



L. GAMMAIONI, A. VULPIANI

PERCHÉ È DIFFICILE PREVEDERE IL FUTURO
IL SOGNO PIÙ SFUGGENTE DELL'UOMO SOTTO LALENTE
DELLA FISICA

Edizioni Dedalo, 2019

pp. 152, € 16,50
ISBN 978-88-220-6882-8

Luca Gammaioni e Angelo Vulpiani, internazionalmente noti per i numerosi, fondamentali contributi nei campi della meccanica statistica e dei sistemi complessi, avranno giustamente pensato che sia giunto il tempo di levarsi contro il dilagare delle bufale e delle “verità alternative” in quei settori scientifici che più direttamente riguardano la vita quotidiana e il nostro futuro. Vaccini e cambi climatici sono due esempi. Premunirsi contro i futuri rischi sarebbe compito della buona politica e della personale consapevolezza; ma esiste una linea di condotta, sostenuta da razionalità e sufficiente conoscenza, tra i due estremi di allarme e di noncuranza? A giudicare dal titolo del libro i nostri autori sembrano rivolgersi a coloro che si affidano a maghi e indovini, o più semplicemente agli oroscopi, per sapere ciò che li aspetta. Per dire loro già nella Premessa che sul piano scientifico esistono fatti futuri perfettamente prevedibili, come il sorgere del sole e le eclissi, altri che sono per natura esprimibili solo in termini probabilistici, tanto meno certi quanto più a lungo termine, come le previsioni del tempo, e altri ancora intrinsecamente non prevedibili come la combinazione vincente del lotto o il prossimo crollo della borsa.

Potrebbe essere carta sprecata per i più che alla conoscenza senza verità, quale è la scienza (e costa fatica) preferiscono le verità senza conoscenza, che caratterizzano le più svariate credenze e non costano (quasi) nulla: al più un click sul web o il consulto (non gratis, visto il vertiginoso giro d'affari) di un X-omante (dove X sta per una delle 130 forme di divinazione elencate nel capitolo 1 del libro su “Predizione, divinazione, profezia”). L'indimostrabile, che caratterizza le ipotetiche forze occulte che decidono il nostro futuro e che solo l'X-omante può sondare, lungi dall'essere una debolezza, è piuttosto un'inespugnabile forza, contro la quale l'eventuale smentita dei fatti può più delle armi della logica scientifica.

Ma non disperiamo. In fondo questi due tentativi, divinatorio e scientifico, di conoscere il futuro hanno di fatto segnato il processo

di civilizzazione. Negli organismi superiori la memoria codifica rapporti di causa-effetto. Tale funzione, fondamentale ai fini della sopravvivenza e quindi dell'evoluzione, è in sostanza una previsione del futuro nella sua forma più elementare. Nella storia evolutiva dell'uomo la ricerca delle cause di eventi naturali, dannosi o benefici, ai fini della loro predicibilità sta alla base dello sviluppo culturale. La conoscenza scientifica del mondo come habitat ed ethos, seppure conseguita attraverso un faticoso lavoro che dura da millenni, si è rivelata assai più efficace della semplice personificazione delle cause naturali, propria delle religioni primitive e finalizzata a un rapporto diretto (o per interposto stregone) con le corrispondenti divinità.

Efficace quanto? Vi sono da un lato molti effetti e cause in corrispondenza biunivoca, ciascuna effetto con una singola causa e ciascuna causa con un singolo effetto. Ma vi sono, d'altro canto, fatti naturali che possono avere più cause, e queste essere indipendenti o correlate, così come cause che possono produrre diversi effetti, indipendenti o correlati. Le scienze fisiche, attraverso la misura di cause ed effetti e la ricerca di relazioni matematiche tra essi che potessero permettere previsioni su tempi abbastanza lunghi, si sono occupate, dalle origini fino a tempi recenti, della prima categoria di eventi, sempre cercando di ricondurre, ove possibile, fatti osservati a singole cause note. Con l'Illuminismo, la nozione matematica di probabilità e il suo uso nella descrizione statistica dei sistemi con un grande numero di gradi di libertà aprono la strada alla fisica dei sistemi complessi e degli eventi della seconda categoria. Con la fisica dei sistemi complessi, previsioni come quelle meteorologiche e delle maree, un tempo molto empiriche, diventano assai più attendibili e precise, siano pure espresse in termini probabilistici. Vi sono poi sistemi in apparenza semplici ma governati da relazioni causa-effetto non lineari, per molti dei quali la fisica individua dinamiche intrinsecamente non prevedibili. In questo caso la fisica, anziché fornire un aiutino

sottobanco a maghi e indovini, ne vanifica le pretese.

A questo però maghi e indovini hanno pensato, sviluppando per le previsioni incerte o impossibili (ma anche per quelle esatte, del resto da essi volutamente ignorate quanto dai clienti) un linguaggio ambivalente o incompleto, sibillino appunto: dalla Pizia alle “ultime parole famose”, gli autori ci presentano un florilegio nel capitolo 2. Ma anche le previsioni (quasi) esatte, fondate su biunivoche relazioni di causa-effetto descritte da una solida matematica come il moto dei proiettili e dei pianeti hanno dovuto farsi strada contro pregiudizi e aprioristiche credenze. La previsione di Halley e quindi l'effettivo ritorno della cometa che porta il suo nome nel 1758, con un ritardo di 618 giorni dovuto alle perturbazioni di Giove e Saturno secondo il preciso calcolo del grande matematico Alexis Clairault, fu un fatto sconvolgente, certamente un grande contributo al secolo dei Lumi! Il calcolo delle perturbazioni, come ricordano gli autori nel terzo capitolo dedicato alle previsioni “semplici”, portò a ulteriori trionfi come la scoperta di Nettuno nel 1846 (seguita a quella di Urano, il primo ad essere scovato e riconosciuto per osservazione diretta con un telescopio da Sir William Herschel nel 1781). L'evento segnò il trionfo del determinismo e, grazie alla reversibilità temporale delle equazioni del moto, consentì a detta di Laplace di “predire il passato”. In effetti la sfortunata disfatta di Nicia a Siracusa avvenne subito dopo un'eclissi totale di Luna, come raccontato da Tucidide, e che oggi sappiamo essere avvenuto il 27 agosto 413 a.C.

D'altra parte lo stesso Laplace nel suo *Essai philosophique sur les probabilités* del 1814, affermava: «La régularité que l'astronomie nous montre dans le mouvement des comètes, a lieu sans aucun doute, dans tous les phénomènes. La courbe décrite par une simple molécule d'air ou de vapeurs, est réglée d'une manière aussi certaine que les orbites planétaires; il n'y a de différences entre elles, que celle qu'y met notre ignorance. La probabilité est relative en partie à cette

ignorance, en partie à nos connaissances».

Questo argomento porterà alla meccanica statistica e all'interpretazione statistica della termodinamica e dell'irreversibilità, e quindi alle "Previsioni meno semplici" che costituiscono il capitolo 4 del nostro libro. Vi si narra delle maree e della macchina analogica di Darwin Jr. e Lord Kelvin per la loro previsione, macchina che venne rispolverata e rimessa in funzione (vd. Bruce Parker, *Physics Today*, 64, N. 9 (2011) 35) da Thomas Doodson presso il Liverpool Tidal Institute, per calcolare i giorni più adatti allo sbarco in Normandia (calcolo che i nazisti non seppero fare: un altro esempio che gli scienziati prima degli eserciti vinsero la II guerra mondiale). Con le previsioni del tempo le cose sono meno semplici: dall'avvincente storia di Lewis Richardson all'approccio di John von Neumann le cose si fanno complesse. Nascono la nozione e la fisica della complessità e il paradigmatico effetto-farfalla, ove un piccolissimo cambiamento delle condizioni iniziali induce un cambiamento esponenziale nel tempo dello scostamento tra due traiettorie contigue. Nondimeno la grande quantità di dati e immagini raccolta dai satelliti meteorologici e inserita in efficienti modelli consente previsioni generali sufficientemente attendibili.

Ma anche sistemi apparentemente elementari possono nascondere imprevedibili complicazioni, anzi il caos! Classici esempi sono il pendolo di Todd, il biliardo di Sinai, il problema astronomico di tre corpi sottoposti alle sole forze di gravità: nonostante il piccolo numero di gradi di libertà in questi sistemi e leggi del moto perfettamente conosciute, un cambiamento minimo delle condizioni iniziali porta a scostamenti delle traiettorie sempre più grandi e a imprevedibili moti caotici (capitolo 5). Per fortuna i clienti di maghi e veggenti non sono interessati al moto gravitazionale dei tre corpi né al pendolo di Todd (rabbdomanti a parte). Sarebbero più interessati alla previsione di terremoti e finanza (capitolo 6), ma qui cominciano le dolenti note, non solo per la drammaticità degli eventi, ma per la loro appartenenza a quella categoria di fenomeni dove la prevedibilità scientifica è attualmente minima, e dove le mistificazioni abbondano. Gli autori ricordano

giustamente le vicende dell'Aquila, con le assurde accuse agli scienziati di non avere previsto il terremoto, così come quelle della regina Elisabetta agli esperti di finanza che non avevano previsto il crack della Lehman Brothers.

Chiariti i tre livelli di prevedibilità, gli autori nei tre capitoli successivi riordinano le nostre idee con un po' di matematica e di modelli, discutendo se ai fini delle previsioni per sistemi complessi siano meglio i modelli oppure l'analisi di un grande numero di dati relativi al sistema reale accumulati nel passato. Nel capitolo 8, dedicato al mondo delle probabilità, si parla di probabilità condizionata, analisi Bayesiana, dei grandi contributi di Kolmogorov e Shannon, e di quanti paradossi vi siano riguardo alla percezione della probabilità e di certi eventi (ad esempio probabilità di contrarre una certa malattia). Molto interessanti le conseguenze, alcune famose, dove la statistica è usata impropriamente in tribunale per motivare decisioni preconette. Il capitolo 9, dedicato alle previsioni in assenza di regole certe, discute di distribuzioni di probabilità e decifrazione di codici, di leggi dei grandi numeri, di gaussiane e metodi Monte Carlo, di eventi rari e fluttuazioni selvagge.

La constatazione che il determinismo è solo un limite ideale, entro il quale cerchiamo di analizzare i fenomeni naturali al fine di fare previsioni, porta inevitabilmente a discutere la meccanica quantistica (capitolo 10), che avrebbe a fondamento un principio di indeterminazione ed è nondimeno la teoria più esatta mai escogitata, in grado di calcolare proprietà atomiche con straordinaria precisione. L'argomento merita naturalmente un libro a sé, e tanti ne sono stati scritti sull'interpretazione della meccanica quantistica e la questione del determinismo *versus* realismo. Emblematiche le incertezze di Einstein, dal battesimo della meccanica quantistica per spiegare l'effetto fotoelettrico, all'idea delle variabili nascoste e all'incompletezza (EPR), per poi dubitare delle variabili nascoste escogitate da David Bohm. L'indeterminazione di Heisenberg non sarebbe di per sé un principio, riguardando anche tutti i fenomeni ondulatori classici come conseguenza del teorema di Fourier.

La novità sta nelle relazioni di Planck e de Broglie, e nella costante universale che governa l'indeterminazione. Da qui emerge alla fine del libro l'inevitabilità del tempo nel mondo quantistico: la "meccanica quantistica vieta l'immobilità e richiede necessariamente il movimento". Ritorna il problema ontologico del tempo, enunciato nella citazione di Agostino d'Ippona all'inizio del libro. L'ontologia dei processi anziché degli oggetti, formulata da Alfred Whitehead nel primo ventennio del '900, potrebbe di fatto costituire l'ambito filosofico della meccanica quantistica, sebbene l'idea sia antica, anticipata da Duns Scoto nelle *Questiones* ove afferma che la natura delle cose si apprende dal loro movimento.

Tanti sono dunque gli spunti e i motivi di riflessione che emergono da questo eccellente libro, tanto per noi impegnati nella ricerca, quanto e soprattutto per coloro che nella scienza hanno fiducia e hanno consapevolezza che solo con una crescente conoscenza della natura potremo programmare un mondo migliore.

Giorgio Benedek
Università di Milano-Bicocca

Lecture consigliate:

- R. Benzi, G. Parisi, A. Suter, A. Vulpiani, "Stochastic resonance in climatic change", *Tellus*, 34 (1982) 10.
- L. Gammaitoni, P. Hänggi, P. Jung, F. Marchesoni, "Stochastic resonance", *Rev. Mod. Phys.*, 70 (1998) 223; "Stochastic Resonance: A remarkable idea that changed our perception of noise", *Eur. Phys. J. B*, 69 (2009) 1.