

## ***INSEGNARE DISCIPLINE STEM*** **COMPLESSITÀ E STORIA DELLA SCIENZA**

*di Maria Cristina Speciani \**

*Una questione di metodo. Per insegnare a conoscere il mondo serve ancora la storia della scienza? Soprattutto nelle discipline STEM i percorsi storici danno senso alle conoscenze attuali del complesso mondo della Natura.*

*\* Giornalista scientifico, già docente di Scienze Naturali nei licei, membro della redazione di Emmeciquadro*

In molti modi, e a tutti i livelli di scolarità, come accompagnare i ragazzi a incontrare il mondo della Natura, una realtà ad alto grado di complessità? Le discipline STEM sono una occasione preziosa per conoscere oggetti e fenomeni delle scienze sperimentali, ma occorre scegliere un approccio coerente con la scienza e con la sua storia. In questo contributo, che riguarda soprattutto la secondaria di secondo grado e - come anello fondamentale di passaggio la secondaria di primo grado - si mostra come il significato di una scoperta - di una conoscenza - si comprenda solo alla luce della storia che l'ha generata. Perciò, ancora una volta, la complessità del mondo chiede uno sguardo approfondito, che tenga conto della attualità, delle prospettive, ma anche e soprattutto della storia.



*Tromba d'aria sul Golfo Paradiso:  
un fenomeno da studiare con attenzione alla complessità*

### **Il metodo del «fare scienza» come aiuto reale alla didattica delle discipline scientifiche**

Sul [numero 91](#) di questa rivista ho mostrato come la complessità del mondo chieda una didattica ricorsiva, controcorrente ma efficace rispetto alla semplifi-

cazione che spesso snatura e altera l'informazione. Ho documentato, attraverso esempi riferiti al campo biologico e con particolare attenzione alla scuola primaria, che si può incontrare la realtà come si presenta, con gli aspetti di complessità che a volte ne rendono difficile la conoscenza, facendo riferimento al modo di insegnare le scienze che ai gruppi di ricerca *Educare Insegnando* promossi dalla Associazione "Il rischio educativo" abbiamo chiamato «fare scienza a scuola» e che ha generato percorsi da anni pubblicati su questa rivista.

Senza ripetere le riflessioni sul concetto di complessità già presentate, ricordo solo che oggi la conoscenza scientifica, in particolare quella che riguarda i sistemi viventi, deve fare i conti con la complessità e che la scienza della complessità - insieme di teorizzazioni matematiche, informatiche e scientifiche - si contrappone alla tradizionale tendenza a ridurre il complesso al semplice. E tanto più occorre tenere presente questo dato di realtà nella fase di insegnamento/apprendimento.

Si può dire di più. Lilia Alberghina, che per dieci anni ha diretto SYSBIO, il Centro di *Systems Biology* alla Università di Milano-Bicocca, in un interessante saggio<sup>1</sup>, sostiene che i dati sperimentali e le interpretazioni scientifiche della *Systems Biology* impongono un cambio di paradigma per lo sviluppo scientifico, tecnologico e culturale del futuro. Dalla metà del secolo scorso, dopo la scoperta della doppia elica, i risultati scientifici sono stati interpretati secondo una «visione DNA-centrica che riconduce, sostanzialmente, alla sola informazione genetica la radice dell'enorme complessità molecolare e organizzativa di cellule ed organismi». Invece, la complessità biologica chiede il passaggio «dalla biologia molecolare, studio riduzionistico di componenti cellulari, alla *Systems Biology*, studio integrato e predittivo delle funzioni biologiche complesse». Oggi le scoperte più promettenti riguardano lo stato metabolico delle cellule, grazie «all'incrocio di analisi molecolari raffinate con metodi computazionali [...]». Anche di queste considerazioni sarà opportuno tenere conto mentre si svolge l'attività didattica.

Se insegnare una disciplina scientifica è - come ho sperimentato lungamente sul campo - accompagnare gli studenti a incontrare il mondo della Natura, le chiavi dell'azione sono almeno due: la struttura della scienza e la maturazione della persona. Infatti, proprio attraverso i contenuti scientifici e i procedimenti disciplinari specifici delle scienze naturali si può imparare a utilizzare la ragione per conoscere, per comprendere il rapporto uomo-natura<sup>2</sup>.

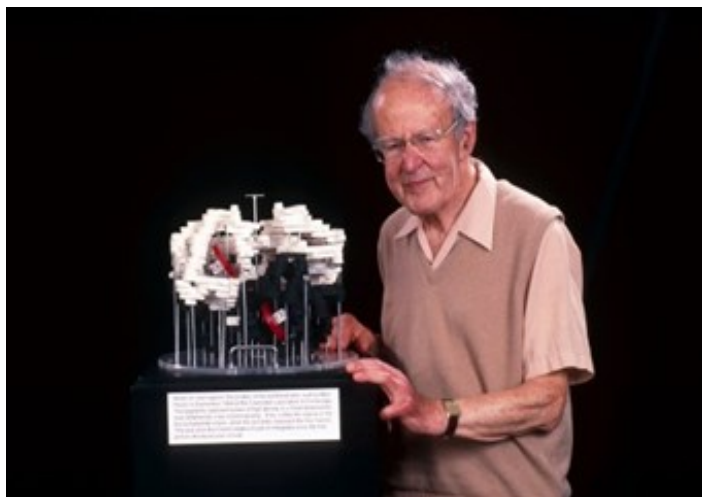
In un mondo che, per affrontare la complessità, propone continuamente nuovi modelli e strategie didattiche bisogna avere alcuni riferimenti chiari. Anzitutto che è possibile attuare, nella scuola, un'esperienza di conoscenza della realtà naturale secondo metodi e linguaggi propri della scienza. Poi che occorre procedere con gradualità, rispettando la capacità di comprensione degli studenti, pena il ricorso a un apprendimento puramente mnemonico, privo di significato.

In termini più operativi, si tratta di «fare scienza», cioè di acquisire dei contenuti specifici, le scoperte compiute dalla ricerca sperimentale in vari campi, in modo che diventino patrimonio personale sia di tipo informativo/culturale sia come atteggiamento di fronte alla realtà. Anche di fronte a fenomeni complessi, e soprattutto se consideriamo le fasi di sviluppo dei ragazzi durante la scuola secondaria, è assolutamente necessario garantire la comprensione dei contenuti di volta in volta studiati, perciò occorre avere chiari i criteri per strutturare i possibili percorsi conoscitivi, e avere il coraggio di applicarli, anche se sono controcorrente<sup>3</sup>.

In realtà, le «metodologie didattiche innovative» proposte in questi anni scelgono altre strade. Sono le tecniche e strategie consigliate nelle *Linee guida* del Ministero per le discipline STEM, cui ho già accennato. Sono le soft skills: per esempio l'apertura mentale, la capacità di collaborare, la resistenza allo stress,

eccetera, le competenze trasversali non cognitive che sembrano necessarie per scoprire le relazioni tra le persone e imparare efficacemente. E come non ricordare, infine, la varietà di «apparati didattici accessori» che correda i libri di testo disciplinari: mappe concettuali, esercizi CLIL, tabella delle competenze e quant'altro cui si presta spesso più attenzione di quella data ai testi o ai percorsi.

La mia proposta, controcorrente, è che ogni fenomeno, ogni concetto, ogni informazione sia presentata partendo dal cammino di scoperta dipanatosi lungo la storia o almeno facendo riferimento a esso. Come intendo mostrare segnalando alcuni esempi di percorsi realizzati, la dimensione storica rende conoscenza l'informazione perché permette di cogliere gli aspetti particolari man mano identificati dagli scienziati, i dettagli e le scoperte che hanno creato e via via modificato modelli e teorie. È una chiave che fin dal suo inizio la rivista *Emmeciquadro* ha rivendicato come fondamentale nella didattica e in qualsiasi acquisizione culturale. Lo testimoniano gli articoli di didattica [*Scienza e scuola*] cui rimando in appendice a questo contributo, ma anche il prezioso materiale pubblicato nella sezione *Scienza e storia* e consultabile nello *Speciale Uomini di scienza*, le interviste a *scienziati* particolarmente significativi (per esempio Max Perutz, 1914-2002, nell'immagine a fianco), la raccolta di commenti autorevoli sulle *scoperte* di medicina/fisiologia, fisica e chimica premiate con i Nobel dal 1998 a oggi.



«Quanto all'inserimento della storia della scienza nella didattica di ogni giorno, nulla di più lineare e di più affascinante. Perché non parlare della composizione dei moti cominciando dal famoso esempio di Galileo sulle mosche che volano avanti e indietro nella stiva di una nave? Perché non introdurre il concetto di elemento chimico riassumendo la critica di Boyle al concetto alchemico di elemento e raccontando come Lavoisier risolse il problema? Perché non spiegare che cos'è il campo elettromagnetico raccontando gli esperimenti e le teorie di Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Hertz e altri? Perché non parlare di microbiologia cominciando da Francesco Redi, che nel 1668 sfatò il mito secondo cui le mosche nascevano spontaneamente dalla carne, o raccontando come Pasteur fu condotto a scoprire i vaccini?»<sup>4</sup>

### Le discipline STEM: libri di testo e scelte didattiche

In questo contributo faccio riferimento ad alcune scelte didattiche ricorrenti - alla secondaria di primo e secondo grado - nelle discipline STEM che più conosco (biologia, chimica, geologia) che, a mio parere, negano la complessità degli argomenti oggetto di studio e hanno una ricaduta molto negativa sull'apprendimento, soprattutto perché tolgono agli studenti il gusto di scoprire.

Tengo anche presente che la normativa ministeriale di riferimento, oltre le Linee guida del Ministero per le discipline STEM (2023) anche le Indicazioni Nazionali per i licei (2010) e le Indicazioni Nazionali per le scuole del primo ciclo (2025), invita esplicitamente a contestualizzare storicamente i contenuti disciplinari e a «potenziare una didattica basata su esperimenti e attività di laboratorio».

Non ricordo libri di testo che corrispondano a questi suggerimenti.

Dagli anni Settanta del secolo scorso si sono moltiplicate, nell'editoria scolastica, traduzioni di testi americani (il famoso B.S.C.S. versione blu è uscito per Zanichelli nel 1966) più o meno adattati alla cultura italiana. Oggi purtroppo l'adattamento si esaurisce nell'espansione dei contenuti su siti appositamente creati in rete e nel moltiplicarsi di apparati accessori sul cartaceo.

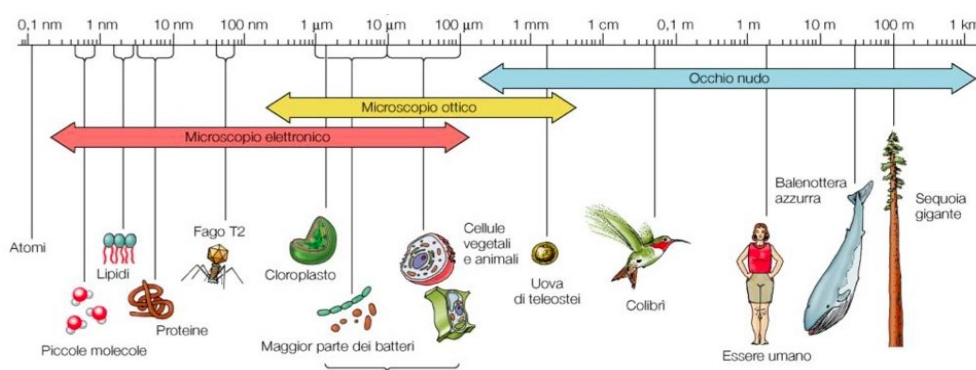
Quindi, rispetto alla complessità, non si tratta di semplificazione che, anzi, le informazioni fornite sono abbondanti, ma di scelte strutturali - nello sviluppo degli argomenti, ma anche nella successione dei capitoli - che risultano determinanti nella didattica. L'importante è dire tutto, ma il risultato è un elenco frammentario di informazioni privo di chiavi di lettura che diano senso alla conoscenza.

Come può orientarsi uno studente?

Come può un insegnante costruire un proprio percorso diverso da quello contenuto nel libro adottato?

*I livelli di organizzazione della materia: micro e macro*

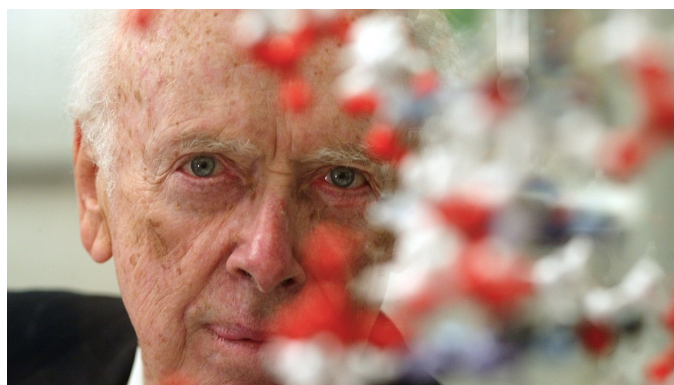
Sembra una regola, anche se non è scritta: la conoscenza del mondo deve partire dal più basso livello di organizzazione della materia, secondo schemi come quello a lato. Certamente, gli «oggetti» che si possono studiare a queste dimensioni sono invisibili, non se ne può fare esperienza diretta, come sarebbe consigliato per la scuola secondaria di primo grado e per il primo biennio della secondaria di secondo grado.



Tuttavia, il percorso concettuale che gli esperti chiamano «dal micro al macro», prevale su qualsiasi altra motivazione: quasi tutti i testi della secondaria, sia di chimica sia di biologia, presentano in apertura la struttura dell'atomo. Ovviamente una serie di affermazioni, di definizioni e di termini da mandare a memoria, perché la comprensione della struttura atomica, scandita dallo sviluppo storico della fisica (modelli), chiede conoscenze avanzate, non adeguate all'età dei ragazzi interessati. I corsi di biologia - già alla secondaria di primo grado - hanno come tema irrinunciabile la struttura chimica del DNA. I ragazzini imparano a memoria i termini specifici - fosfato, desossiribosio, timina, adenina ... senza avere neppure la possibilità di coglierne il significato molecolare. A questo scopo non serve neppure il mini-corso di chimica organica condensato in poche pagine, che molti insegnanti propongono - convinti che la scienza della vita si costruisca solo a partire dalla biochimica e, evidentemente, poco informati sulla storia della biologia. In ogni caso, sono rarissimi gli accenni all'entusiasmante percorso sperimentale che ha portato il mondo scientifico della prima metà del Novecento alla scoperta della doppia elica, una storia densa di avvenimenti che hanno portato allo sviluppo delle biotecnologie e hanno preparato la strada alle terapie geniche<sup>5</sup>.

Quanti insegnanti/ragazzi hanno registrato che è recentemente scomparso James Watson (1928-2025, nella foto a lato)?

La prassi diffusa di circoscrivere la didattica della biologia ai contenuti di tipo molecolare - DNA e dintorni - censura la ricchezza di esperienza e di specializzazione del metodo che si ritrova lungo la storia delle principali scoperte sui viventi e sul loro mondo. Per questo, soprattutto in riferimento alla secondaria di primo grado, vale la pena di scoprire quanto si può imparare della scienza anche restando al livello di organizzazione cellulare, per esempio ripercorrendo i passi di ricercatori come Francesco Redi (1626-1697), Lazzaro Spallanzani (1729-1799), Louis Pasteur (1822-1895) che sta-



biliscono i fondamenti della scienza della vita utilizzando in modo rigoroso il metodo sperimentale<sup>6</sup>.

Purtroppo, l'approccio che assegna un'importanza assoluta al livello di organizzazione molecolare elimina la complessità: la struttura chimico-fisica del DNA è un dato oggettivo e sperimentale, ma non dà indicazioni sul significato informativo della molecola, trasmettere informazioni all'interno del vivente, nel rapporto col mondo circostante e di generazione in generazione. Perché «un oggetto complesso ha una informazione che non è la semplice somma delle informazioni dei componenti (come sarebbe per un mucchio di sassi) in quanto c'è in più una mutua informazione scambiata tra i componenti che non esisteva quando erano isolati»<sup>7</sup>. Analogamente, conoscere in estremo dettaglio i meccanismi dei processi di mitosi e meiosi non aiuta a comprenderne il senso, la modalità con cui questi eventi determinano il ciclo vitale di un organismo e l'alternanza di generazioni («la gamia richiede necessariamente la meiosi») con conseguenze evolutive fondamentali nella sistematica dei viventi.

*Gregor Mendel: caratteri, cromosomi, geni in mix*

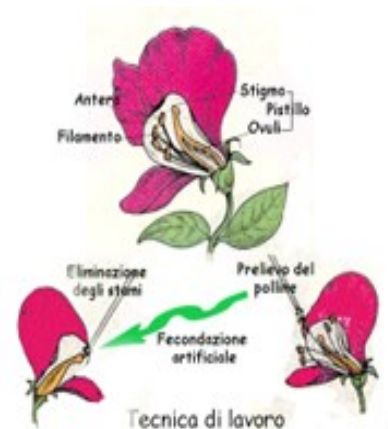
La genetica è uno dei grandi temi previsti nelle Indicazioni Nazionali di Scienze in tutti i livelli di scuola. Ma raramente la didattica rispetta la dimensione sperimentale e storica della disciplina: in una curiosa confusione - sicuramente temporale - il lavoro di Mendel è descritto in termini piuttosto sommari e, generalmente, i suoi risultati sono enunciati da subito come «leggi» mettendo in campo i geni, gli alleli, la divisione meiotica eccetera. Ma la questione non è solo cronologica: gli esperimenti di Mendel hanno portato una rivoluzione nello studio della «trasmissione dei caratteri»; solo all'inizio del Novecento, dopo la scoperta che durante la formazione dei gameti si dimezza il numero dei cromosomi i risultati di Mendel sono riletti e viene formulata la «teoria cromosomica dell'ereditarietà» e infine, solo dopo il 1910 (studi su *Drosophila*), quando il mondo scientifico concentra le sue ricerche soprattutto sulla natura del gene e sulla disposizione dei geni sul cromosoma si arriva all'ultima formulazione delle leggi<sup>8</sup>.

Un percorso di questo tipo, adeguatamente documentato dagli articoli in nota, rispetta il cammino sperimentale e mette in moto la ragione. Può essere utile a chi insegna alla scuola primaria per scegliere informazioni comprensibili, per esempio cosa è un carattere ereditario e come lavorava Mendel con i fiori di pisello, da sviluppare come introduzione a una ripresa alla secondaria.

Ed è proponibile anche alla secondaria di I grado perché non aumenta le difficoltà di comprensione, ma dà significato a informazioni complesse che, altrimenti, sarebbero solo memorizzate.



Tra l'altro, verso la fine della secondaria di I grado, proprio in genetica si possono strutturare attività sperimentali che ripropongono il metodo statistico usato in termini «rivoluzionari» da Gregor Mendel nei suoi studi sui piselli. Per esempio la conta dei caratteri diversi (colore nero, colore giallo) nei semi di mais ottenuti da incroci tra due ibridi di F1 a semi neri, è il primo passo per riconoscere le leggi di Mendel, e riproporre nella loro formulazione originale<sup>9</sup>.



*Osservazione ipotesi/teorie modelli: una discreta confusione nel percorso sperimentale*

È sempre interessante e produttivo, oltre che consigliato dalle Indicazioni ministeriali, valorizzare, nell'attività didattica, gli aspetti sperimentali. Da una parte svolgendo regolarmente attività di laboratorio (irrinunciabili nella didattica perché momenti paradigmatici della ricerca scientifica), dall'altra ripercorrendo - con riferimenti sperimentali, racconti, biografie e commenti - i passi che hanno portato gli scienziati alle più importanti scoperte.

È un percorso di conoscenza in cui si intrecciano osservazione, ipotesi/teorie, modelli ma soprattutto in cui uno studente - in particolare alla secondaria di II grado, può comprendere che le teorie si formulano interpretando i risultati di esperimenti e si confermano fino a quando riescono a spiegare i dati sperimentali raccolti nel tempo<sup>10</sup>.

In ambito chimico un percorso di questo tipo è evidentissimo alla nascita della scienza chimica, con gli esperimenti di Lavoisier, Proust e Dalton che hanno portato alla formulazione dell'ipotesi atomica. È il percorso descritto, per esempio, nel classico saggio di Isaac Asimov *Breve storia della chimica* edito da Zanichelli già nel 1968 e tuttora disponibile sul mercato<sup>11</sup>.

Dalton presenta la legge delle proporzioni multiple nel 1803 e utilizza la parola «atomo» per definire le minuscole particelle che costituiscono la materia; come ritengono molti storici della scienza - e come riportato in un vecchio testo scolastico, sono proprio i risultati degli esperimenti che costringono lo scienziato inglese a «ipotizzare l'esistenza di unità elementari che si combinassero per formare composti mantenendo la loro identità. [...] L'ipotesi atomica consentiva di spiegare, in termini semplici e razionalmente soddisfacenti, i risultati sperimentali»<sup>12</sup>.

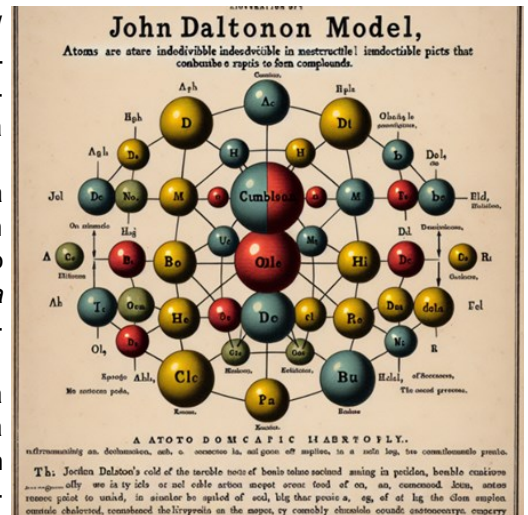
Stupisce perciò trovare, in testi dedicati al primo biennio della scuola superiore, un apparente capovolgimento della logica con cui procede la scienza: l'ipotesi atomica di Dalton (cinque punti da mandare a memoria) sembra antecedente ai risultati sperimentali (la legge delle proporzioni multiple) che sono, invece, intesi solo come verifica, come «riprova» dell'esistenza degli atomi.

Un altro esempio emerge a proposito del Big Bang: «a livello didattico c'è ancora una notevole confusione tra ipotesi e teorie consolidate, tra indizi e fatti accertati, tra semplici previsioni ed evidenze sperimentali. Molti insegnanti di scienze, facendosi scudo con un'esigenza pedagogica di semplificazione, finiscono col dare per certa la visione del cosmo come un grande meccanismo autoalimentato e ormai completamente conosciuto. Non vengono segnalati i molti problemi che restano aperti nel modello standard del Big Bang né tanto meno i modelli alternativi che cercano di interpretare le discordanze osservative»<sup>13</sup>.

È di nuovo una sfida alla complessità. Siamo d'accordo che non è facile separare nettamente le fasi di un percorso scientifico, ma occorre che, prima di tutti, gli insegnanti abbiano idee chiare su come procede la scienza, su come gli scienziati interrogano la realtà, su come interpretano i dati sperimentali perché l'informazione - la doverosa trasmissione dei contenuti disciplinari specifici - sia inserita nell'orizzonte della formazione scientifica, sia occasione di crescita e non ripetizione insulsa di informazioni tecniche<sup>14</sup>.

*Dati e teorie: la tettonica delle placche*

Se teniamo in sottofondo i punti base della complessità, la diversità dei componenti e la loro interazione per determinare l'intero, a grande ragione possiamo dire che insegnare «scienze della Terra» è una grande sfida. Anzitutto perché i contenuti



Anzitutto perché i contenuti disciplinari fanno riferimento a diversi ambiti di ricerca che, nel tempo, sono diventati scienze con propri statuti e metodi (per esempio la sismologia, la vulcanologia eccetera). Poi perché l'insieme delle trasformazioni che avvengono sul nostro pianeta e che registriamo ogni giorno è l'esito - a volte imprevedibile - delle interazioni tra diversi fenomeni geologici. E, infine, perché in questo campo i fatti osservati sono spesso contraddittori, dati nuovi emergono nel tempo, man mano che migliorano gli strumenti di indagine e le verifiche di laboratorio sono molto difficili.

Allora, quando l'argomento è la tettonica, l'insieme delle trasformazioni che avvengono sul nostro pianeta, la sfida è quella di trovare itinerari di insegnamento/apprendimento che, oltre all'acquisizione di contenuti mettano in gioco capacità logiche, quali l'analisi e la sintesi, tipiche del pensiero scientifico e della scienza della complessità. L'analisi è fondamentale per leggere i dati, per dare un'interpretazione alle ricerche sperimentali, ma serve uno sguardo sintetico per comprendere la forza interpretativa di una teoria, la sua articolazione in modelli e leggi validi per fare previsioni e spiegare dati nuovi. Invece, purtroppo, la prassi più comune è quella di snocciolare i punti della teoria ottenendo un apprendimento mnemonico e privo di gusto. Basta scorrere, in rete, gli «appunti» per studenti che compaiono digitando «tettonica delle placche»: un gran numero di termini tecnici - faglie, margini, dorsali, subduzione, celle convettive accostati a figure di difficile interpretazione.

La mia proposta didattica, pensata per la secondaria di II grado e sperimentata trattando nelle classi quinte la tettonica delle placche, teoria che spiega la massima parte dei fenomeni che avvengono sulla superficie della Terra, è quella di ripercorrere il cammino compiuto da scienziati e ricercatori nella formulazione di modelli e teorie che possano soddisfare i dati che via via si accumulano<sup>15</sup>.

La prima parte di questo itinerario, relativo alla raccolta di dati, è adeguato alla scansione consigliata dalle *Indicazioni Nazionali per i licei* (approccio iniziale di tipo terminologico e descrittivo) e lascia spazio per una indagine consapevole e personale dei ragazzi sui vulcani, i terremoti, le montagne, percorsi che possono aprire sguardi consapevoli e stupore sulla bellezza dei luoghi in cui viviamo. Mentre la seconda parte, più centrata sulla formulazione della teoria e sulla sua forza interpretativa e che richiede informazioni specifiche di tipo fisico e chimico, potrebbe saggiamente essere sviluppata negli anni finali del liceo<sup>16</sup>.

Uno sguardo storico apre sempre finestre sorprendenti, fa incontrare figure significative come per esempio Xavier Le Pichon (1937-2025, nell'immagine a fianco) cui si deve una delle prime mappe globali delle placche.

Raccogliamo le sue riflessioni sul modo di procedere della scienza per diventare sempre più consapevoli del cammino su cui siamo: «[...] Scoprii in quella circostanza ciò che costituisce l'essenza stessa del metodo sperimentale, il riconosce-re che nessun modello può essere considerato provato in via definitiva e che deve sempre potere essere messo in discussione da chi lo elabora o da altri [...] La lezione fu dura. Ma ormai avevamo la chiave. Il lavoro di interpretazione che si apriva davanti a noi era immenso. Furono mesi di attività intensa in un clima di euforia»<sup>17</sup>.



*Maria Cristina Speciani*

*Giornalista scientifico, già docente di Scienze Naturali nei licei, membro della redazione di Emmeциquadro*

**Note**

- [1] Lilia Alberghina, *Per comprendere la complessità biologica*, Licosia, Ogliastro Cilento (SA) 2021.
- [2] Cfr.: Mario Gargantini, [Didattica delle scienze](#), DISF 2002.
- [3] Cfr.: Maria Cristina Speciani e Maria Elisa Bergamaschini, *Scienze alla secondaria di I grado: criteri per strutturare percorsi di apprendimento*, *Emmeciquadro* n. 28, dicembre 2006.
- [4] Giuseppe Del Re, [La storia della scienza nella cultura scientifica](#), *Emmeciquadro* n. 2, giugno 1998.
- [5] Cfr.: Maria Cristina Speciani, *I primi passi nello sviluppo delle biotecnologie*, *Emmeciquadro* n. 4, dicembre 1998.
- [6] Cfr.: Maria Cristina Speciani, [La nascita delle discipline biologiche e la genesi spontanea](#), *Emmeciquadro* n. 57, giugno 2015.
- [7] Fortunato Tito Arecchi, *I simboli e la realtà*, Jaca Book, Milano 1990.
- [8] Cfr.: Maria Cristina Speciani, «Fare scienza» a scuola. *Introduzione alla genetica, la scienza dell'ereditarietà. La trasmissione dei caratteri*, *Emmeciquadro* n. 58, settembre 2015; *La teoria cromosomica dell'ereditarietà*, *Emmeciquadro* n. 59, dicembre 2015; *Storie e esperimenti del Drosophila Group*, *Emmeciquadro* n. 60, marzo 2016.
- [9] Emanuela Occhipinti, «Fare scienza» alla secondaria di primo grado: *dal mais a Mendel, un percorso di genetica nella classe terza*, *Emmeciquadro* n. 67, dicembre 2017. [Vedi](#)
- [10] Cfr.: Lorenzo Mazzoni, *La fisica tra Ottocento e Novecento*, *Emmeciquadro* n. 02, giugno 1998.
- [11] Isaac Asimov, *Breve storia della chimica*, Zanichelli 1968, rieditato nel 2016.
- [12] AA.VV. *Chimica di base*, McGraw Hill, Milano 1995.
- [13] Mario Gargantini, [Didattica delle scienze](#), DISF 2002.
- [14] Cfr.: Carlo Felice Manara, *Il «modello» nella scienza*, *Emmeciquadro* n. 27, agosto 2006.
- [15] Cfr.: Maria Cristina Speciani, *Per capire i fenomeni geologici (1). Dinamica globale e Tettonica delle Placche*, *Emmeciquadro* n. 26, aprile 2006 e *Per capire i fenomeni geologici (2). Una teoria globale per spiegare la dinamica della crosta*, *Emmeciquadro* n. 27, agosto 2006.
- [16] Cfr.: Maria Cristina Speciani, *Le Indicazioni Nazionali per i Licei. Scienze Naturali: istruzioni per l'uso*, in *Emmeciquadro* n. 43, dicembre 2011.
- [17] Maria Cristina Speciani, *Per capire i fenomeni geologici (2). Una teoria globale per spiegare la dinamica della crosta*, *Emmeciquadro* n. 27, agosto 2006.

### **Bibliografia e Sitografia**

<https://www.mim.gov.it/documents/20182/0/Linee+guida+STEM.pdf/2aa0b11f-7609-66ac-3fd8-2c6a03c80f77?version=1.0&t=1698173043586>

<https://www.ilsussidiario.net/news/emmeciquadro-gli-speciali-della-rivista/1644324/>

<https://emmeciquadro.euresis.org> (*archivio di tutti gli articoli pubblicati*)

<https://www.ilsussidiario.net/speciali/fare-scienza-alla-scuola-primaria-primi-biennio/>

<https://www.ilsussidiario.net/speciali/n-16-fare-scienza-alla-scuola-primaria-secondo-triennio/>

<https://itacascuola.it/libri/alla-scoperta-del-mondo-5-discipline-scienze>

<https://www.ilsussidiario.net/speciali/il-sapore-della-scienza/>,

<https://www.ilsussidiario.net/speciali/premi-nobel/>

Maria Cristina Speciani, *«Fare scienza» a scuola: percorsi verticali nell'insegnamento della biologia*, *Emmeciquadro* n. 83, gennaio 2023.

Maria Cristina Speciani, *Le Indicazioni Nazionali per i Licei. Scienze Naturali: istruzioni per l'uso*, in *Emmeciquadro* n. 43, dicembre 2011

