

Intelligenza artificiale e didattica: dalla previsione alla comprensione scientifica

Pierluigi Contucci

Dipartimento di Matematica dell'Università di Bologna

e-mail: pierluigi.contucci@unibo.it

Abstract. Artificial Intelligence is often presented to schools as a teaching aid or tutoring tool. However, its most important consequence for science education is epistemological rather than technological. Machine learning systems can produce accurate predictions without relying on explicit theoretical models. This challenges a fundamental assumption of experimental sciences such as chemistry, where understanding is traditionally grounded on the chain observation–model–prediction–verification. The presence of predictive systems without explanatory mechanisms makes it necessary to clarify in teaching the difference between correlation and causation, and between performance and understanding. Rather than replacing laboratory activity, AI highlights its role as the place where scientific explanation is distinguished from statistical adaptation. The article argues that AI can be used not primarily to automate exercises but to expose misconceptions, compare empirical predictions with theoretical models, and show the physical cost of information in terms of energy and limits of computation. In this perspective, artificial intelligence becomes an opportunity to reinforce scientific thinking and to redefine the educational function of chemistry in the age of predictive machines.

Keywords: intelligenza artificiale; formazione chimica; comprensione scientifica; correlazione e causalità; epistemologia della scienza

L'intervento che ho fatto al Congresso DD-SCI 2025 conteneva alcune brevi riflessioni sull'Intelligenza Artificiale (AI), cercando di separare i miti dai fatti, inquadrandola come la nuova rivoluzione industriale attraverso esempi su potenzialità e rischi. I lettori interessati possono trovare quanto ho detto nel saggio introduttivo e non tecnico che ho scritto tempo fa [1]. Nelle poche righe che seguono invece, cercando di fare tesoro delle cose che ho sentito al Congresso e delle interessanti discussioni che ho avuto con i partecipanti, vorrei riflettere più nello specifico sulla relazione tra AI e insegnamento della scienza.

L'intelligenza artificiale viene spesso presentata alla scuola come uno strumento: un tutor, un assistente, un sistema di supporto all'apprendimento. Questa descrizione è corretta, ma certamente riduttiva. Essa corre il rischio, infatti, di far sembrare questa tecnologia rivoluzionaria un mero miglioramento metodologico, mentre la portata reale è più profonda. L'IA non sta semplicemente cambiando il modo di insegnare: sta cambiando il significato di insegnare una scienza.

Per comprenderlo bisogna partire da una constatazione elementare. La chimica, come ogni scienza sperimentale, si fonda su una catena concettuale precisa: osservazione, modello, previsione, verifica. Lo studente impara che una legge chimica non è una regolarità statistica, ma la conseguenza di un modello della materia. L'equilibrio chimico, la cinetica delle reazioni, la struttura elettronica non sono descrizioni dei dati: sono spiegazioni. Il valore formativo della disciplina non sta solo nel risultato, ma nel percorso che conduce ad esso. La scienza educa perché obbliga a distinguere ciò che accade da ciò che lo rende coerente, spiegabile e talvolta controllabile.

Forse per la prima volta nella storia della scoperta scientifica i sistemi di apprendimento automatico rompono questa catena e lo fanno in modo sistematico. Essi producono previsioni corrette

senza possedere un modello esplicito del fenomeno. Non conoscono molecole, legami o orbitali: elaborano correlazioni. Se vengono addestrati su abbastanza dati, prevedono con precisione proprietà, reazioni o comportamenti, ma non sanno perché accadano, dove quel perché è il nocciolo del metodo scientifico.

Questa situazione non è un'anomalia tecnica, ma un evento epistemologico. Ricorda da vicino la prima rivoluzione industriale. I motori a vapore funzionavano prima che esistesse la termodinamica. Si costruivano macchine sempre più potenti senza sapere quale principio ne determinasse l'efficienza. Solo con Carnot e Clausius si comprese che esistevano limiti naturali e che dietro il rendimento stava una grandezza conservata: l'energia. La scienza raggiunse la tecnologia e la trasformò. Oggi la tecnologia dell'apprendimento automatico corre più veloce della comprensione teorica: sappiamo costruire sistemi intelligenti senza conoscere le leggi dell'intelligenza artificiale.

Siamo quindi in una fase prescientifica della nuova rivoluzione industriale. Le reti neurali trasformano informazione in prestazione cognitiva, ma non possediamo ancora una teoria dei loro limiti e del loro funzionamento generale. Usiamo queste macchine come si usavano le macchine a vapore nel Settecento: empiricamente, per tentativi e miglioramenti incrementali. Ci manca una vera termodinamica dell'apprendimento, capace di stabilire che cosa sia possibile e che cosa no, quali siano i limiti naturali della previsione automatica e quale sia il costo informativo di ogni prestazione cognitiva.

Per un insegnante di chimica questo fatto è decisivo. Finora l'obiettivo implicito dell'insegnamento scientifico è stato mostrare allo studente che la conoscenza non coincide con la previsione. Si può indovinare un risultato, ma solo comprendendone il meccanismo lo si conosce. L'IA mette in crisi proprio questa distinzione: può prevedere senza comprendere. La scuola si trova a un bivio: utilizzare in modo acritico l'AI come *prêt-à-répondre*, oppure mettere al centro della didattica la discussione sulla differenza tra teoria e induzione statistica. Non vi è alcun dubbio che la strada da percorrere sia la seconda.

L'IA non sostituisce il laboratorio: lo rende necessario. Il laboratorio diventa il posto in cui si distingue tra correlazione e causalità, tra adattamento statistico e legge naturale. Se una rete neurale prevede correttamente la velocità di una reazione, lo studente deve imparare che la previsione non è ancora spiegazione e che la spiegazione è ciò che permette di trasferire la conoscenza in contesti nuovi. Una legge scientifica vale proprio perché continua a funzionare quando cambiano le condizioni; una correlazione smette di funzionare appena cambia il contesto.

Questo punto è cruciale anche per capire la natura dell'intelligenza stessa. Nei corsi superiori che, sperabilmente molti studenti seguiranno nei percorsi di formazione universitari sull'AI, l'analisi dei sistemi neurali artificiali mostra che essi apprendono solo quando le relazioni tra le loro parti restano libere di formarsi e quando la comunicazione tra esse non si interrompe mai. Connessioni cooperative e competitive coesistono in equilibrio. Se si eliminano le relazioni antagoniste, il sistema non diventa più efficiente: smette di essere intelligente e diventa un semplice amplificatore di segnali. L'intelligenza emerge quindi da una rete di interazioni, non dalla potenza di un singolo componente. Tale osservazione suggerisce una definizione operativa di intelligenza: molte parti autonome, in relazione dinamica, obbligate solo a comunicare e non ad allinearsi. Per la chimica questa idea è familiare. Le proprietà di una molecola non coincidono con quelle degli atomi isolati; emergono dalle loro interazioni. Analogamente, l'intelligenza emerge dalle relazioni tra componenti. In questo senso l'IA diventa anche un oggetto di studio scientifico, non solo uno strumento tecnologico.

L'insegnamento può utilizzare l'IA proprio per mostrare questo passaggio. Non come scorciatoia cognitiva, ma come oggetto di analisi. Gli studenti possono confrontare una previsione statistica prodotta da una macchina con una previsione derivata da un modello chimico. Possono osservare quando coincidono e quando divergono. In quel confronto si chiarisce cosa sia una teoria scientifica.

Vi sono applicazioni didattiche particolarmente promettenti in questa direzione. Un sistema generativo può produrre ragionamenti chimici plausibili, ma errati: errori realistici, simili a quelli degli studenti. Analizzarli in classe consente di esplicitare le misconcezioni. L'IA può simulare modelli intuitivi, ma scorretti degli orbitali o dell'equilibrio e permettere agli studenti di confutarli sperimentalmente. La tecnologia diventa così un laboratorio epistemologico.

Un secondo uso riguarda la trasferibilità della conoscenza. Una rete addestrata su un insieme di reazioni può fornire ottime previsioni entro quel dominio, ma fallire appena si esce da esso. Il modello teorico, invece, pur meno preciso localmente, mantiene validità in modo molto più robusto e smette di generare previsioni corrette solo quando la stessa teoria che lo include viene sostituita da una più generale che la rivoluziona. Mostrare questa differenza insegna che la scienza non è ottimizzazione di prestazioni, ma costruzione di leggi e teorie.

Vi è poi un aspetto materiale spesso trascurato: l'energia. Ogni autonomia cognitiva ha un costo energetico. Il cervello umano consuma pochi watt; i grandi sistemi di calcolo richiedono potenze enormemente superiori. L'informazione non è un'entità astratta: è un processo fisico. Collegare apprendimento automatico, termodinamica ed energia permette di integrare informazione e materia in un'unica visione scientifica. La sostenibilità energetica dell'IA diventa così anche un tema educativo, non solo tecnologico, fortemente legato ai temi profondi della cultura chimica.

Questo problema ha anche una dimensione culturale e politica. Chi controlla gli strumenti di conoscenza controlla le forme della conoscenza stessa. Le grandi piattaforme digitali producono modelli cognitivi oltre che servizi tecnologici. Per questo l'educazione scientifica assume un ruolo centrale: forma cittadini capaci di distinguere tra uso di uno strumento e comprensione dei suoi effetti. Senza questa consapevolezza, la tecnologia diventa potere e non conoscenza condivisa.

L'IA, quindi, non è semplicemente un nuovo strumento didattico. È un'occasione per riportare al centro l'idea di scienza come spiegazione della realtà. Se usata solo per automatizzare esercizi, impoverisce l'apprendimento; se utilizzata come oggetto di riflessione, lo rafforza. Costringe a distinguere sapere da saper fare e previsione da comprensione. Le conseguenze nefaste di approcci errati nella didattica sono ben note agli educatori di tutto il mondo. Un esempio dal passato è stato quello dell'uso della calcolatrice come sostituto del calcolo sin dal periodo formativo. Gli studenti che negli anni Settanta non si sono allenati con le operazioni e hanno percorso solo la scorciatoia della comoda macchinetta calcolatrice non hanno perso solo la capacità di far di conto, ma la *numerical literacy* che è la base del ragionare e trovare l'errore.

In questo senso l'insegnante assume un ruolo ancora più importante. Non è più soltanto il trasmettitore di contenuti ma il garante del metodo: colui che mostra perché una risposta corretta non è ancora conoscenza e perché la teoria è ciò che rende la conoscenza condivisibile e cumulativa. Naturalmente, in questo modo il suo ruolo è rafforzato dalla nuova tecnologia.

L'intelligenza artificiale non riduce il valore dell'insegnamento scientifico: ne rivela la funzione più profonda. In un mondo in cui una macchina può fornire soluzioni, la scuola diventa il luogo in cui si impara cosa significhi capire e la chimica è uno degli spazi privilegiati in cui questo significato può essere ancora mostrato con chiarezza.

A questo punto si chiarisce anche un'ultima conseguenza. Una tecnologia diventa scienza quando è in grado di stabilire i propri limiti naturali. La termodinamica non nacque solo per migliorare i motori a vapore, ma per capire perché non potessero funzionare arbitrariamente bene. Analogamente, una futura scienza dell'apprendimento dovrà spiegare non solo quando una macchina impara, ma quando è impossibile che impari. Questo è il passaggio decisivo: trasformare la prestazione in conoscenza dei limiti. Una scienza, tuttavia, non esiste senza condizioni pubbliche di verificabilità. I limiti naturali possono essere studiati solo dove modelli, dati ed esperimenti siano accessibili, controllabili e riproducibili. Per questo la ricerca sull'intelligenza artificiale non può restare soltanto una competizione tecnologica tra piattaforme private, orientata alla prestazione e alla scala computazionale. Occorre anche uno spazio di ricerca condiviso, nel quale i sistemi di apprendimento diventino oggetti di misura e non soltanto strumenti operativi. Come le grandi infrastrutture scientifiche del Novecento hanno permesso alla fisica di trasformarsi da insieme di competenze disperse in disciplina cumulativa, una cooperazione pubblica sulla ricerca in intelligenza artificiale consentirebbe di confrontare modelli, stabilire limiti, verificare risultati e rendere riproducibili gli esperimenti. Solo in un contesto di questo tipo l'intelligenza artificiale può acquisire pienamente lo statuto di scienza e non restare una tecnologia efficace ma opaca.

Per la didattica della chimica questo significa introdurre esplicitamente il concetto di costo informativo. Ogni misura, ogni previsione, ogni classificazione richiede energia, memoria e dati. L'apprendimento automatico rende visibile ciò che nella scienza era implicito: la conoscenza è una trasformazione fisica, non un atto puramente logico a costo nullo. Collegare informazione, entropia ed energia permette di mostrare allo studente che la distinzione tra scienze naturali e scienze dell'informazione è solo apparente. La chimica studia le trasformazioni della materia; l'intelligenza artificiale studia trasformazioni dell'informazione, ma entrambe obbediscono a vincoli fisici.

In questa prospettiva l'IA può diventare un ponte didattico tra discipline. Non perché semplifica l'apprendimento, ma perché rende evidente che capire significa individuare relazioni stabili e trasferibili. Quando gli studenti comprendono perché una legge continua a valere al variare delle condizioni, hanno imparato più di una formula: hanno appreso che cosa sia una spiegazione scientifica.

Per questo motivo la sfida educativa non è decidere se usare o meno l'intelligenza artificiale in classe. La vera sfida è usarla per insegnare il valore della teoria. Se la scuola riuscirà a far vedere che una risposta prodotta automaticamente non equivale a comprensione, allora l'IA non indebolirà l'educazione scientifica, ma la rafforzerà. In un'epoca di macchine capaci di fornire risultati, la funzione della scienza resta quella di fornire significato.

Si comprende allora che la questione educativa non è separabile da quella civile. Quando sistemi artificiali producono testi, immagini e decisioni indistinguibili da quelli umani, il problema non riguarda soltanto l'apprendimento degli studenti, ma la possibilità stessa di una conoscenza condivisa. Una società democratica si fonda sulla fiducia nella verificabilità delle affermazioni e sulla distinzione tra informazione e manipolazione. Se questa distinzione si indebolisce, non si altera solo la didattica: si altera il funzionamento dello spazio pubblico. Per questo l'educazione scientifica assume oggi un valore nuovo. Formare alla differenza tra previsione statistica e spiegazione, tra correlazione e causalità, significa anche formare cittadini capaci di riconoscere quando uno strumento amplia la libertà e quando invece concentra potere. In tale prospettiva diventa necessario che la ricerca sull'intelligenza artificiale acquisisca uno statuto pienamente scientifico e pubblico, fondato su esperimenti riproducibili, modelli condivisi e limiti conoscibili, analogamente a quanto avvenne per la termodinamica rispetto alla tecnologia del vapore. La scuola, allora, non è soltanto il luogo in cui si apprendono contenuti, ma il primo spazio in cui una società impara a governare consapevolmente le proprie tecnologie cognitive. In un'epoca in cui le macchine possono fornire risposte, l'educazione scientifica resta la condizione perché quelle risposte non diventino forme invisibili di dominio, ma strumenti di conoscenza comune.

Riferimenti bibliografici

[1] P. Contucci, *Rivoluzione Intelligenza Artificiale*, Dedalo, Bari, 2023.