



L'uso di modelli simulativi per la costruzione del pensiero controfattuale in contesti formativi

The use of simulation models for the construction of counterfactual thought in training contexts

Monica Tombolato

Università degli Studi di Urbino Carlo Bo - monica.tombolato@uniurb.it

ABSTRACT

In this paper we discuss the potential effectiveness of the use of simulation models for the construction of counterfactual thought in training contexts. Counterfactual mental experiments represent an epistemic practice which belongs to the scientist's *habitus*. Therefore, it is important for students to acquire it. In the first part the role of counterfactual mental experiments is presented from an epistemological standpoint. Then counterfactual reasoning is described as an epistemological obstacle. Finally, we explore the didactic potentialities of simulation models in fostering the development of counterfactual thought.

Nel contributo si discute la potenziale efficacia dell'impiego di modelli simulativi per la costruzione del pensiero controfattuale in contesti formativi. Gli esperimenti mentali controfattuali rappresentano una pratica epistemica che appartiene all'*habitus* dello scienziato ed è quindi importante che gli studenti la acquisiscano. Nella prima parte si chiarisce il ruolo degli esperimenti mentali controfattuali da un punto di vista epistemologico. Successivamente si attribuisce al ragionamento controfattuale lo *status* di ostacolo epistemologico. Infine, si esplorano le potenzialità didattiche dei modelli simulativi nel promuovere lo sviluppo del pensiero controfattuale.

KEYWORDS

Simulation Models; Counterfactual Thought; Artificial Technologies; Didactic Transposition; Professional Social Practices. Modelli Simulativi; Pensiero Controfattuale; Tecnologie Artificiali; Trasposizione Didattica; Pratiche Sociali di Riferimento.

Introduzione

Alle soglie di quella che Erik Brynjolfsson e Andrew McAfee (2015) definiscono la «seconda età delle macchine», dominata dall'innovazione tecnologica e dalla progressiva meccanizzazione del lavoro mentale, il vantaggio che l'intelligenza umana detiene (ancora) su quella artificiale è rappresentato – sostengono i due economisti del MIT – dalla capacità di «pensare fuori dagli schemi». I computer, infatti, da tempo programmati per produrre continuamente e in abbondanza nuove combinazioni a partire da elementi preesistenti, si rivelano tuttavia incapaci di quell'autentica «innovazione ricombinante» che gli autori associano alla capacità – per ora esclusivamente umana – di porsi nuove interessanti domande nonché di guardare i problemi da nuove interessanti prospettive. Ne consegue, sul piano pedagogico, l'urgenza di interrogarsi su come sia possibile qualificare in senso formativo l'utilizzo di dispositivi tecnologici affinché possano rivestire la funzione non di sostituti, bensì di «utensili del lavoro intellettuale» (Fierli, 2003), favorendo forme di partenariato cognitivo e di intelligenza collaborativa.

A questo interrogativo il lavoro intende fornire una possibile risposta proponendo una riflessione teorica – quale premessa di una futura indagine empirica – sul ruolo che possono rivestire le tecnologie artificiali nel processo di traduzione didattica della conoscenza esperta in conoscenza da insegnare (Martini, 2018). In particolare, avvalendoci dei contributi di ricerca sia teorica sia empirica provenienti da diversi ambiti disciplinari, intendiamo discutere le potenzialità connesse all'impiego di modelli simulativi nell'insegnamento della fisica per quanto concerne la valorizzazione e il potenziamento del pensiero ipotetico e controfattuale. Questa peculiare forma di ragionamento, dischiudendo la possibilità di mondi alternativi a quello attuale, può infatti rivelarsi un motore propulsore dell'innovazione in quanto favorisce la generatività di nuove idee a partire da un ampliamento dei punti di vista e dalla configurazione di scenari possibili.

1. Il ruolo degli esperimenti mentali controfattuali nell'evoluzione della scienza moderna

Sul piano linguistico, il condizionale controfattuale (letteralmente contrario ai fatti) è un tipo di condizionale che esprime il periodo ipotetico dell'irrealtà. Sul piano psicologico, il pensiero controfattuale si riferisce alla capacità di ipotizzare scenari alternativi a quello reale, capacità che può contribuire all'avanzamento e all'evoluzione di numerosi ambiti di studio quali la ricerca scientifica, medica, giuridica, economica, ecc. (Parisi, 2001). Storicamente la fecondità (sebbene non l'origine) di questa tecnica può essere fatta risalire a Galileo, il quale, argomentando *ex suppositione*, riesce a elaborare una nuova fisica contraria ai fatti dell'esperienza «ingenua» (McMullin, 1985). Da un punto di vista epistemologico, il saper ragionare controfattualmente appartiene all'*habitus* dello scienziato che interroga la natura manipolando concretamente i fenomeni che vi accadono per renderne intelligibili le cause. Le procedure sperimentali in cui si cimenta rappresentano, in questo senso, il correlato operativo del pensare contrariamente ai fatti (abituati), in quanto finalizzate a ricondurre l'intrinseca complessità della realtà all'ordine imposto artificialmente dall'esperimento. Scopo della sperimentazione è infatti separare analiticamente i molteplici fattori causali simultaneamente all'opera nei normali contesti quotidiani così da trasformare la situazione-problema iniziale in una situazione semplificata e controllata (esperimento) in cui vengono verificati gli effetti che la manipolazione di una sola variabile (indipendente) produce su

un'altra variabile (dipendente), rimanendo costanti tutte le altre condizioni (che rappresentano quindi le clausole *ceteris paribus* dell'eventuale legge).

L'invito galileiano a «difalcare gli impedimenti della materia» ci insegna dunque a guardare ai fatti dell'esperienza secondo una nuova *Gestalt*: non nella direzione di una loro generalizzazione induttiva a partire dall'osservazione naturalistica, ma nel senso di un'estrapolazione al caso limite suggerita dall'attività sperimentale. Paradigmatico, in proposito, il modo in cui Galileo giunge alla formulazione della legge di caduta dei gravi: isolando e facendo variare una singola causa (in questo caso la densità e viscosità del mezzo resistente) lo scienziato inferisce – controfattualmente – che tutti i corpi, indipendentemente dalle rispettive masse, cadrebbero nel vuoto alla stessa velocità, giustificando tale conclusione sulla base dell'uniformità di comportamento verso cui convergono quegli stessi corpi al tendere a zero della densità e della viscosità del mezzo resistente in cui ha luogo il loro moto (McMullin, 1985).

Questa operazione di semplificazione causale eseguita in concreto può essere compiuta, laddove necessario, anche ricorrendo esclusivamente all'immaginazione, attraverso la simulazione mentale di situazioni controfattuali in cui si fa agire il solo fattore (o i soli fattori) d'interesse al netto di tutti gli altri. Si parla a questo proposito di esperimenti mentali (*Gedankenexperiment*)¹, ovvero di esperimenti concettualmente possibili ma spesso non realizzabili nella pratica, elaborati allo scopo di testare le conseguenze e la coerenza interna di una teoria fisica attraverso l'esplicitazione di ciò che è logicamente implicato dai suoi assunti. Un esempio paradigmatico dell'impiego della tecnica del *Gedankenexperiment* è fornito da Galileo, nella Quarta Giornata dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attinenti alla meccanica ed i movimenti locali*, a proposito della scomposizione – puramente intelligibile ma non concretamente attuabile – del moto parabolico del proiettile nelle due componenti orizzontale e verticale. In questo quadro, il moto del proiettile² è logicamente concepito come un moto bidimensionale risultante dalla combinazione di due moti idealizzati e tra loro completamente indipendenti, che avvengono lungo direzioni distinte: un moto orizzontale rettilineo e uniforme, potenzialmente perpetuo (come vuole il principio d'inerzia), e un moto verticale uniformemente accelerato dovuto alla gravità del corpo in movimento. L'analisi concettuale operata da Galileo si configura, pertanto, come una trasposizione della tecnica di semplificazione causale dal piano empirico-fattuale a quello logico-ideale, che, in quanto campo delle pure possibilità di pensiero, non è assoggettato ai vincoli materiali imposti dall'effettiva realizzabilità pratica degli esperimenti. Lo scienziato inaugura così una prassi epistemica fondamentale per la nuova fisica, la quale consiste nel ricorrere alla simulazione mentale di situazioni ideali controfattuali che possano assolvere una funzione regolativa, euristica o critica nell'interpretazione scientifica della realtà naturale. Non a caso Thomas Kuhn (1985) riconosce nel *Gedankenexperiment* un potente strumento analitico a cui sono ricorsi i promotori di riforme concettuali profonde (in particolare Galileo ed Einstein) nei periodi di crisi rivoluzionaria.

- 1 Esistono differenti tipi di esperimenti mentali, non solamente quelli controfattuali di cui qui ci occupiamo. Per una panoramica si veda Dorato (2009).
- 2 Queste considerazioni possono essere estese al moto di un qualsiasi oggetto lanciato in orizzontale.

2. Il ragionamento controfattuale come ostacolo epistemologico

L'impiego del ragionamento controfattuale per costruire esperimenti mentali ideali è tanto fondamentale per il progresso scientifico quanto problematico per l'apprendimento. La controintuitività di questa prassi epistemica, che rappresenta un vero e proprio ostacolo epistemologico (Bachelard, 1995; Tombolato, 2018), è attestata storicamente dall'accusa, mossa a Galileo dai suoi contemporanei, di voler spiegare il reale «assumendo come base di partenza l'impossibile» (Koyré, 1979). Si rammentino, in proposito, le riserve del matematico Guidobaldo Del Monte sul metodo galileiano, di ascendenza archimedeo, di dedurre conclusioni vere da premesse false argomentando *ex suppositione* (Matthews, 2001). Questa difficoltà viene confermata anche da ricerche empiriche in ambito psicopedagogico e didattico sul rapporto tra fisica ingenua e fisica esperta (ad esempio, Fischbein, Stavy, Ma-Naim, 1992; Matthews, 2001; Schecker, 1992). Fischbein e colleghi (1992), ad esempio, osservando come molti studenti, nel rispondere a quesiti sul moto di oggetti in condizioni ideali di assenza di attrito, non sappiano ragionare controfattualmente, concludono che le «abitudini empiriche del comportamento mentale» delle persone ostacolano la formulazione di esperimenti mentali ideali e insistono sulla necessità di un insegnamento adeguato, finalizzato allo sviluppo di tale capacità.

Simile la posizione di Schecker (1992). Dai risultati di un'indagine condotta dal suo gruppo di ricerca su un campione di 254 studenti delle scuole superiori ai quali era stato chiesto di esprimere il proprio parere in merito all'utilizzo di esperimenti mentali nella fisica si evince, in generale, una scarsa consapevolezza epistemologica del rapporto tra teorizzazione scientifica ed evidenza empirica. Sebbene – commenta Schecker – solo uno studente su dieci giudichi il ricorso a casi ideali privo di senso opponendo, pertanto, un netto rifiuto al loro utilizzo, in realtà, dell'80% circa dei consensi, solo un terzo pare aver compreso adeguatamente la loro funzione nell'economia del progresso scientifico, ritenendoli degli strumenti concettuali indispensabili per rappresentare la realtà naturale. Conclusioni analoghe sono compatibili col quadro emerso all'interno dei laboratori di Fisica rivolti agli studenti del corso di laurea in Scienze della Formazione Primaria dell'università di Urbino, coordinati da chi scrive a partire dall'a.a. 2013-2014. Sottoponendo ai frequentanti qualche classico quesito (a risposta chiusa) sulla caduta dei gravi e sulla traiettoria dei corpi in movimento in assenza di attrito, è emerso ripetutamente come buona parte degli studenti scambi per reali e concrete le situazioni-problema idealizzate ed astratte che compaiono nei manuali a titolo di casi esemplari. Paradigmatico, a questo proposito, il caso della caduta dalla medesima altezza di gravi di diverso peso³ che vede, in genere, la maggioranza degli studenti schierarsi su due fronti. Da una parte coloro che cercano di visualizzare mentalmente la scena richiamando alla memoria episodi simili. Dall'altra, invece, coloro che reclamano la necessità di effettuare un "esperimento" reale così da poterne constatare visivamente l'esito, sebbene l'esempio faccia esplicito riferimento alla condizione ideale – controfattuale – di assenza di attrito.

La tendenza, manifestata da entrambi i gruppi, a tradurre in un'esperienza viva, reale o immaginata, il quesito in oggetto rivela la confusione diffusa circa la funzione

3 Se una palla di 4 Kg lasciata cadere da una certa altezza raggiunge il terreno in z secondi, quanto impiegherà a cadere dalla stessa altezza una palla di 2 Kg, supponendo nulla la resistenza dell'aria? (a) $2z$; (b) z ; (c) Fra z e $2z$. Quesito tratto da Shanon (1976).

che l'immaginazione e l'esperimento assolvono nell'indagine fisica, e suggerisce al contempo l'importanza di approfondire il rapporto tra pratica scientifica e visualizzazione. In questo quadro il nostro obiettivo è giustificare, da un punto di vista epistemologico e didattico, l'impiego di modelli simulativi per la costruzione del ragionamento controfattuale come abito di pensiero – dunque come risorsa anziché come ostacolo all'apprendimento – caratteristico della creatività scientifica.

3. Le potenzialità didattiche dei modelli simulativi per la costruzione del pensiero controfattuale

I modelli simulativi vengono impiegati nella ricerca scientifica per lo studio – attraverso la riproduzione a computer del rispettivo comportamento – di fenomeni e sistemi complessi caratterizzati dall'interazione di molti fattori. Si tratta di particolari modelli matematici le cui equazioni non sono risolubili analiticamente, ma vengono risolte per via numerica da un calcolatore. Nel mondo virtuale del modello simulativo è possibile seguire l'evoluzione nello spazio e nel tempo delle variabili delle equazioni (che hanno una corrispondenza con proprietà del sistema reale simulato), i cui valori possono essere eventualmente visualizzati sotto forma grafica (Pasini, 2003). Dal punto di vista epistemologico, le simulazioni possiedono uno status intermedio fra teoria ed esperimento (Parisi, 1991) e tra i loro vantaggi hanno indubbiamente quello di consentire la "creazione" di mondi possibili (Parisi, 2001). In genere, infatti, quando si lavora con simulazioni, il quesito che orienta la ricerca è del tipo "se...allora"; in particolare, l'obiettivo è controllare cosa succede nel momento in cui vengono modificati alcuni parametri del sistema, fino a spingersi ad esaminare situazioni controfattuali (Moretti, 2005).

Se sul piano epistemologico i modelli simulativi si dimostrano strumenti indispensabili nel processo di costruzione di conoscenza scientifica, in ambito didattico questi dispositivi tecnologici sono da qualche decennio oggetto d'interesse dei ricercatori per il potenziale contributo che possono apportare ai processi di apprendimento (Landriscina, 2010; 2013). Esistono, infatti, versioni didattiche semplificate come, ad esempio, le simulazioni interattive di matematica e scienze messe a disposizione a titolo gratuito dal Progetto PhET dell'Università del Colorado, istituito nel 2002 dal Premio Nobel Carl Wieman (<https://phet.colorado.edu>). Le simulazioni PhET, frutto di ricerche didattiche, sono caratterizzate da un'interfaccia grafica *user-friendly* che facilita l'utente nell'interazione col programma, immettendolo in un ambiente virtuale intuitivo e ludico dove è possibile apprendere attraverso l'esplorazione e la scoperta.

In questa loro traduzione didattica – che li spoglia degli aspetti più tecnici legati al loro utilizzo – i modelli simulativi conservano, tuttavia, ciò che li rende epistemicamente interessanti, ovvero la possibilità di modificare la realtà fino a "distorcerla", per comprendere meglio le conseguenze delle leggi con cui la interpretiamo. Le simulazioni interattive rappresentano così il correlato percettivo-operativo degli esperimenti mentali e si rivelano un prezioso supporto per l'apprendimento in quanto traducono visivamente proposizioni condizionali che rinviano a casi limite non esperibili al di fuori della realtà virtuale. Inoltre, a differenza degli esperimenti condotti nel "laboratorio" della mente (cognitivamente onerosi), dove la variazione delle grandezze fisiche coinvolte può essere solamente pensata, e le conseguenze delle "azioni" mentali possono essere inferite in maniera puramente logica, questo tipo di tecnologie interattive consente, attraverso la manipolazione concreta delle variabili in gioco, di ottenere un riscontro visivo immediato alle ipotesi formulate (Antinucci, 1999).

Alla luce di simili considerazioni, riteniamo che l'uso didattico di modelli simulativi possa rivelarsi potenzialmente fecondo per lo sviluppo del pensiero controfattuale, finalizzato anche alla costruzione di esperimenti mentali quale pratica di produzione di conoscenza, comune a diverse culture epistemiche⁴. Questo, tuttavia, concordiamo con Landriscina (2010; 2013), non implica che sia sufficiente «immergere le persone in una specie di videogioco per apprendere rapidamente qualunque cosa», e ciò è tanto più vero se l'obiettivo a cui si tende è l'apprendimento di un abito mentale (Bateson, 2007; Baldacci, 2010). Ne consegue, pertanto, la necessità, di ricercare empiricamente le condizioni didattiche appropriate per un uso efficace della simulazione al fine di promuovere in contesti formativi questo apprendimento di secondo livello.

Conclusioni

Gli esperimenti mentali controfattuali rappresentano una pratica esperta tipica della creatività scientifica che l'utilizzo didattico di modelli simulativi può contribuire a promuovere. Ciò ha conseguenze sia sul piano epistemologico che didattico. Sul piano epistemologico questa assunzione implica una concezione del sapere esperto come pratica sociale di riferimento, caratterizzata da abiti di pensiero e di azione condivisi dalle rispettive comunità scientifiche (Martini, 2017). Da un punto di vista didattico, essa reclama l'indagine empirica delle condizioni alle quali assoggettare l'acquisizione significativa di questo abito di pensiero (inter)disciplinare. In questo quadro costituisce una fertile direzione di ricerca l'indagine delle credenze epistemologiche (Mason, 2011) degli insegnanti in relazione ai tipi di obiettivi di apprendimento da conseguire attraverso l'impiego di modelli simulativi nell'insegnamento della fisica. È nostra convinzione, infatti, che un'eccessiva focalizzazione sui prodotti della conoscenza, a discapito dei processi entro cui essi si costituiscono (Tombolato, 2018), possa ostacolare la costruzione del ragionamento controfattuale e con esso, più in generale, lo sviluppo di una mente flessibile e multiprospettica in grado di pensare, per dirla con Brynjolfsson e McAfee, "out of the box".

Riferimenti bibliografici

- Antinucci, F. (1999). *Computer per un figlio. Giocare, apprendere, creare*. Roma: Laterza.
- Bachelard, G. (1995). *La formazione dello spirito scientifico*. Milano: Raffaello Cortina.
- Baldacci, M. (2010). Il curricolo e i suoi livelli logici. In L. Binanti, D. Ria (Ed.), *La ricerca educativa e formativa in Italia oggi*. Roma: Anicia, 17-25.
- Bateson, G. (2007). *Verso un'ecologia della mente*. Milano: Adelphi.
- Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2015). *La nuova rivoluzione delle macchine: lavoro e prosperità nell'era della tecnologia trionfante*. Milano: Feltrinelli.
- Dorato, M. (2009). Dalla freccia di Lucrezio all'ascensore di Einstein: alcune considerazioni sul ruolo degli esperimenti mentali nella scienza. *Rivista di estetica*, 42, 21-37.
- Fierli, M. (2003). *Tecnologie per l'educazione*. Roma: Laterza.
- Fischbein, E., Stav, R., Ma-Naim, H. (1992). La struttura psicologica dell'idea ingenua di im-

4 Una cultura epistemica – concetto che si deve alla sociologa Karin Knorr-Cetina (1999) – consiste di un insieme di operazioni di ricerca scientifica che devono essere considerate altamente tipiche rispetto alla costruzione di un particolare dominio scientifico (Moretti, 2005).

- pulso. In B. D'Amore, G. Vergnaud (Ed.), *Matematica a scuola: teorie ed esperienze*, 6, 39-50.
- Knorr-Cetina, K. (1999). *Epistemic cultures: how the sciences make knowledge*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Koyré, A. (1979). *Studi galileiani*. Torino: Einaudi.
- Kuhn, T. S. (1985). Una funzione per gli esperimenti mentali. In Id., *La tensione essenziale: cambiamenti e continuità nella scienza* (261-289). Torino: Einaudi
- Landriscina, F. (2010). Simulando (a volte) si impara. *FOR Rivista per la formazione*, 85, 52-56.
- Landriscina, F. (2013). Simulation-Based Learning: questioni aperte e linee guida per un uso didatticamente efficace della simulazione. *Form@re: Open Journal per la Formazione in Rete*, 13(2), 68-76.
- Martini, B. (2017). Habitus e gioco epistemico: costrutti per una pedagogia dei saperi. In M. Susca (Ed.), *Pierre Bourdieu. I mondi dell'uomo, i campi del sapere* (pp. 209-225). Napoli-Salerno: Orthotes.
- Martini, B. (2018). La dialettica sapere formale/sapere della pratica alla luce della dialettica sapere/sapere da insegnare. *METIS. Mondi Educativi*, 8(2), 50-67.
- Mason, L. (2011). *Verità e certezze: natura e sviluppo delle epistemologie ingenuae*. Roma: Carocci.
- Matthews, M. R. (2001). Learning about Scientific Methodology and the "Big Picture" of Science: The Contribution of Pendulum Motion Studies. *Philosophy of Education Yearbook*, 204-213.
- McMullin, E. (1985). Galilean idealization. *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A, 16(3), 247-273.
- Moretti, S. (2005). *Modelli e conoscenza scientifica*. Milano: Guerini.
- Parisi, D. (2001). *Simulazioni. La realtà rifatta nel computer*. Bologna: Il Mulino.
- Parisi, G. (1991). APE: un computer superveloce. In G. Cortini (Ed.), *Percorsi di fisica*. Scandicci: La nuova Italia, 115-126.
- Pasini, A. (2003). *I cambiamenti climatici: meteorologia e clima simulato*. Milano: Mondadori.
- Schecker, H. P. (1992). The paradigmatic change in mechanics: Implications of historical processes for physics education. *Science and Education*, 1(1), 71-76.
- Shanon, B. (1976). Aristotelianism, Newtonianism and the physics of the layman. *Perception*, 5(2), 241-243.
- Tombolato, M. (2018). La dialettica generale/specifico alla luce del costrutto didattico di ostacolo epistemologico. *Formazione & Insegnamento. Rivista internazionale di Scienze dell'educazione e della formazione*, 16(2), Supplemento, 205-214.

