

The Avogadro's number: explain it with a comic-strip!

Antonio Maiolino

Docente di Scienze Naturali del liceo "Vittorio Sereni", Luino (VA), Italy
Corresponding author: amaiolino@docenti.liceoluino.it

ABSTRACT

In the study of chemistry, Avogadro's Number, which defines the "mole", is key to understand phenomena and carrying out most exercises in the classroom. This article presents some thought experiments that make it possible to effectively visualise the unusual dimensions of the number. These experiments were accompanied in class by an imaginary narrative involving the students, who were then invited in groups to produce a comic strip using digital tools. The work of the different groups was analysed and then organised into a final product by some students who volunteered to develop the graphic parts and assemble the final product.

Keywords: Avogadro number; chemistry.

Received: May, 2023. *Accepted:* July, 2023

INTRODUZIONE E CONTESTO

Per diverse ragioni l'insegnamento delle materie scientifiche (Scienze naturali) nelle scuole superiori finisce spesso per essere una complicata sequenza di informazioni da memorizzare e collegare, spesso con evidenti difficoltà, informazioni che raramente si consolidano in modelli interpretativi del reale coerenti e funzionali.

In altre parole, ciò che si sedimenta negli anni sono ricordi quasi sempre superficiali e scollegati dei fenomeni studiati, soprattutto se si rincorrono gli ipertrofici programmi ministeriali che, nel liceo scientifico opzione scienze applicate, spaziano dall'astronomia al DNA ricombinante, passando per la chimica organica e inorganica. Tale mole di informazioni da gestire restringe in maniera drammatica lo spazio che è possibile dedicare alla sperimentazione e alla riflessione, spazio necessario perché si incida in modo significativo sulla comprensione dei contenuti.

Negli ultimi anni sono state proposte e diffuse numerose metodologie didattiche innovative legate alle discipline STEAM (Scienze, Tecnologia, Ingegneria, Arte, Matematica) che contemplan l'utilizzo educativo delle tecnologie finalizzate allo sviluppo di competenze creative, cognitive, relazionali ed emotive in una prospettiva di collaborazione, *soft skills* ritenute indispensabili in qualsiasi scenario professionale dei nostri tempi.

Le esperienze più efficaci di apprendimento delle scienze valorizzano il ragionamento collaborativo e creativo utilizzando gli strumenti tecnologici per facilitare l'interazione e la partecipazione di tutti gli studenti del gruppo, nonché la *feedback* immediato sul lavoro svolto.

Viviamo in un contesto in cui le informazioni non illuminano il mondo: l'entropia di dati in cui siamo immersi determina il fatto che in realtà non informino più, bensì, spesso, deformino. Come riportato da V. Smil nel libro *I numeri non mentono* [1] nel 2016 sono stati creati 10^{21} byte di informazioni che si prevede diverranno 10^{23} nel 2025. Di fatto ogni essere umano riceve una quantità di dati che supera di un paio di ordini di grandezza le pur notevoli capacità di rielaborazione del cervello (sovraccarico cognitivo).

Il sistema scolastico tradizionale tratta lo studente come un contenitore di nozioni plasmabile che l'insegnante ha il compito di modellare e riempire. Da questo punto di vista l'impresa è diventata paradossale: per quale ragione e a che prezzo, dal punto di vista sociale, lo studente medio dovrebbe selezionare e conservare a lungo l'irrisoria, rispetto a tutto il resto, percentuale di informazioni "scolastiche"?

In un recente sondaggio [2] svolto tra i docenti (un centinaio) e gli alunni (circa 1200) del liceo dove insegno circa l'80% degli intervistati ha dichiarato di ritenere necessario un cambiamento sostanziale della didattica, risultato per alcuni versi sorprendente che immagino derivi dalla percezione più o meno consapevole di quanto sostenuto in precedenza.

Tali contraddizioni oggi molto evidenti sono, dal mio punto di vista, presenti già da qualche decennio. Traendo ispirazione dal pensiero di Edgar Morin [3], Seymour Papert [4], Ken Robinson [5] e dalla didattica costruttivista [6] ritengo da sempre l'apprendimento un processo creativo che deve portare a modificare, arricchendola, la propria rappresentazione del mondo.

L'insegnamento delle scienze non può prescindere da questo obiettivo perseguibile con numerosi strumenti e strategie, ma che non può fare a meno della riflessione,



indispensabile per dare un senso ai dati e trasformare la conoscenza in comprensione.



Fig. 1 Sovraccarico cognitivo interpretato da C. M. alunna della classe 3C

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ¹

L'esperimento didattico è stato realizzato nell'anno scolastico 2021/22 in una classe seconda del Liceo Scientifico "Vittorio Sereni" di Luino (VA), un liceo inserito in un ambiente provinciale. La classe coinvolta, come spesso affermiamo noi insegnanti, "mostra capacità, interessi e personalità eterogenee" (e meno male): da questo punto di vista gli alunni partecipanti rientrano in una casistica standard di adolescenti liceali, in altre parole una classe tutt'altro che problematica, qualsiasi accezione del termine si voglia considerare.

Mi sono reso conto, negli anni, che uno dei limiti da superare per un efficace insegnamento delle STEAM risiede nella corretta interpretazione dei dati, ovvero delle misure associate e dei relativi ordini di grandezza.

Il linguaggio della scienza è fatto di numeri scaturiti da misure e dal mio punto di vista è necessario far riflettere i ragazzi sul significato profondo di alcune grandezze; il numero di Avogadro N è senz'altro una di queste per:

- importanza storica
- enorme dimensione del numero
- essere una delle unità di misura fondamentali del SI (mole)

L'ipotesi di Avogadro ha accompagnato lo sviluppo della chimica del XIX secolo, epoca in cui diversi illustri scienziati hanno messo in dubbio la reale esistenza degli atomi. È importante far notare come gli ordini di grandezza del numero di Avogadro che si ottenevano sperimentalmente (non lontani dal valore reale) fossero una delle cause di tali dubbi, in poche parole le dimensioni spropositate del numero generavano dubbi sull'esistenza di entità (atomi e molecole) incredibilmente piccole.

Acquisire consapevolezza delle dimensioni di N e di conseguenza delle particelle elementari di cui è costituita la materia è, infatti, tutt'altro che banale. Per ottenerla risultano efficaci alcuni esperimenti mentali (metodo che ritengo molto utile in vari contesti [7]) rispetto al numero di Avogadro ne esistono diversi, nella fattispecie sono stati utilizzati:

- la valutazione del tempo necessario al conteggio di una mole di atomi;
- la marcatura delle molecole d'acqua presenti in un bicchiere, molecole poi versate in mare e distribuite uniformemente in tutti gli oceani del pianeta.

Nel primo caso si tratta di effettuare una serie di semplici calcoli stimando il tempo necessario per contare fino a N ipotizzando una velocità di 10 numeri al secondo. Il primo risultato che si ottiene è lo stupore di arrivare solo fino a 315 milioni contando ininterrottamente, notte compresa, per un anno. Il risultato finale di $1,91 \cdot 10^{15}$ anni (un milione e novecento diecimila miliardi di anni) è comunque un numero ancora troppo grande per essere in qualche modo compreso dagli studenti (occorre farli riflettere sul passare del tempo, ad esempio, utilizzando strumenti visuali [8]).

Nel secondo caso l'esperimento mentale consiste nell'immaginare di marcare (ad esempio ricorrendo a degli isotopi) le molecole d'acqua presenti in un bicchiere (circa 10 moli) per poi versarle in mare e immaginare di mescolarle uniformemente con tutti gli oceani della Terra (è interessante far riflettere gli studenti su questo punto). Si stima quindi il volume complessivo dell'acqua presente negli oceani VOc (circa 1,38 miliardi di km^3 : si può cercare nel web, ma è utile arrivarci con una stima partendo dalla profondità media degli oceani e moltiplicandola per la superficie degli stessi) e si divide per il volume di un bicchiere Vb (180 cc) ottenendo così il numero di bicchieri d'acqua contenuti negli oceani $NbOc$. Si constata che il numero di molecole presenti in un bicchiere di 180 cc d'acqua (10 moli) è circa 785 volte più grande di $NbOc$. Di conseguenza, prelevando un bicchiere d'acqua oceanica in qualsiasi parte del globo troveremmo in media quasi 800 delle molecole d'acqua marcate in origine.

¹ Prima di procedere nella lettura, ritengo sia utile guardare il video e/o il fumetto prodotti utilizzando i link presenti in coda all'articolo.

Questo esperimento mentale risulta, in genere, più efficace del primo in quanto i numeri in gioco sono più facilmente visualizzabili e il percorso concettuale articolato, per essere compreso, costringe in qualche modo a una più profonda riflessione.

In questa occasione gli “esperimenti mentali” del conteggio e della marcatura sono stati inglobati in una narrazione che ha coinvolto gli studenti durante una normale ora di lezione. In pratica ho creato al momento una storia basata sugli esperimenti mentali citati in cui i protagonisti immaginari erano tre alunni della classe stessa.

La risposta ottenuta in termini di attenzione e curiosità mi ha indotto, nei giorni successivi, a creare un canovaccio del racconto con l’idea di proporlo ai ragazzi come trama di un fumetto da realizzare. La traccia inizialmente era questa:

“Un’alunna della classe (kappa) con la passione per i fumetti dipinge per noia le molecole di acqua presenti in un bicchiere impiegando un ENORME lasso di tempo; un’altra alunna (Canzonissima) le versa distrattamente nel lavandino; un terzo alunno (Franco B.) è coinvolto nel ripescaggio delle molecole disegnate da Kappa sparse in tutti gli oceani del globo.”

Su questa traccia gli alunni divisi in cinque gruppi sono stati invitati, lavorando in modo autonomo a casa, a produrre il fumetto arricchendo la storia di particolari e utilizzando *Canva* [9] come strumento per la realizzazione dello stesso. Dopo un mese circa abbiamo analizzato criticamente i prodotti dei diversi gruppi soffermandoci in particolare sugli aspetti creativi accettabili dal punto di vista scientifico.

Questa fase, dal mio punto di vista, è stata didatticamente la più importante in quanto ha permesso:

- di valorizzare la diversità e la creatività delle soluzioni proposte;
- un confronto (*debate*) sull’efficacia delle stesse;
- una riflessione sulle idee messe in campo e sulla loro efficacia comunicativa all’interno dei confini della conoscenza scientifica;
- una riflessione sull’importanza dell’immaginazione nella genesi delle idee (ipotesi) e su come queste si possano verificare nella realtà.



Fig. 2 Esempi delle tavole prodotte dai diversi gruppi

Nel frattempo le consuete verifiche basate su esercizi che per essere risolti richiedevano di padroneggiare il concetto di mole avevano dato risultati confortanti. Ovviamente non è stato possibile comparare questi risultati con quelli realizzabili utilizzando differenti strategie didattiche, ma ho ritenuto soddisfacente, in ogni caso, il fatto di avere ottenuto una percentuale di valutazioni positive superiore di circa il 10% rispetto a quelle raggiunte da altre classi in due anni scolastici precedenti.

Tutto ciò, considerata anche la varietà degli spunti emersi, mi ha indotto a proporre agli studenti di assemblare collettivamente i lavori svolti in un prodotto finale, realizzato concretamente da un gruppo di alunne su base volontaria.



Fig. 3 Le alunne responsabili della fase finale

In un primo momento ho provveduto a riscrivere la sceneggiatura integrandola e arricchendola con ciò che era emerso nella fase di analisi e discussione collettiva, inserendo fra le altre cose alcuni riferimenti al libro di Douglas Adams *Guida galattica per gli autostoppisti* [10] che avevo citato nella parte relativa al rapimento da parte degli alieni.

In due incontri pomeridiani si è discussa ulteriormente la trama definendo compiti e tempi per la realizzazione del video/fumetto. Un’alunna ha creato tutti i disegni, le altre hanno colorato gli stessi e prodotto la versione video. I disegni sono stati realizzati con una tavoletta grafica, il

montaggio del video e del fumetto con la piattaforma gratuita *Canva*.

RISULTATI

Si possono sintetizzare i risultati attesi nel seguente schema:

Finalità generali e obiettivi di apprendimento:

- stimolare la fase riflessiva rispetto alla semplice acquisizione del dato informativo;
- incentivare la creatività;
- usare l'immaginazione come strumento di apprendimento;
- sperimentare l'efficacia del lavoro di gruppo e dello spirito collaborativo;
- sperimentare il piacere che si prova nell'esprimere la creatività.

Al riguardo è stata effettuata una valutazione in itinere relativamente al processo, alla modalità del lavoro di gruppo e alla capacità di interazione degli studenti.

Tale valutazione si è basata sull'esposizione del lavoro realizzato, ponendo agli alunni (e facendo porre dai compagni) domande relative alle scelte fatte e agli elementi narrativi proposti. In pratica si sono raccolte delle micro valutazioni su diversi aspetti dell'attività svolta che, inserite in un foglio di calcolo realizzato ad hoc, hanno contribuito all'assegnazione di un voto individuale.

Nonostante la giovane età, o forse grazie ad essa, si è osservato un entusiasmo contagioso nella fase di costruzione della storia (i tre alunni coinvolti come *attori* nella narrazione sono stati scelti casualmente). La fase di analisi e critica dei prodotti realizzati dai diversi gruppi è stata caratterizzata da un vivace dibattito a cui hanno partecipato attivamente quasi tutti i ragazzi. Il prodotto finale condiviso è stato oggetto di ulteriori analisi e commenti da parte degli studenti.

A distanza di un anno, utilizzando come spunto una mia filastrocca sulla mole, si è potuto verificare quanto il ricordo del racconto sia ancora vivo negli studenti e, soprattutto, quanto lo siano la consapevolezza delle dimensioni del numero, dei concetti scientifici presenti nei vari momenti del racconto e dei metodi che si possono utilizzare per stimare l'ordine di grandezza di una mole.

La filastrocca recita:

*Dovrebbe stare
come un quadro sospeso
il Numero di Avogadro
in ogni aula appeso.
Sei e qualcosa
per dieci alla ventitré
prova a rifletterci
per un attimo da te.*

*È un numero importante
comunque lo si prenda
per i chimici l'essenza
diciamo pure una leggenda.
La sostanza delle cose
con la mole si misura
se le quantità vuoi usare
devi averne giusta cura.
Ti permette di sapere
non potendo farne a meno
le masse da utilizzare
e quelle che otterremo.
Bilanciando le reazioni
senza fare errori
con le formule e le moli
sono tutte rose e fiori.
Come disse Paracelso
per un chimico si sa
ciò che conta alfine
sono solo le quantità.*

Dopo averla mostrata sulla lavagna, ho chiesto agli alunni di interpretarla utilizzando al massimo 80 parole e proponendo loro una sfida con l'analisi generata da *ChatGpt* (versione 3.5).

Allo scopo ho lasciato un'ora a disposizione della classe divisa in piccoli gruppi e, in seguito, ho chiesto loro di confrontarsi per arrivare a una sorta di documento comune che riassume quanto emerso dal confronto.

Con profonda soddisfazione mia e degli alunni ho potuto constatare che l'analisi di *ChatGpt* [11] pur sorprendente e sintatticamente corretta risultava troppo didascalica e meno ricca di significati rispetto a quella proposta dai ragazzi. In altre parole, l'impressione era quella che la classe nel suo complesso avesse compreso più a fondo il significato della poesia rispetto all'AI.

Dando per scontato che l'attuale livello dell'AI non possiede nessuna forma di coscienza e quindi propone risultati automatici su base statistica, è stato interessante far riflettere i ragazzi su cosa significhi effettivamente "conoscere" analizzando le differenze tra la loro interpretazione della poesia e quella prodotta dall'AI. In particolare, pur ammettendo difficoltà non facilmente superabili, è emersa da parte degli alunni la consapevolezza dell'importanza di sapere utilizzare le conoscenze acquisite per decifrare i fenomeni naturali e individuare le relazioni fra gli stessi.

CONCLUSIONI

La realizzazione del fumetto sul numero di Avogadro ha di fatto permesso di utilizzare tutte le "4 C" individuate come competenze chiave nell'istruzione del 21° secolo: *creatività, collaborazione, pensiero critico e comunicazione* [12].

Si è potuto verificare il fatto che l'apprendimento a partire da specifiche doti, talenti e interessi degli studenti risulta in media più profondo, coinvolgente e organico.

È stato sorprendente valutare il grado di soddisfazione che la maggior parte degli alunni ha raggiunto nell'esprimere la propria creatività e il conseguente impegno profuso nel manifestarla.

Devo comunque confessare che, per quanto mi riguarda, lo scopo principale, al di là dell'aspetto emotivo-relazionale, è stato quello di costringere gli alunni alla riflessione su un concetto solitamente assorbito come semplice dato, ma che, una volta fatto proprio, apre le porte a una rappresentazione del mondo atomico più profonda e realistica.

[9] [LINK](#)

[10] Douglas Adams, *Guida galattica per gli autostoppisti*, Milano, Mondadori, 1979.

[11] *Interpretazione della poesia di ChatGpt utilizzando al massimo 80 parole:*

La poesia sottolinea l'importanza del Numero di Avogadro nella chimica, proponendo di collocarlo come un'opera d'arte nelle aule. Esprime la grandezza del numero e la sua centralità per i chimici, definendolo una leggenda. Descrive come la misurazione delle quantità attraverso la mole sia cruciale per l'uso corretto delle sostanze. La poesia esalta il valore del bilanciamento delle reazioni e l'utilizzo delle formule e delle moli nella chimica, citando Paracelso e affermando che ciò che conta sono solo le quantità.

[12] [LINK](#)

MATERIALI UTILIZZATI

Sono stati utilizzati: tavolette grafiche, Canva, Google Classroom, Google Meet e un'apposita chat per gestire le varie fasi della produzione.

Le metodologie didattiche coinvolte nelle diverse fasi sono state lo storytelling, il *cooperative learning* e il *team building*.

LINK AI PRODOTTI REALIZZATI

Di seguito i link ai prodotti finali, video e fumetto.

Video: [LINK](#)

Fumetto: [LINK](#)

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano tutti gli studenti della 2C 2021/22 del Liceo Scientifico "V. Sereni" di Luino e in particolare M. Chiappa (kappa), G. Orzelleca (Orzi), A. Canzoniere (Canzonissima), N. Nardone e L. Formentini.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] Vaclav Smil, *I numeri non mentono - Brevi storie per capire il mondo*, Torino, Einaudi, 2021.

[2] [LINK](#)

[3] Edgar Morin, *I sette saperi necessari all'educazione del futuro*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2001; Id., *La testa ben fatta. Riforma dell'insegnamento e riforma del pensiero*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 1999; Id., *Insegnare a vivere. Manifesto per cambiare l'educazione*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2015.

[4] https://it.wikipedia.org/wiki/Seymour_Papert

[5] [LINK](#)

[6] Anna Carletti - Andrea Varani, *Didattica costruttivista. Dalle teorie alla pratica in classe*, Trento, Erickson, 2004.

[7] <https://journals.openedition.org/estetica/1830>

[8] <https://theuselessweb.site/hereistoday/>