d'accordo col fatto che regole diverse devono valere per i cultori delle scienze umane e per gli scienziati. Sono d'accordo sulla prima frase, nel senso che spesso si esprime un concetto dopo anni che si è letto qualcosa, si è persa la nozione che l'idea che si sta esprimendo non è originale, ma letta o ascoltata da qualche parte, metabolizzata, forse in qualche modo rielaborata e in tutta onestà fatta propria. A questo proposito è istruttiva la storia del legame a idrogeno [7].

La paternità del legame a idrogeno è attribuita a Wendel M. Latimer (1893-

1955) e Worth H. Rodebush (1887-1959); i due ricercatori nel 1920 scrivevano di un nucleo di idrogeno tenuto tra due ottetti e ciò costituiva un debole legame [8]. I due ricercatori nella loro pubblicazione in una nota a piè di pagina scrivono che Maurice L. Huggins (1897-1981), dottorando presso il loro stesso laboratorio, affermava che in alcuni composti organici l'atomo di idrogeno era tenuto tra due atomi. In realtà il primo a considerare la possibilità che un atomo di idrogeno potesse essere condiviso fra due atomi era stato Giuseppe Oddo (1865-1954), il quale nel 1907 scriveva "*... un atomo di idrogeno trovandosi vicino a due elementi polivalenti, possa dividere tra essi la sua valenza, assumendo posizione di equilibrio stabile mediana ...*" [9]. In realtà, a ben vedere, in questo caso, nessuno ha commesso plagio, nel senso che nessuno dei tre ricercatori statunitensi si è appropriato dell'idea spacciandola per propria. Ho ritenuto opportuno e importante riportare quanto sopra scritto per mostrare che è possibile che, senza dolo, un'idea già espressa da qualcuno possa essere attribuita a persona diversa. Nel caso precedente c'è anche da dire che purtroppo Oddo pubblicò la sua brillante idea in una rivista marginale e in una lingua poco conosciuta nel mondo scientifico.

### 3. "Plagi" storici

Una serie di casi storici, più o meno noti, hanno visto protagonisti illustri scienziati coinvolti spesso in aspre polemiche riguardanti la paternità di una idea. I personaggi, i fatti sotto riportati e tanti altri non riportati (ad esempio, vedi Meucci-Bell) sono, a mio parere, indice di quanto possa essere "subdolo" il reato di plagio.



Una disputa storica di grande interesse è quella che vide protagonisti Sir Isaac Newton (1642-1727) e Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). La disputa riguardava a quale dei due spettasse la priorità dell'idea del calcolo infinitesimale.



male, e fu combattuta in gran parte da insignificanti comprimari che circondavano i due grandi protagonisti. Tra questi comprimari si distinsero Nicolas Fatio de Duillier (1664-1753) e John Keill (1671-1721) che accusarono Leibnitz di plagio. Apparentemente, Newton, almeno inizialmente, non si mostrò coinvolto, ma probabilmente, anche tenendo conto che, come uomo, era considerato moralmente discutibile, crudele, vendicativo e altro ancora, sfruttò la carica di presidente della *Royal Society* per influenzare in suo favore la decisione della commissione, istituita da detta Società. Oggigiorno sembra acclarato che Newton fu il primo che sviluppò l'idea del calcolo infinitesimale (da lui detto metodo flussionale), ma Leibnitz fu il primo che lo pubblicò dandogli una struttura e una formulazione molto più evoluta [10].

Uno scontro differente dal precedente è quello che coinvolse due valenti scienziati come Sir Humphry Davy (1778-1829) e Michael Faraday (1791-1867). Faraday pubblicò un lavoro su un prototipo di motore elettromagnetico senza riconoscere i meriti del suo mentore Davy con cui aveva discusso di questa idea. Le rimostranze di Davy indussero Faraday a sospendere le ricerche in ambito elettromagnetico sino alla morte di Davy [11].

Nei libri di testo di chimica organica è riportato comunemente che la struttura ciclica del benzene fu proposta nel 1865 da Friedriche A. Kekulé von Stradonitz (1829-1896); in realtà, nello stesso anno e indipendentemente, il chimico scozzese Archibald S. Couper (1831-1892) pubblicò una struttura ciclica del benzene. Ma l'idea che composti organici potessero assumere una struttura ciclica non era assolutamente nuova; infatti, in un testo di Auguste Laurent (1807-1853), pubblicato postumo nel 1854, compare una struttura ciclica esagonale del cloruro di benzoile, mentre nel 1861, in un testo di Johann J. Loschmidt (1821-1895), sono riportate varie strutture cicliche e il residuo fenilico è rappresentato come ciclico. Quindi, l'idea di Kekulé non era assolutamente originale e, per di più, Kekulé era a conoscenza sia del testo di Laurent sia del lavoro di Loschmidt [12].

Un'altra disputa fra maestro e allievo è quella fra Philippe A. F. Barbier (1848-1922) e F. A. Victor Grignard (1871-1935). Barbier nel 1899 pubblicò la sintesi di un alcol terziario facendo reagire un chetone con ioduro di metile e magnesio; successivamente incaricò il suo allievo Grignard di migliorare la reazione. Grignard fece reagire in un primo tempo lo ioduro con il magnesio, ottenendo quello che oggi è conosciuto come reattivo di Grignard, e successivamente con il chetone. Grignard fu insignito del premio Nobel per la Chimica nel 1912 e, come scrisse a un amico, avrebbe preferito che gli fosse stato assegnato insieme a Barbier, riconoscendo così implicitamente il fondamentale contributo di quest'ultimo [13].

Di notevole interesse è la disputa che vide coinvolti nei primi anni '20 del secolo scorso Sir Robert Robinson (1866-1975), premio Nobel per la Chimica nel 1947, e Sir Christopher K. Ingold (1893-1970). La competizione riguardava

la spiegazione dell'effetto dei sostituenti sull'orientamento nella sostituzione elettrofila aromatica (SEAr). Ingold si rifaceva al modello di Bernard Fluerschheim (1874-1955) basato sull'idea delle valenze parziali, mentre Robinson sposava l'idea dello scozzese Arthur Lapworth (1872-1941) che all'estremità di una molecola esistessero polarità opposte. Bisogna notare che in quel periodo gli elettroni non avevano ancora fatto la loro comparsa nei ragionamenti dei chimici organici. Alla ricerca di un substrato opportuno che potesse dirimere la questione di quale modello fosse preferibile, Ingold studiò la nitratura della *N,N*-diacetilbenzilammina. Se questo substrato fosse stato nitrato in posizione *meta* l'idea di Fluerschheim sarebbe risultata quella corretta, viceversa si sarebbe dovuto accettare il modello sostenuto da Robinson. Ingold annunciò con grande enfasi l'ottenimento nei suoi laboratori del *meta* derivato. Robinson, convinto della giustezza della sua idea, che nel frattempo aveva adeguato alla struttura elettronica del benzene e riconsiderato in base ai flussi elettronici, ripeté l'esperimento, trovando che si ottenevano in modo prevalente gli isomeri *orto/para*; pertanto, la sua idea era quella corretta. L'aspra disputa terminò nel 1926 quando Ingold scrisse a Robinson annunciandogli che si era convinto della correttezza del suo modello. Robinson aveva vinto la disputa, tuttavia, la capacità di Ingold nel sistematizzare i dati, la sua chiarezza nello scrivere e trovare mezzi appropriati di comunicazione ebbero la meglio rispetto al linguaggio di Robinson più difficile da comprendere [14]. Tutto ciò ha avuto come risultato che il padre dei meccanismi di reazione e delle teorie elettroniche che li spiegano è da tutti considerato Ingold, autore del testo *Structure and Mechanism in Organic Chemistry* [15]. Concludo su questa controversia riportando la domanda retorica che si pose il premio Nobel per la Chimica Derek A. K. Barton (1918-1998): "*Perché Ingold non ricevette il premio Nobel?*" La risposta che lo stesso Barton dà è che Robinson si oppose fortemente e usò la sua influenza e le sue amicizie per impedire che a Ingold fosse dato il giusto riconoscimento per il suo eccezionale contributo all'affermarsi della chimica organica dei meccanismi di reazione [16].

Robinson da "vittima" a "carnefice". Nel 1947, Robert B. Woodward (1917-1979), premio Nobel per la Chimica nel 1965, e Robinson cenarono insieme in un ristorante di New York. Durante il pasto Woodward disse a Robinson di aver riflettuto sulla struttura della stricnina. Dal momento che Robinson aveva un gruppo di una quindicina di ricercatori concentrati su questo argomento, dovette ammettere che il problema era interessante. Woodward chiese a Robinson cosa pensasse della "sua" struttura della stricnina e disegnò sulla tovaglia di carta quella che era la sua idea. Robinson la guardò per un po' e affermò: "*Questa è spazzatura, una vera spazzatura!*" Così, da allora, Woodward la chiamò "formula della spazzatura" e fu davvero molto sorpreso nel vedere, un anno dopo su *Nature*, che questa era anche la formula dedotta alla fine da Robinson [16].

Gli studi sulla fissione nucleare dell'uranio erano iniziati a Berlino, negli anni '30 del XX secolo, e avevano coinvolto, fra gli altri, la fisica teorica Lisa Meitner (1878-1968) e il chimico Otto Hahn (1879-1868). L'ebrea Meitner, a seguito delle leggi razziali, fu costretta a emigrare in Svezia, ma anche da lì continuò a collaborare col gruppo in Germania. Hahn, che aveva assunto la direzione del gruppo, iniziò una campagna volta a dimostrare che la scoperta era essenzialmente chimica sminuendo il contributo degli altri e soprattutto della Meitner. Nel 1939, indipendentemente, pubblicarono risultati relativi alla disintegrazione dell'uranio con neutroni: la Meitner trattò l'aspetto teorico, Hahn riportò il risultato chimico [17].

Nel 1944 il premio Nobel per la Chimica fu assegnato a Hahn e nessuna menzione fu fatta circa il contributo della Meitner [18]. Il valore della Meitner come scienziata e il riconoscimento del suo contributo agli studi sulla fissione nucleare si possono desumere dal fatto che all'elemento con numero atomico 109 è stato dato il suo nome: Meitnerio (Mt).



Un ultimo esempio di plagio, nel senso di “furto” di dati altrui, è quello che riguarda James D. Watson (1928) e Francis Crick (1916-2004). I due pubblicarono su *Nature*, nel 1953, un articolo nel cui testo inserirono una figura con la struttura a doppia elica del DNA. Gli autori non diedero il minimo rilievo al lavoro del biochimico Erwin Chargaff (1905-2002), che nel 1950 aveva determinato per il DNA il rapporto 1:1 fra adenina e timina, e fra guanina e citosina, e non citarono neanche il lavoro di Rosalind Franklin (1920-1958) che aveva effettuato le misure ai raggi X del DNA. Le lastre relative a tali misure erano state mostrate, all'insaputa della Franklin, a Watson da Maurice H. F. Wilkins (1916-2004). La fotografia era la conferma dell'ipotesi della doppia elica che Watson e Crick avevano elaborato. Watson, Crick e Wilkins ebbero il Nobel per la medicina nel 1962 [19]. Nessun riconoscimento ebbe la Franklin che nel frattempo era deceduta.

## 4. Conclusione

Gli esempi riportati mostrano che tranne i casi di furto totale (Alsabti) o parziale (Hahn) del lavoro altrui, di appropriazione di un'idea altrui (Robinson), in altri casi possiamo parlare di rielaborazione in modo originale di dati altrui (Watson e Crick), o di valorizzazione di idee e/o di dati altrui (Liebnitz, Grignard, Ingold) per cui è difficile, a mio parere, parlare di plagio in senso stretto. Ritengo utile e istruttivo considerare ciò che diceva il premio Nobel per la Fisica Erwing Schrödinger (1887-1961): *“Il compito non è tanto di vedere ciò che nessun altro ha ancora visto, ma pensare ciò che nessun altro ha ancora pensato, riguardo a quello che chiunque vede.”* A tal proposito, in una lettera di Augusto Righi (1850-1920) a Emanuele Paternò (1847-1935), il primo dichiarava che la scoperta delle onde radio era sua, ma riconosceva a Guglielmo Marconi (1874-1937) l'intelligenza di aver saputo trarre l'applicazione pratica [20].

## Riferimenti

- [1] The European Code of Conduct for Research Integrity Revised Edition Published in Berlin, 2017, by ALLEA-All European Academies.
- [2] Ethical guidelines to publication of chemical research, J. Am. Chem. Soc., 1994, 116, 8A-10A.
- [3] N. Zingarelli, Vocabolario della lingua italiana, Zanichelli, Bologna, 1999.
- [4] W. J. Broad, Science, 1980, 208, 1438-1441.
- [5] P. Trellini, <https://www.ilpost.it/pierotrellini/2017/12/23/la-fra-se-sugli-artisti-rubano/>
- [6] Intervista di Pierluigi Panza, Corriere della Sera del 23/04/2008.
- [7] D. Quane, Bull. Hist. Chem., 1990, 7, 3-13; D. A. Smith, ACS Symposium Series; American Chemical Society, Washington, DC, 1994.
- [8] W. M. Latimer, W. H. Rodebush, J. Am. Chem. Soc., 1920, 42, 1419-1433.
- [9] G. Oddo, Gazzetta Chimica Italiana, 1907, 37, 83-105.
- [10] G. Cantelli, La disputa Leibnitz-Newton sull'analisi, Bollati Boringheri, Torino, 2006; C. Djerassi, Calcolo, Di Renzo Editore, Roma, 2006.
- [11] F. Bagnoli, R. Livi, Substantia, 2018, 2(1), 121-134.
- [12] J. I. Solov'ev, L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri, E. S. T. Mondadori, Milano, 1976, 233.
- [13] R. K. Dieringer, H. North, D. Lewis, Synform, 2018/10, A155-A159.
- [14] T. M. Brown, A. T. Dronsfield, P. J. T. Morris, Education in Chemistry, 2003, 40, 129-134, Traduzione di P. Mirone, CnS, 2004, 3, 78-82; M. D. Saltzman, J. Chem. Education, 1980, 57, 484-488; L. Cerruti, VIII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, Arezzo, 28-30 ottobre, 1999.

- [15] C. K. Ingold, *Structure and Mechanism in Organic Chemistry*, Cornell University Press, Ithaca, 1953.
- [16] D. H. R. Barton, *Bull. Hist. Chem.*, 1996, 19, 43-47.
- [17] O. Hahn, F. Strassmann, *Naturwissenschaften*, 1939, 27, 11-15; L. Meitner, O. R. Frisch, *Nature*, 1939, 143, 239-240.
- [18] R. L. Sime, *J. Chem. Education*, 1989, 66, 373-376, dalla Relazione presentata da G. Marino, al VII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, L'Aquila, 8-11 ottobre 1997.
- [19] L. Cerruti, *La Chimica e l'Industria*, 2003, 85, 59-64.
- [20] M. de Condé Paternò di Sessa, O. Paternò di Sessa (a cura di), Emanuele Paternò di Sessa. Dall'esilio alla fama scientifica, Gangemi Editore, Roma, 2018.

Giovanni Villani:  
*L'interpretazione chimica del vivente - Fondamenti  
sistemici delle scienze della vita*

Biblioteca CLUEB, 2023

Recensione di **Elena Ghibaudi**

Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino

e-mail: [elena.ghibaudi@unito.it](mailto:elena.ghibaudi@unito.it)

Ambizioso e stimolante: ci pare che questi due aggettivi riassumano il carattere del testo che Giovanni Villani ha appena dato alle stampe per la Biblioteca CLUEB. Ambizioso, perché l'autore esce dai confini degli interessi chimici per avventurarsi decisamente sul terreno della biologia, sostenendo la centralità della prospettiva chimica nell'esplorazione del fenomeno *vita*. Stimolante, perché è un invito a pensare il mondo biologico (e dunque anche noi stessi, in quanto organismi viventi) secondo categorie nuove, largamente ispirate dalla chimica entro una

prospettiva complessa (nel senso tecnico e non generico del termine).

Sin dalle prime righe, l'autore dichiara il carattere trans-disciplinare di questo testo, che intreccia concetti, teorie, storie e modalità di pensiero appartenenti ai distinti universi della chimica, della biologia, della biochimica, della fisica e delle rispettive filosofie disciplinari. Non per nulla il testo è inquadabile a tutti gli effetti come un'opera di filosofia della scienza. La (grande) domanda di fondo che lo ispira è: cosa differenzia la materia inanimata da quella animata?

La tesi sostenuta dall'autore è che sia possibile superare il tradizionale dualismo che separa (in termini più o meno radicali) mondo non vivente e mondo vivente,



adottando categorie esplicative derivanti dalla chimica, dalla termodinamica e dall'approccio sistemico alla realtà.

Fin da subito, al lettore viene chiarita la distinzione tra visione riduzionista, olistica e sistemica. Il riduzionismo si focalizza sullo studio delle componenti del sistema che è oggetto di indagine: pertanto esso adotta un approccio analitico, sia sul piano filosofico che metodologico e, di fatto, riduce ogni sistema alla mera somma delle sue parti. Sul piano diametralmente opposto, l'olismo riconduce tutto al concetto di totalità: il sistema è un tutto integrato e come tale va pensato e trattato. Contrariamente al riduzionismo, l'olismo non porta con sé lo sviluppo di uno specifico metodo di indagine; conseguentemente, i suoi contorni restano sfumati ed esso si configura come una prospettiva filosofica di indubbio valore, ma di modesta presa pratica. L'approccio sistemico - secondo l'accezione che Villani attribuisce a questa locuzione - ha il merito di superare questi due limiti attraverso l'assunzione del rapporto dialettico che si instaura tra le parti del sistema e il sistema inteso come un tutto unitario. Due sono gli assi portanti dell'approccio proposto da Villani: il concetto di sistema e quello di causalità complessa.

Inspirandosi alla vasta letteratura sul tema, l'autore specifica che un sistema va inteso come *"un insieme di elementi con interrelazioni specifiche e non lineari tra loro"* (p. 18). La sua identità non è univocamente definita dalle parti che lo compongono: ciò che lo istituisce come sistema è la sua *organizzazione* intesa come *"la configurazione delle relazioni tra le parti del sistema, tra il sistema nel suo insieme e le parti e, infine, tra le parti e il tutto"* (p. 18).

L'organizzazione del sistema comporta dunque una rete di relazioni che si sviluppano secondo tre direttrici: i) relazioni reciproche tra le parti del sistema stesso; ii) relazioni tra sistema inteso come un tutto e le sue parti costitutive; iii) relazioni tra le parti e il sistema inteso come un tutto. È proprio questa rete di relazioni circolari a configurare una data porzione di mondo materiale come sistema: *"È l'organizzazione che dà forma, nello spazio e nel tempo, ad una realtà nuova: il sistema"* (p. 19). Di conseguenza, il sistema non è decrittabile secondo una causalità lineare: a ciascuna delle tre direttrici sopra elencate deve corrispondere un diverso tipo di causalità: upward (o bottom up, ossia dalle parti verso il sistema), downward (o top down, ossia dal sistema verso le sue parti) e circolare (a indicare che un effetto può modificare la sua causa, divenendo causa della modifica della sua causa, com'è tipico dei meccanismi di retro-azione così comuni nei sistemi biologici).

Un sistema è dunque più, ma anche meno della somma delle sue parti: esso è infatti caratterizzato da proprietà emergenti, che derivano dall'interazione tra le parti e dunque *amplificano* il significato funzionale (e ontologico) del sistema stesso; d'altra parte, qualsiasi sistema è caratterizzato da vincoli che limitano gli stati possibili sia delle sue parti sia del sistema inteso come un tutto integrato.

Ciò distingue radicalmente il sistema dal semplice aggregato, in conseguenza delle relazioni causali che operano entro il sistema stesso.

Un ulteriore aspetto del sistema che viene evidenziato e approfonditamente discusso nel testo è la sua dinamicità, essenziale per comprendere gli organismi viventi, ma anche i sistemi reattivi oggetto della chimica. Al fine di comprendere questo aspetto, il sistema deve essere indagato in relazione all'ambiente nel quale è immerso. Ciò comporta un'ulteriore complessificazione della prospettiva di studio, che non si limita a considerare i due livelli (parti/tutto), ma implica tre distinti livelli interagenti fra loro (parti/tutto/ambiente).

Rifacendosi alla lezione di Morin, Villani ricorda che *“l'idea di sistema non è soltanto armonia, funzionalità, sintesi superiore; essa porta in sé, di necessità, la dissonanza, l'opposizione, l'antagonismo. Ogni sistema la cui organizzazione è attiva è in realtà un sistema in cui sono attivi degli antagonismi”* (p. 21). La relativa stabilità di un sistema dinamico nasce dunque da un disequilibrio che viene continuamente compensato.

Il concetto di ente dinamico del quale Villani si serve per discutere sia sistemi specificamente chimici (ad es. una molecola) sia sistemi biologici nelle loro diverse scale dimensionali e temporali (una cellula, una macromolecola biologica, un organismo, ecc.) è una proposta che tenta di superare la dicotomia ente/processo. Esso sembra rifarsi a un approccio filosofico di ispirazione eraclitea (*panta rei*), opportunamente aggiornato alla luce della visione scientifica odierna. Nell'universo nulla è statico e, dunque, l'identificazione e la definizione degli enti e dei processi di cui si occupa una disciplina o sotto-disciplina scientifica dipendono dall'intervallo spaziale (dimensionale), temporale ed energetico entro il quale ci si colloca. In quest'ottica, l'ente inteso come oggetto statico è una completa astrazione, quando non addirittura un'illusione: *“Il punto essenziale filosofico/scientifico è che non tutto si trasforma alla stessa velocità. È proprio la differente velocità di trasformazione delle diverse proprietà degli enti che ci permette di «creare» il concetto di ente, come oggetto statico e indipendente dal tempo. Le differenti velocità di trasformazione determinano la scala dei tempi che, con quella della dimensione e quella dell'energia, ci consentono di separare il «complesso» che si modifica in un «semplice» fatto di una parte statica e una sua dinamica di trasformazione”* (p. 12).

Un ente (ad es. una macromolecola proteica) è intrinsecamente *dinamico* nella misura in cui può modificare sia le proprie relazioni interne (ad es. la propria rete di legami secondari e quindi la sua conformazione), sia le proprie relazioni esterne (ad es. quelle che intrattiene con altri enti simili o con l'ambiente) senza perdere la propria identità. Il concetto di *ente dinamico*, secondo Villani, ingloba e concilia i concetti tradizionali di ente (definito staticamente) e quello di processo. Ciò ha evidenti conseguenze sia per la chimica (in quanto, per esempio, consente di ripensare la relazione tra atomo e molecola) sia per la biologia (in quanto, per esempio, consente di ripensare il concetto di organismo e quello di omeostasi).



Il vantaggio di tale prospettiva si spinge anche oltre: permette di mettere in luce una caratteristica che è tipica di enti di interesse chimico e biologico, distinguendoli nettamente dagli enti descritti dalla fisica. Ci riferiamo alla *individualità* degli enti e dunque ad aspetti *qualitativi*, che in chimica e in biologia sono ineludibili, ma che la fisica esclude in quanto non misurabili. Ecco che, nella sua proposizione di un approccio sistemico alla realtà, Villani tocca un argomento che solleva dibattiti importanti fra i filosofi della scienza e che contribuisce a differenziare la disciplina chimica e quella biologica da quella fisica, rimarcando l'indipendenza epistemologica delle diverse scienze.

A partire da questa 'attrezzatura concettuale', presentata nella parte iniziale del libro, l'autore conduce il lettore attraverso una lettura (e una rilettura) di enti, processi e problemi di interesse e pertinenza biologica e biochimica. Ci si avventura così in un viaggio attraverso il concetto di gene e il significato regolativo della modulazione della sua espressione, il rapporto tra strutturistica biologica e chimica supramolecolare, il metabolismo (qui preferenzialmente designato come chimismo cellulare), la sua regolazione dinamica, basata essenzialmente su meccanismi chimici, e le implicazioni di quest'ultima in termini adattativi, le problematiche relative alla trasmissione dell'informazione quando si passa da un organismo unicellulare ad organismi pluricellulari, l'epigenetica, la metagenomica, il concetto di superorganismo e di ecosistema, la biologia sintetica e i tentativi di fabbricare artificialmente la vita secondo approcci bottom-up o top-down.

Nei capitoli finali (VIII e IX) viene poi introdotta la prospettiva termodinamica, con ampio riferimento a Prigogine e alla termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio. Qui Villani precisa e discute le categorie di sistema aperto e chiuso, unitamente alla distinzione tra sistema all'equilibrio e sistema in stato stazionario dal punto di vista entropico. A pag. 160 si legge: "*Riassumendo, i sistemi aperti hanno tutti in comune le seguenti caratteristiche: la possibilità di non tendere a un massimo di entropia, il feedback, l'omeostasi, e una notevole equifinalità.*" L'autore ci offre una chiave di lettura a suo avviso decisiva ai fini del superamento della dicotomia tra mondo vivente e non vivente. I sistemi viventi sono sistemi aperti e presentano le proprietà sopraelencate. Ricorrere al concetto di sistema aperto implica il tener conto del ruolo dell'ambiente e della interazione sistema-ambiente, che agisce in modo bidirezionale e risulta imprescindibile ai fini della comprensione del meccanismo di funzionamento dei sistemi viventi. Questa visione si concilia anche con visioni del mondo biologico che privilegiano l'aspetto informazionale: un organismo può essere pensato come un sistema capace di processare informazione. In quest'ottica "*Il principio di feedback può essere riferito alle informazioni che sono introdotte nel sistema*" (p. 160). D'altra parte, secondo l'autore, queste caratteristiche non sono esclusive del mondo vivente: è possibile interpretare anche sistemi non viventi secondo un'ottica sistemica, che è intrinsecamente dinamica e che

tiene conto della relazione sistema-ambiente, dal momento che *“il sistema dispone di una rete di interazioni dinamiche interne, nonché di una rete di interazioni dinamiche con altre entità esterne presenti nell’ambiente e con l’ambiente in generale”* (p. 197).

In questa prospettiva, Villani sembra suggerire che l’utilizzo del concetto di ente dinamico (strutturato) e di sistema aperto, ossia attivamente interagente con l’ambiente, contribuisca a una migliore problematizzazione del fenomeno vita: *“Collegare la vita ad un set di stati di un sistema aperto con una specifica proprietà globale consente di superare sia la vita come singola proprietà emergente sia seguire la trasformazione del sistema e la perdita di questa proprietà”* (p. 112).

Come è possibile intuire da questa breve presentazione, il testo di Villani tocca un ampio spettro di problematiche, principalmente di natura biologica, utilizzando gli strumenti concettuali della chimica per formulare possibili percorsi di indagine e proporre una rilettura della distinzione tra mondo animato e inanimato al confine tra scienza e filosofia.

Il testo presenta molte riflessioni originali, che si estendono anche oltre la problematica biologica. Particolarmente interessanti le osservazioni relative alla diversa concettualizzazione delle trasformazioni della materia secondo la fisica e la chimica: *“La coppia concettuale trasformazione/transizione sintetizza la differenza tra l’approccio fisico e quello chimico, al problema concettuale delle reazioni”* (p. 15). Secondo Villani, laddove la fisica vede una transizione tra due stati di uno stesso sistema, la chimica individuerrebbe un passaggio da un sistema ad un altro.

Ugualmente stimolante la riflessione secondo la quale *“in chimica e in biologia, la scarsità di leggi specifiche è spesso supportata da un ruolo preponderante dei concetti. In base ad un’accezione radicalmente diversa del ruolo dei concetti in queste due discipline, essi possono diventare analoghi per forza euristica a leggi. L’indagine scientifica in queste discipline, infatti, usa questi oggetti concettuali come degli invarianti.”* (p. 31).

Ancora, in relazione alla diversa natura delle leggi fisiche rispetto a quelle chimiche, Villani sostiene che queste ultime *“riguardano la costituzione piuttosto che il comportamento degli enti materiali e tali leggi hanno un limitato valore euristico ed esplicativo. Non sono leggi di necessità, ma norme limitative”* (p. 29). Quanto alle leggi biologiche, egli segnala che in biologia non esistono leggi prescrittive, ma unicamente di tipo *proscrittivo*: *“vincoli d’impossibilità”* (p. 30); ciò segna una sostanziale distinzione tra la lettura del mondo naturale offerta dalla fisica e quella offerta dalla biologia.

Avviandoci alla conclusione, non possiamo non osservare che un testo di questa ricchezza si presta a robuste discussioni e non manca di sollevare questioni problematiche, considerata la rilevanza del tema di cui si occupa.

Sul piano concettuale, ci pare particolarmente interessante il discorso sulla

causalità complessa e sulla sua natura non lineare. Parlare di causalità in relazione agli organismi viventi comporta fare i conti con un *elefante nella stanza*: il finalismo. L'argomento è notoriamente spinoso, in quanto si tende a considerare la causalità finale come questione di pertinenza metafisica, quando non esplicitamente religiosa. E così, il finalismo in biologia viene generalmente taciuto in nome di un malinteso, che lo farebbe coincidere con concezioni religiose quali l'Intelligent Design. Di fatto, Villani ci ricorda che perfino Monod, nell'elencare le proprietà generali degli esseri viventi cita la teleonomia (p. 110). Altre grandi figure della biologia (ad es. Szent-Gyorgy) riconoscono questa necessità concettuale, in quanto - sono ancora parole di Monod - i viventi sono *oggetti dotati di un progetto* (p. 110) e, aggiungiamo noi, tutta la loro organizzazione è finalizzata al mantenimento di quello stato stazionario che chiamiamo omeostasi. Se guardiamo al pensiero filosofico, e in particolare ad Aristotele, notiamo che egli contempla quattro tipi di causalità, tra i quali la causa finale, senza attribuire a essa alcuna connotazione religiosa. Viene spontaneo chiedersi se la biologia non potrebbe trarre beneficio da un approccio più laico e meno timoroso rispetto alla questione della causalità, proprio ispirandosi alla lezione di Aristotele.

Sul piano più strettamente formale, notiamo che in vari punti del testo vengono utilizzati concetti che richiederebbero di essere definiti, in quanto suscettibili di varie interpretazioni. Ad esempio, il termine *complessità* e l'espressione *grado di complessità* (alquanto problematica!), così come il concetto di ordine, che riteniamo controverso in quanto antropomorfo.

Infine, un dettaglio tipografico: a pag. 150 e 157 è saltata la scrittura esponenziale di alcuni numeri. Così  $10^{13}$  è diventato un incongruo 1013, un  $10^7$  è diventato un 107.

La ricchezza di citazioni e riferimenti proposti dall'autore è un valore aggiunto di questo testo. Tuttavia, considerando che in più parti si rivendica la maggior potenza interpretativa della chimica nei confronti del fenomeno vita rispetto alla fisica, stupisce non trovare alcuni riferimenti ai lavori di chimici che si sono occupati di problematiche analoghe, in particolare per quanto riguarda l'origine chimica della vita e la caratterizzazione chimica degli organismi. Ci riferiamo ad autori quali Robert J. Williams e al suo concetto di *chemotipo* - anche in rapporto all'evoluzione biologica - o a testi più recenti quali *A world from dust*, di Ben McFarland, la cui visione potrebbe ben conciliarsi con quella esposta da Villani.

In conclusione, il lettore avvisato avrà reperito in questo testo molti riferimenti a precedenti opere dello stesso autore: quest'opera si configura come una stimolante *summa*, che offre una visione complessiva e unitaria della riflessione filosofica sviluppata negli anni da Villani. In particolare, troviamo in queste pagine un valido e interessante tentativo di *incarnare* la prospettiva complessa in un approccio scientifico che passa per la chimica, intesa come scienza intrinsecamente complessa.

La posizione di Villani rispetto ai fenomeni biologici è ben esplicitata nelle pagine conclusive del suo testo: *“La vita è la proprietà emergente che interconnette i piani chimici delle molecole e delle macromolecole alle funzioni globali che tali componenti, raggruppati e organizzati, svolgono in un altro piano, quello biologico. Non esiste, quindi, nella mia ottica nessuna nuova biologia da creare che sorpassi il piano molecolare e macromolecolare”* (p. 171).

La questione che Villani affronta in questo libro è filosofica, prima ancora che scientifica: l'*élan vital* di cui parlava Bergson è un epifenomeno, un'emergenza o un fenomeno di natura ontologicamente distinta dai meccanismi e dalle relazioni che lo rendono possibile? La risposta dell'autore va decisamente nella direzione della continuità tra mondo vivente e non vivente. Che si concordi o meno con questa posizione filosofica, la lettura del testo costituisce un intelligente stimolo alla riflessione per tutti coloro che subiscono il fascino di quel misterioso fenomeno che prende il nome di *vita*.

Da ultimo, non possiamo non sottolineare il potenziale didattico di questo libro: esso offre agli insegnanti molti strumenti atti a delineare gli intrecci esistenti tra la biologia, la chimica e la filosofia intorno al tema della vita intesa non solo come *zoé*, ma come *bios*. Così facendo, Villani ci suggerisce che è possibile ampliare lo sguardo su questo argomento, superando la tradizionale trattazione scolastica e aprendosi all'universo esistenziale degli allievi.

**Piero Angela:**  
***Dieci cose che ho imparato***  
Mondadori, 2022

Recensione di **Luigi Campanella**  
Università di Roma La Sapienza  
e-mail: [luigi.campanella@uniroma1.it](mailto:luigi.campanella@uniroma1.it)

Piero Angela ci ha lasciato un'eredità preziosa fatta di metodi e contenuti, di lavori a stampa e lavori in video, di tesi e di analisi. Di questa eredità fa parte il suo libro postumo "Dieci cose che ho imparato" (Editore Mondadori) che mi ha veramente appassionato.

Il punto di partenza è sempre quello a cui Piero Angela ci ha abituato: dobbiamo diffondere nelle nuove generazioni una mentalità scientifica. Angela cita l'esperienza venezuelana di un Ministero per lo Sviluppo dell'Intelligenza che impegna innanzitutto la scuola già a partire dalle classi della scuola materna. Questo sviluppo deve essere correlato di certo alla mentalità scientifica, ma va realizzato proponendo i temi più svariati attraverso i quali le migliori menti possono entrare nella scuola per seminare: dal debito pubblico alla produttività, dall'informazione all'ambiente, dall'energia alle prospettive demografiche, dal metodo scientifico alla pseudo scienza. Da qui il progetto che in 5 anni ha coinvolto su base volontaria 400 fra i migliori studenti torinesi. È fondamentale, scrive Piero Angela, insegnare ad affrontare i problemi tenendo conto delle varie connessioni e sapendo che c'è sempre un prezzo da pagare: i pro ed i contro - come si dice - sono sempre collegati e facce della stessa medaglia. Come è possibile, si chiede anche Angela, che un Paese come il nostro abbia perso le sue luci? La risposta si trova in 10 capitoli, 10 aree critiche, del libro.



## La notte dei Musei

**Luigi Campanella**

Università di Roma La Sapienza

e-mail: [luigi.campanella@uniroma1.it](mailto:luigi.campanella@uniroma1.it)

---

In occasione della Notte dei Musei è emersa una nuova realtà italiana, le case Museo. Si tratta di case, a volte ville, ma spesso semplici appartamenti che per la passione dei proprietari hanno assunto i connotati di Museo contribuendo così a conservare preziosi reperti. Nella storia del Museo i mecenati che



investivano proprie risorse in favore dell'arte, anche esposta, sono realtà di cui ancora oggi troviamo gli effetti positivi nella salvaguardia garantita a tesori del passato. Quello che rende eccezionali le Case Museo è la loro capacità di rappresentare la vita, le tradizioni e i valori non solo di chi ci abitava, ma anche della società in cui il padrone di casa viveva. Visitare una Casa Museo è un'esperienza affascinante. Tutto, in una Casa Museo, diventa parte del percorso espositivo: mobili, quadri, libri, oggetti di uso personale e quotidiano. L'Italia

ospita, da Nord a Sud, tantissime Case Museo, fra cui alcune appartenute a celebri ospiti stranieri che in Italia soggiornarono a lungo, innamorandosi del Bel Paese. Le Case Museo possono essere suddivise in varie tipologie, individuate dall'International Council of Museum (ICOM). La categoria più folta è quella delle "Case di uomini illustri", come la Casa Museo di Giovanni Pascoli a Castel Vecchio Pascoli, in Toscana, dimora dove il poeta compose molte delle sue opere, e le numerose Case Museo a Roma dedicate a personaggi illustri. A questo proposito ricordiamo quelle di Shelley, Goethe e Pirandello.

Il problema delle Case Museo è la gestione con il relativo carico economico che il privato spesso non può permettersi. Ecco, allora, che il decentramento della rete museale può rappresentare uno strumento che garantisce la loro esistenza. All'interno di queste realtà i Beni Ecclesiastici, che non devono essere intesi come limitati alle Chiese, hanno il merito di avere aperto la strada a una condivisione della bellezza che può partire dal privato, oltre che dal pubblico con conseguente crescita del livello culturale della società.



Per musei di casa in casa

## Diffusione della cultura chimica/eventi importanti

### Antonella Rossi

Dipartimento di Scienze Chimiche  
e Geologiche dell'Università di Cagliari  
e-mail: [rossi@unica.it](mailto:rossi@unica.it)

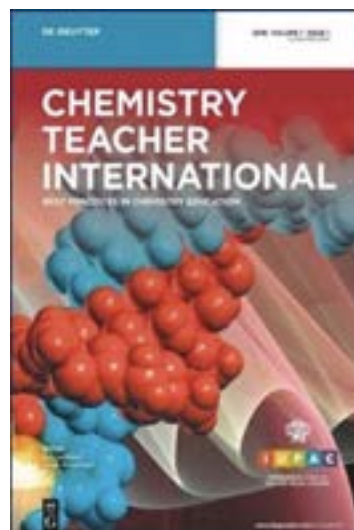
La rivista *Chemistry Teacher International (CTI)*, il cui editor-in-chief è Jan Apotheker, è stata lanciata nel 2019 con l'intenzione di colmare il divario tra i ricercatori e gli educatori chimici e di creare una piattaforma per tutte le attività IUPAC nel campo della Didattica Chimica (Chemical Education).

È una rivista peer-reviewed Open Access.

Il fattore di impatto della rivista è stato appena pubblicato e risulta pari a 1.5; è ottimo se si tiene conto del fatto che è il primo fattore di impatto.

Si invitano i ricercatori e i docenti a pubblicare su questa rivista articoli che descrivano buone pratiche e anche rassegne bibliografiche.

Esempi di rassegne bibliografiche e di articoli sono disponibili al seguente link: <https://www.degruyter.com/journal/key/cti/html?lang=en#overview>



Si ricorda anche a chi si interessa di Didattica Chimica il seguente Convegno ChemEd-Ireland 2023 che si terrà a Dublino:



21 October

“Green chemistry and the classroom”

Department of Chemistry, TCD  
[John.O'Donoghue@tcd.ie](mailto:John.O'Donoghue@tcd.ie)



## Due progetti per la scuola e per i cittadini

**Luigi Campanella**

Università di Roma La Sapienza

e-mail: [luigi.campanella@uniroma1.it](mailto:luigi.campanella@uniroma1.it)

---

Donor Hero è il progetto ideato da Fondazione Rete del Dono e Fundraiserperpassione, in partnership con l'Istituto Italiano Donazione, per sensibilizzare alla cultura del dono gli studenti della scuola primaria. Questo progetto interdisciplinare unico in Italia, come è emerso dalle Sharing Experience che si sono svolte durante l'anno scolastico, è pronto per essere adottato da tutte le scuole d'Italia per il prossimo anno scolastico. Donor Hero si dimostra un format capace di tracciare un binario per i docenti che vogliono portare la cultura del dono ai propri studenti, lasciando al contempo grande respiro alla possibilità di adattare il percorso al contesto della propria classe, della scuola e del territorio. La partecipazione delle classi può anche avvenire attraverso video che nel giorno del Dono, 4 ottobre di ogni anno, saranno in competizione al concorso DonareMiDona.



Anche quest'anno si è rinnovata la collaborazione tra WWF Urban Nature e ANMS, l'Associazione Nazionale dei Musei Scientifici, riproponendo nel fine settimana del 7 e 8 ottobre 2023 la "Urban Nature: la festa della natura in città". L'iniziativa promossa dal WWF Italia, alla sua VII edizione, ha l'obiettivo di evidenziare il valore della natura, di pianificare in modo nuovo gli spazi urbani e di promuovere azioni virtuose per proteggere e incrementare la biodiversità nei sistemi urbani, riconoscendo la centralità degli ecosistemi e delle reti ecologiche. Come nel 2022, anche l'edizione di quest'anno pone l'accento sul riconoscimento dei benefici psicofisici di adulti e minori e il servizio educativo che la Natura può offrire, coinvolgendo le scuole per le quali vengono predisposti appropriati bandi di concorso.

