

INSEGNARE BIOLOGIA

COMPLESSITÀ E RICORSIVITÀ VS SEMPLIFICAZIONE

di Maria Cristina Speciani*

Dopo tanti anni di confronto e condivisione con insegnanti di scienze della scuola primaria e della secondaria di primo grado possiamo documentare che, per accompagnare i ragazzi a conoscere il mondo della Natura, una realtà ad alto grado di complessità, non è necessario fornire informazioni semplificate, in modi che, come spesso succede, snaturano e alterano gli oggetti e/o i fenomeni sotto esame. Invece, occorre riconoscere che la conoscenza si compie nel tempo in modo ricorsivo, con piccoli o grandi passi, attraverso informazioni corrette e adeguate al livello di comprensione degli studenti. In questo contributo si ripropone il metodo del «fare scienza» come aiuto reale alla didattica delle discipline scientifiche.

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

Quante volte ci siamo trovati in difficoltà di fronte a un problema del quotidiano in cui entravano in gioco molteplici e diverse variabili? Capita. Perché la realtà in cui viviamo, il mondo che abitiamo e di cui siamo parte è caratterizzato dalla complessità.

Non è mia intenzione, in questo contributo, sviluppare il tema dal punto di vista filosofico o sociologico, o economico - tutti campi in cui si mettono alla prova nuove teorie e nuove risorse, ma da un punto di vista un po' pragmatico, individuare, o meglio documentare, alcune modalità di trasmissione del sapere scientifico, in particolare biologico, a diversi livelli di scuola, che permettono di insegnare la realtà così come si presenta, con tutti gli aspetti di complessità che a volte ne rendono difficile la conoscenza.

L'intenzione è il confronto tra un modo di insegnare le scienze, quello che ai gruppi di ricerca *Educare Insegnando* promossi dalla Associazione "Il rischio educativo" abbiamo chiamato «fare scienza a scuola» e che abbiamo da anni documentato su questa rivista e la prassi più diffusa, che semplifica e snatura il significato dell'informazione, come si ricava da appunti di studenti, da *Internet* e dai libri di testo più adottati.

La complessità in breve

Tra le moltissime definizioni di complessità che si possono trovare in rete o su pubblicazioni specialistiche riporto questa, tratta dalla Enciclopedia Treccani,



Il volo degli stormi di uccelli, simbolo delle ricerche sulla complessità per le quali nel 2021 Giorgio Parisi ha vinto il Premio Nobel per la Fisica

«Caratteristica di un sistema (perciò detto complesso), concepito come un aggregato organico e strutturato di parti tra loro interagenti, in base alla quale il comportamento globale del sistema non è immediatamente riconducibile a quello dei singoli costituenti, dipendendo dal modo in cui essi interagiscono».

In termini estremamente sintetici potremmo dire che le proprietà macroscopiche di un sistema semplice possono essere dedotte dalle proprietà microscopiche delle sue parti; invece, nei sistemi complessi il risultato finale è determinato dalla rete di interazioni che si stabiliscono tra le parti. Le proprietà dei sistemi complessi non corrispondono alla somma delle proprietà dei singoli componenti del sistema e non sono direttamente deducibili o spiegabili dalle loro proprietà.

Pertanto, è necessaria una nuova metodica di indagine, chiamata scienza della complessità, insieme di teorizzazioni matematiche, informatiche e scientifiche che si contrappone alla tradizionale tendenza a ridurre il complesso al semplice.

La complessità in biologia

Oggi la conoscenza scientifica, in particolare quella che riguarda i sistemi viventi, deve fare i conti con la complessità. E tanto più occorre tenere presente questo dato di realtà nella fase di insegnamento/apprendimento

È facile riconoscere che i sistemi viventi sono sistemi complessi. La cellula, la struttura elementare di ogni organismo è costituita da componenti submicroscopici e molecolari che ne determinano forma e funzioni. Ma le proprietà della cellula come intero, - che si potrebbero riassumere con le parole organizzazione, individualità, diversità, relazionalità -, che pure emergono dall'interazione e dalle relazioni tra le sue parti, non sono spiegabili solo come somma delle sue parti¹.

Infatti, la cellula non è solo un insieme di molecole, ma un sistema altamente organizzato (membrana, citoplasma, nucleo eccetera) che permette alle diverse componenti di cooperare. Inoltre, grazie alla membrana plasmatica la cellula mantiene la sua individualità, è autonoma e distinta dall'ambiente. Peraltro, ogni cellula interagisce con l'ambiente intorno e con altre cellule che possono essere molto diverse tra loro. Per esempio, diverse tipologie di neuroni costituiscono il cervello, ma questo ha caratteristiche e proprietà che nessuna delle sue parti possiede.

Cellula, organismo pluricellulare, popolazione e comunità sono oggetti biologici graduati secondo un criterio di complessità crescente e oggi sono studiati dalla biologia dei sistemi.

È interessante notare che la complessità dei viventi è uno degli aspetti che rendono problematica - anche per gli scienziati più esperti - una definizione di cosa è la vita

Nel riquadro alcune definizioni facilmente reperibili in rete, nessuna delle quali però è esauriente.



La condizione degli organismi dotati di una forma specifica, di una costituzione chimica determinata, capaci di mantenersi in una situazione di equilibrio dinamico, cioè di avere un ambiente interno costante nonostante gli scambi con l'ambiente esterno (omeostasi) e di riprodurre queste proprietà in altri organismi simili. (treccani.it)

La vita è un sistema chimico che si auto sostiene e che si evolve darwinianamente. Un sistema può essere definito vivente se è in grado di trasformare la materia o l'energia esterna in un processo interno che permetta di mantenere e produrre i propri componenti. (NASA in people.na.infn.it).

In senso biologico vita è l'insieme di attività e di proprietà (nutrizione, respirazione, sviluppo e riproduzione) che caratterizzano un organismo. (raicultura.it)

Per l'insegnante di scienze, a qualsiasi livello di scolarità, la complessità biologica è una sfida.

Come comunicare che cosa è la vita? Come riconoscere i viventi? Come introdurre alla riproduzione che garantisce la permanenza della vita nel tempo? Come spiegare le interazioni tra organismi e ambiente? Sono solo alcune delle domande chiave.

Per trovare le risposte servono riflessioni serie, come per esempio quella qui di seguito riportata.

«Nel linguaggio della teoria dei sistemi, la differenza tra vivente e non vivente consiste nel fatto che un tipico sistema fisico conserva caratteristiche invarianti nel tempo se si trova in un minimo relativo di energia (equilibrio stabile), mentre invece un organismo vivente, avendo un elevato grado di omeostasi, si comporta rispetto all'ambiente come un sistema stazionario anche se è fuori di equilibrio. L'omeostasi dei viventi arriva fino alla capacità di riparare i danni subiti (per esempio, guarire dalle malattie), e deriva dalla presenza di un'organizzazione dinamica interna che è al lavoro per compensare la tendenza alla corruzione»².

A onor del vero, in qualche testo scolastico (della scuola superiore) comincia a comparire la parola omeostasi, ma quale insegnante ha il coraggio di partire da questa caratteristica fondamentale - reagire alle variazioni in modo da mantenere le proprie condizioni vitali, ossia la propria identità?

Eppure, il concetto può essere compreso in termini essenziali fin dalla scuola primaria e approfondito nel seguito del percorso scolastico. Con i bambini non è necessario dare il nome al fenomeno, ma si può fare esperienza e notare i brividi del corpo quando si esce in giardino d'inverno, alla scuola secondaria si parlerà successivamente di equilibri nei fluidi interni al corpo o, in termini biochimici, di regolazioni endocrine, di metabolismo dei glucidi eccetera.

Sfidare la complessità

Edgar Morin, riconosciuto teorico della complessità, scrive: «la complessità si presenta come difficoltà e come incertezza, non come chiarezza e come risposta. Il problema è di sapere se sia possibile rispondere alla sfida dell'incertezza e della difficoltà»³.

Mentre l'editoria scolastica procede imperterrita nel proporre traduzioni di testi americani trasferendo contenuti e percorsi senza alcun adattamento, in rete si possono rintracciare numerosi «consigli» per sostenere la sfida della complessità. Cito brevemente.

Le *Linee guida del Ministero per le discipline STEM* suggeriscono di «potenziare le competenze». Integrare e contaminare abilità diverse, intrecciare teoria e pratica per aumentare il pensiero critico, la comunicazione, la collaborazione e la creatività. Seguendo diverse metodologie, o forse tecniche didattiche, in un quadro che vuole disegnare un comportamento sociale piuttosto che un atteggiamento conoscitivo.

«L'approccio STEM parte dal presupposto che le sfide di una modernità sempre più complessa e in costante mutamento non possono essere affrontate che con una prospettiva interdisciplinare, che consente di integrare e contaminare abilità provenienti da discipline diverse (scienza e matematica con tecnologia e ingegneria) intrecciando teoria e pratica per lo sviluppo di nuove competenze, anche trasversali. Per questa ragione vengono indicate con "4C" le competenze potenziate nell'approccio integrato STEM: *Critical thinking* (pensiero critico); *Communication* (comunicazione); *Collaboration* (collaborazione); *Creativity* (creatività). [...] In particolare, si segnalano diverse metodologie: *Problem Based Learning*, *Design thinking*, *Tinkering*, *Hackathon*, *Debate*, *Inquiry Based Learning*, IBL. [...] La possibilità di raccogliere dati e di discutere la fattibilità delle ipotesi proposte può contribuire anche allo sviluppo delle *soft skills*, competenze fondamentali per affrontare sfide complesse e preparare gli studenti a diventare cittadini attivi.»

Si apre una domanda: di fronte alla realtà, che abbiamo detto essere complessa, dove sta il contenuto di conoscenza rispetto al modello comportamentale?

Pedagogia più didattica è una rivista edita dal Centro Studi Erickson di Trento. Sul numero di ottobre 2022 un articolo di Barbara Tognazzi (ricercatrice dell'università di Urbino) è dedicato *Educazione, ambienti e apprendimento nella cultura della complessità*. Anche qui non si prende una posizione su come conoscere i dati di realtà, ma si fa riferimento a modelli epistemologici/didattici - ancora il costruttivismo che, ormai lo sappiamo bene, sovrappone l'interpretazione al dato di realtà. In questa ottica il sapere è «antigerarchico» e lo scopo della didattica è conquistare una «conoscenza democratica», comprensiva delle differenze individuali.

«Un'ulteriore conseguenza dei modelli complessi, che gioca un ruolo importante

nel campo dell'insegnamento/apprendimento e che attiene al modello epistemologico del costruttivismo radicale, riguarda la partecipazione attiva del soggetto nei processi conoscitivi. Le teorie della complessità presuppongono infatti un modello di mente che anziché rispecchiare oggettivamente la realtà esterna attui delle strategie operative per adattarsi al contesto riuscendo a integrare le perturbazioni attraverso una continua riequilibrio nei confronti dei mutamenti imprevedibili dello sfondo. [...] Altro elemento di attenzione da parte degli epistemologi della complessità riguarda l'articolazione lineare e razionale delle unità didattiche e la conseguente organizzazione gerarchica degli obiettivi che favorirebbero un offuscamento della complessità degli eventi e dei fenomeni. [...] Nella pedagogia della complessità non c'è spazio che per un sapere pluralistico e antigerarchico, dove la molteplicità delle connessioni tra i suoi diversi aspetti ben si adatta a una visione più democratica e comprensiva delle differenze individuali nei processi conoscitivi».

Sorprende come, a fronte di una conoscenza che prevede la registrazione della realtà così come si presenta, si debba estrarre dal cappello una prospettiva così tanto ideologica: all'oggettività del reale si sostituiscono soggettività e istintività. E sorprende anche - questo non c'entra con il costruttivismo - che la didattica, che nasce per accompagnare gli studenti alla scoperta del mondo rispettando lo sviluppo del loro pensiero, e quindi procede secondo metodologie e percorsi diversi, debba riformularsi in termini antigerarchici e democratici per non offuscare la complessità dei fenomeni.

In questo contributo, facendo riferimento soprattutto alle scienze biologiche e al loro insegnamento, farò qualche esempio di complessità negata e darò qualche indicazione per una trattazione che, in termini ricorsivi, rispetti e renda comprensibile la complessità di un contenuto.

Ricorsività significa ritornare su un argomento con uno sguardo nuovo (guardo e riguardo). Anzitutto con un interesse maggiore, così si colgono aspetti che possono sfuggire a uno sguardo rapido e/o superficiale. Poi con un orizzonte ampio che fa prendere in considerazione il contesto in cui un l'oggetto, o il fenomeno, sotto esame è situato e quindi aiuta a identificarne il significato. Ancora, uno sguardo approfondito porta alla luce i particolari - scompone l'intero nei suoi componenti e scopre le relazioni tra loro. E, infine, dimostra che le caratteristiche di un oggetto studiato non si possono ricavare semplicemente sommando le caratteristiche e le proprietà dei componenti: l'intero che risulta dalle relazioni tra i suoi costituenti ha sempre proprietà particolari, uniche.

I passi di conoscenza che si compiono in un percorso ricorsivo corrispondono alla struttura concettuale dei fenomeni o degli oggetti di tipo complesso.

La complessità negata

La scienza opera per conoscere i fenomeni della natura in tutti gli aspetti, nei particolari e nell'insieme. Di fronte alla complessità della realtà, nella didattica, si cerca di semplificare pensando di rendere più facile l'apprendimento, ma troppo spesso si parzializza, si forniscono solo particolari che snaturano quando non falsano l'informazione riducendola a un cumulo di parole da mandare a memoria. Dobbiamo segnalare che questo si verifica in moltissimi casi, a tutti i livelli di scuola e per tutte le discipline sperimentali. Basti pensare a grandi temi come la struttura della materia, la struttura della Terra, l'origine dell'Universo, la biodiversità e l'ambiente ... che non esaminiamo in questo contributo. Qui, invece, ci occupiamo di contenuti biologici e tracciamo alcune linee guida per l'insegnamento efficace di un argomento biologico fondamentale, la cellula.

Soprattutto alla scuola primaria, molti argomenti sono trattati in modo sommario, pensando di dover dire tutto subito e in realtà accostando informazioni imprecise quando non errate e/o incomprensibili.

Per esempio, su *Focus junior* si legge: «La membrana cellulare è una sottile pellicola che racchiude il citoplasma: potremmo definirla come il confine della cellula poiché oltre questa la cellula non esiste. Attraverso la membrana passano sia le sostanze in entrata (quelle che nutrono la cellula) sia quelle in uscita (ossia i rifiuti)»

Restiamo in ambito biologico. L'argomento è di attualità: i rapporti trofici negli ecosistemi.

Come nell'esempio qui a fianco.

Come nell'esempio qui a fianco.
Non importa se nel mondo reale a volte il predatore diventa preda, non importa se gli organismi del prato si trovano anche nel bosco, non importa se i bilanci trofici dipendono dal numero di individui, dal clima, dalle condizioni del territorio. Il concetto di catena alimentare non rispetta la complessità perché non tiene conto delle relazioni o, quanto meno, le riduce a fenomeni di tipo lineare, che avvengono in direzione obbligata.

A onor del vero in qualche testo si trovano rilanci del tipo - le catene alimentari possono connettersi a formare reti, ma pensiamo che sia più corretto e sufficientemente adeguato al livello di comprensione verso la conclusione della primaria, il concetto di «rete alimentare». Come nell'esempio che riporto e che si può consultare (pagina 25) [qui](#).



Le frecce indicano che cosa mangiano i diversi animali.

Le piante verdi sono gli organismi **produttori**.

Gli animali erbivori sono i **consumatori primari**.

Altri organismi, come batteri e funghi, sono definiti **decompositori** perché trasformano le complesse sostanze organiche in sostanze semplici.

Lo schema mostra anche che il **Sole è la fonte di energia per tutti i viventi.**



La cellula in un percorso ricorsivo

Il caso più evidente di complessità negata riguarda la cellula, argomento fondamentale per qualsiasi indagine sui viventi. Come vedremo, la ricorsività può essere la chiave di volta per un insegnamento che, adeguato alla comprensione degli studenti, rispetti la complessità del mondo biologico.

Proviamo a digitare su Google le parole «cellula scuola primaria» per accedere a diversi *blog* di maestre o a portali dedicati ai bambini. Si trovano definizioni sintetiche di questo tipo: «le cellule, i mattoncini del nostro corpo» che fanno pensare ai giochi di *Lego* e non certo a una struttura dinamica che è in relazione con altre cellule per costituire il corpo; «la cellula, la più piccola unità vivente», ignora il fatto che possono esistere organismi unicellulari, ma una cellula isolata, se non è coltivata in condizioni particolari, non è vivente. Capita anche di trovare l'uovo di gallina assimilato *tout-court* alla struttura cellulare: in modo sconcertante il tuorlo (nutrimento per il futuro embrione) viene identificato con il nucleo e l'albume con il citoplasma.

Oppure, si propone - come attività STEM di eccellenza per i bambini della quarta classe, la costruzione di modelli in plastilina, stoffa o cartone - a dimensioni mani di bambini - di fantasiose strutture i cui componenti - ribosomi, cloroplasti, mitocondri - sono risolvibili solo al microscopio elettronico. Di fianco sono riportati due esempi⁴.

Segnalo, tra l'altro, che modelli di questo tipo sono proposti anche per gli atomi, quando il livello atomico è estraneo all'esperienza dei bambini e alla loro comprensione⁵.

Per i bambini della quarta primaria le strutture cellulari sono invisibili e difficilissime da comprendere anche quando osservate al microscopio ottico: quale esperienza e quale comprensione possono avere di questo livello di organizzazione dei viventi?

In rete è facile consultare, nel sussidiario *Alla scoperta del mondo* (Itaca edizioni), nel volume *Discipline* della classe quinta, i capitoli dedicati al corpo umano per capire quanti contenuti fondamentali si possono imparare anche senza conoscere l'ultrastruttura della cellula vedi *nota 6*.

A volte alla primaria, soprattutto nelle classi alte - quando si tratta il corpo umano - può essere necessario dire che siamo fatti di cellule, cioè di parti invisibili a occhio nudo che ci costituiscono e in cui avvengono tutte le funzioni che rileviamo macroscopicamente. Il concetto di struttura-funzione dovrebbe essere acquisito da percorsi precedenti mentre il desiderio di «vedere» la cellula può essere conservato per gli anni scolastici successivi.

Come può proseguire, nella scuola secondaria, la conoscenza della cellula?

Un interessante percorso, all'inizio della secondaria di primo grado, è raccontato e documentato in questo stesso numero della rivista. *Nota 7* (Cfr.: Alessia Michelon, Serena Salvemini, «*Fare scienza*» a scuola: percorso di osservazione al microscopio degli organismi vegetali).

Già nella prima classe si può aprire la finestra su ciò che non si può vedere a occhio nudo e l'indagine sulla cellula si fonda sull'osservazione diretta al microscopio (ottico). È un salto concettuale notevole rispetto alla scuola primaria, un primo passo per comprendere le relazioni che si stabiliscono tra i vari componenti: il nucleo, la membrana, il citoplasma trovano la loro collocazione nella cellula intera. E si può anche vedere che realmente le cellule sono vicine ad altre cellule per costituire un intero. Non solo, riconoscere che le parti della cellula mostrano particolari diversi al variare degli ingrandimenti, fa intuire che lo studio delle cellule richiede strumenti e approcci diversi, ciascuno con le sue potenzialità e i suoi limiti.

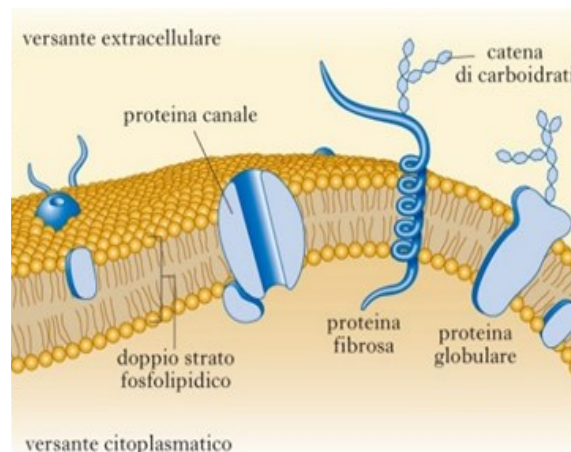
Torniamo alla membrana, non solo struttura che delimita la cellula, ma struttura che costituisce il reticolo endoplasmatico e gli organuli - plastidi, mitocondri, Golgi, eccetera - tant'è che si parla di membrane biologiche. Se alla secondaria di primo grado si può intravedere la membrana al microscopio ottico, alla scuola superiore si può procedere per una conoscenza più ampia e dettagliata.



Si possono descrivere i componenti molecolari della membrana e la loro disposizione, ricordando anche che l'indagine a livello molecolare chiede ulteriori passi di consapevolezza.

Non solo, si può fare la storia dei modelli di membrana: al microscopio ottico è stata risolta come un doppio strato di fosfolipidi rivestito da proteine (modello di Danielli-Davson, 1935) mentre indagini successive, e osservazioni al microscopio elettronico, hanno portato al modello a mosaico fluido di Singer-Nicolson (1972), riportato schematicamente nell'immagine a fianco, che vede le proteine disperse nel doppio strato fosfolipidico.

In sintesi, la cellula è una realtà complessa e i percorsi delineati - riferiti a livelli scolastici diversi - e costruiti secondo criteri ricorsivi, sono solo l'inizio di un cammino che la scienza biologica sta percorrendo.



Ricorsività e complessità nella didattica delle scienze sperimentali

Ho cercato di mostrare che per conoscere un oggetto complesso bisogna, almeno, identificare i suoi diversi componenti, riconoscere le relazioni tra loro e accettare l'imprevedibilità dell'intero.

Nella didattica si tratterebbe di procedere identificando, prima, i termini essenziali di un contenuto e poi, in modo più approfondito, i dettagli, i nessi, i risultati. Questo vale sia in un percorso verticale dalla scuola primaria alla secondaria e oltre, sia quando si progetta la trattazione di un tema durante l'anno scolastico, sia quando si stende una relazione, sia quando si scrive un libro.

Invece, come abbiamo solo accennato, quando un argomento ha molte sfaccettature si cerca di non lasciare indietro niente, non si rispetta la capacità di comprensione dell'alunno, non si ha il coraggio di puntare sulla ricorsività, di tornare sugli stessi contenuti approfondendo sia i particolari che il significato. Non è necessario fare tutti i particolari, è necessario fare bene.

Moltissimi argomenti di scienze sono trattati, per prassi più che per indicazioni ministeriali, sia nella primaria che nella secondaria. Per esempio la vita delle piante e degli animali, l'astronomia, l'ecologia, le trasformazioni, il corpo umano. Il metodo del «fare scienza» a scuola, che abbiamo ripetutamente e da molti anni documentato su questa rivista, si è dimostrato valido per spiegare i complessi fenomeni della natura in tutte le loro sfaccettature perché tiene insieme il particolare e l'intero e traccia uno sviluppo ricorsivo efficace.

Come abbiamo visto per la cellula, il salto più evidente avviene tra la quinta classe e la prima secondaria. Di seguito alcuni esempi che hanno dato buoni risultati, come si può leggere sugli *Speciali* della rivista *Emmeciquadro* dedicati all'educazione scientifica a scuola - per tutti gli ordini di scuola - al [seguente indirizzo](#).

Per esempio, rispetto allo sconfinato tema dei viventi, alla primaria si riconoscono e classificano i diversi viventi (animali e vegetali), si dà loro un nome e si identificano in termini macroscopici le funzioni essenziali. Alla secondaria si identificano le proprietà chimiche e le funzioni specifiche (energia, struttura, omeostasi) che garantiscono la continuità della vita e si dettagliano i passi genetici e a volte anche chimici del processo.

Ancora, se alla primaria si descrivono la forma e le funzioni dei vegetali in termini macroscopici e si riconoscono i diversi tipi di vegetali, alla secondaria si osservano le strutture cellulari al microscopio (particolari e dettagli), si classificano le specie vegetali e si riconosce la loro evoluzione (si stabiliscono relazioni).

Per esempio, studiando il corpo umano, alla primaria è essenziale capire anatomia e fisiologia degli scambi respiratori (inspirazione ed espirazione, alveoli polmonari/sangue), alla secondaria si dovrà parlare anche della respirazione cellulare; alla primaria è essenziale capire il percorso del cibo nel tubo digerente e intuire che avvengono delle trasformazioni, ma il dettaglio è compito della secondaria.

Ancora, nel percorso della secondaria di primo grado in prima i temi sono soprattutto trasversali (per esempio si studia il terreno) e diventano man mano più disciplinari (per esempio le rocce dal punto di vista geologico, la trasmissione dei caratteri, le prime semplici trasformazioni chimiche) sia come metodo (disciplinare specifico - chimica) che come lessico (relazioni strutturate). Notiamo che anche i temi trasversali di un corso di scienze chiedono una trattazione che corrisponda alla complessità.

Maria Cristina Speciani

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

Note

- [1] Cfr. per esempio: Saverio Forestiero, *Complessità biologica*, in [Enciclopedia della Scienza e della tecnica](#) (2007).
- [2] Giuseppe Del Re, *Parole e scienza: sistemi e complessità*, in *Emmeciquadro* [n. 21, agosto 2004](#)
- [3] G. Bocchi, M. Ceruti (a cura di), *La sfida della complessità*, Paravia Bruno Mondadori, Milano 2007 prima ed. Feltrinelli 1985.
- [4] Cfr. Portale bambini, *La cellula classe quarta*
- [5] Cfr.: Gloria Berardi, [Realizziamo un modello dell'atomo](#)
- [6] Cfr.: *Alla scoperta del mondo*, Itaca edizioni, [Discipline](#)
- [7] Cfr.: Alessia Michelin, Serena Salvemini, «*Fare scienza*» a scuola: percorso di osservazione al microscopio degli organismi vegetali, *Emmeciquadro* n. 91, settembre 2025.
- [8] Per un concetto chiave come quello delle «trasformazioni» vedi *Emmeciquadro* [n. 44, Marzo 2012](#).

Sitografia

Linee guida [STEM](#)

Archivio [Emmeciquadro](#)

Gli [Speciali](#) di Emmeciquadro

Fare-scienza-alla-scuola-primaria-[primo-biennio](#)

Fare-scienza-alla-scuola-primaria-[secondo-biennio](#)

Alla scoperta del mondo-[discipline scienze](#)

