

11 giugno 2003

La causazione come scienza ingenua

John D. Norton ¹
Dipartimento di Storia e Filosofia della Scienza
Università di Pittsburgh
jdnorton@pitt.edu

Traduzione italiana di Gio Matteo Risso Ricci
gmrissoricci@yahoo.it

Prima pubblicazione: John D. Norton, "Causation as Folk Science",
Philosophers' Imprint Vol. 3, No.4

<http://www.philosophersimprint.org/003004/>

In via di pubblicazione in "Causation, Physics and the Constitution of
Reality: Russell's Republic Revisited", a cura di H.Price e R.Corry,
Oxford University Press.

La causazione come scienza ingenua

Io nego la natura fundamentalmente causale del mondo; derivo un'impostazione scettica da premesse non-humeane, dal continuo fallimento di ogni tentativo di trovare un principio contingente ed universale di causalità che al contempo sia in accordo con la nostra scienza. Spiego poi il prevalere e la fecondità di nozioni causali nella scienza, argomentando che in molte scienze è possibile recuperare un carattere causale a condizione che esse siano ristrette a domini adeguatamente ospitabili. Ivi esse si adeguano ad un assortimento limitato di nozioni causali che costituiscono una scienza ingenua della causazione. Questo riscatto della causazione fa uso del potere generativo delle relazioni di riduzione; il medesimo potere, laddove ciascuna teoria viene limitata ai domini opportuni, ci permette di rinvenire la forza di gravità dalla teoria generale della relatività di Einstein, ed il calore inteso come fluido conservato (il calorico) dalla fisica termica moderna. Le cause nella scienza risultano dunque "vere" allo stesso grado del calorico e delle forze gravitazionali.

1. Introduzione

Ognuna delle singole scienze particolari si propone di comprendere solamente un qualche dominio ristretto dei processi della natura- la chimica, i processi chimici; la biologia, i processi della vita; e così via. Tuttavia, in vista del fatto che i processi naturali sono regolati in maniera non insignificante dalle nozioni di causa ed effetto, è diffusamente accettata l'idea che tutte le scienze siano unificabili ad un livello più profondo. L'esistenza di una causa ed un effetto è solitamente enunciata nella forma di una legge di causazione o di un principio di causalità (genericamente viene affermato che ogni effetto è prodotto per legittima necessità a partire da una data causa). Ci si attende quindi che le nostre descrizioni del mondo vi si conformino.²

Lo scopo che mi prefiggo in questo scritto è di contestare questa idea della causazione come il principio sottostante tutti i processi naturali. Propongo una tesi negativa ed una tesi positiva.

- Nella tesi negativa sostengo l'idea che i concetti di causa ed effetto non costituiscono affatto i concetti fondamentali della scienza, e che la scienza non è affatto governata da una legge o principio di causalità.

Con ciò non affermo certo che i discorsi "causali" sono privi di senso o inutili, tutt'altro. Simili discorsi costituiscono comunque un modo assai fruttuoso di concepire il mondo, e cercherò di spiegare brevemente per quale motivo. Ciò che invece contesto apertamente è la concezione secondo cui lo scopo delle scienze è quello di trovare, per ciascun dominio scientifico, le formulazioni particolari di un principio causale basilare. Nella mia argomentazione sostengo che secoli di tentativi vani di formulare un principio di causazione (peraltro fortemente presupposto nell'introduzione di nuove teorie scientifiche) hanno lasciato quest'ultimo talmente malleabile che qualsiasi scienza nuova è teoricamente passibile di essere plasmata per conformarvi. Una nozione così duttile risulta incapace di limitare lo spettro del possibile, ed è fisicamente vuota. La mia è una forma non-humeana di scetticismo in quanto si fonda sul prendere sul serio il contenuto delle teorie scientifiche mature e non su una rigorosa epistemologia.

Le scienze mature, a mio avviso, sono capaci di gestire i loro specifici ambiti senza l'ausilio di nozioni e principi di natura causale. Questi ultimi appartengono a sforzi precedenti di comprendere il nostro mondo, oppure a riformulazioni semplificate delle teorie mature, volte a sacrificare la precisione per la chiarezza. In questa accezione parlerò delle nozioni causali come appartenenti ad una sorta di scienza ingenua, ossia ad una rozza e mal fondata imitazione delle scienze più progredite. Ma sebbene questa scienza ingenua sia di certo inferiore alla nostra scienza migliore, non intendo certo raffigurarla come pura finzione. Piuttosto cercherò di stabilire in che modo il suo contenuto possa venir valutato dalla nostra scienza superiore, senza che le nozioni causali diventino indispensabili:

- Nella mia tesi positiva sosterrò che le teorie scientifiche ordinarie possono adeguarsi a questa scienza ingenua laddove vengano circoscritte a processi adeguati ed ospitali; ed il modo in cui ciò avviene fa ricorso al potere generativo delle relazioni di riduzione, un potere solitamente utilizzato per il recupero, in casi speciali, di vecchie teorie a partire da teorie più recenti.

Questo importante potere generativo è da tempo risaputo. Permette alla teoria della relatività einsteiniana di restituirci la gravità intesa come forza newtoniana nel nostro sistema solare, sebbene la teoria di Einstein ci assicura che la gravità non sia sostanzialmente affatto una forza. Inoltre ci spiega perché, fintanto che non vi siano interscambi fra processi di calore e lavoro, il calore si comporta come un fluido conservato, proprio come sostenevano i teorici del calorico. In entrambe le sfere può risultare enormemente utile, da un punto di vista euristico, trattare la gravità come una forza o il calore come un fluido, e possiamo farlo senza contrastare le nostre scienze migliori. La mia tesi positiva è che sia le cause che i principi causali vengano rinvenute da parte della scienza nel medesimo modo, e che hanno lo stesso status: si tratta di nozioni utili sotto il profilo euristico, approvate dalle nostre migliori teorie scientifiche; ma non per questo occorre scambiarle per i principi fondamentali della natura. In effetti si può arrivare a dire che le cause sono vere nella misura in cui lo sono le forze gravitazionali o il calorico.

A seguire

Nella Sezione 2 illustrerò una forma di scetticismo nei confronti della causalità che chiamo “anti-fondamentalismo”, e presenterò in forma problematica la mia tesi negativa. Nella Sezione 3 renderò esplicito come anche le teorie fisiche più semplici possano risultare ostili nei confronti della causazione, rinforzando così le argomentazioni della Sezione 2. Nella Sezione 4 inizierò a sviluppare la tesi positiva delineando il potere generativo delle relazioni di riduzione. Nella Sezione 5 descriverò la teoria ingenua della causazione, che si ottiene a partire dalla scienza grazie al potere generativo delle relazioni di riduzione. La Sezione 6 presenta esempi dell'utilizzo della teoria ingenua per individuare cause iniziali e finali, mentre la Sezione 7 espone una breve conclusione.

Il quadro ivi presentato non è uno di scetticismo puro nei confronti della causalità. Alla tesi negativa (scettica) si accompagna una tesi positiva (costruttiva), ed invito i lettori a considerarle entrambe nella loro relazione reciproca.

2. Il dilemma del Fondamentalista causale

L'accessorietà delle cause

Nella sua acclamata risposta, Russell (1917, p.132) aveva veramente colpito nel segno:

“Tutti i filosofi di tutte le scuole si immaginano che la causazione costituisca uno degli assiomi o postulati fondamentali della scienza; eppure, stranamente, la parola “causa” non si incontra mai nelle scienze avanzate, quali l’astronomia gravitazionale... A mio avviso, la legge di causalità, come molte altre cose che ottengono l’approvazione dei filosofi, non è altro che un cimelio dei tempi passati che, come la monarchia, sopravvive solo perché si suppone erroneamente che non fa male a nessuno”.

Quando le scienze fondamentali si prefiggono di essere precise non fanno ricorso alle cause, bensì a forze gravitazionali, o voltaggi, o differenze di temperatura, o potenziali elettrochimici; o a miriadi di altri termini, centrali ed attentamente ideati. Eppure si ritiene esse dovrebbero comunque essere incentrate sulle cause. Verosimilmente, si può tracciare un’analogia con il resoconto di una rapina in banca. Questa si può descrivere fin nei minimi dettagli- lo scasso del lucchetto, l’insaccamento del denaro- senza mai parlare effettivamente di “furto” o “rapina”. Se ci viene da pensare che la nozione di causa possa avere un simile ruolo furtivo all’interno della scienza, può essere consolante paragonare il caso della causalità con quello dell’energia. Molte scienze si occupano di un’entità comune, l’energia, che si manifesta direttamente e diffusamente al loro interno. A volte compare con un particolare nome- l’energia cinetica, l’energia potenziale, l’energia dei campi, l’energia elastica- ed in altre occasioni si presenta sotto forma di un sinonimo: il calore, il lavoro, o la funzione hamiltoniana. Tuttavia, vi sono pochi dubbi che ognuna delle scienze sta parlando della stessa, medesima cosa. In ciascuna scienza le diverse energie sono passibili di una misurazione su scala comune, un certo quantitativo di Joules, ad esempio; ed esisterebbero innumerevoli processi che trasformano l’energia di una determinata scienza nell’energia di un’altra, a conferma che si tratta in fondo della stessa roba. Il termine non è meramente decorativo, è bensì centrale a ciascuna teoria.

Il Fondamentalismo causale

Se si sostiene che le nozioni di causa ed effetto rivestono un ruolo non semplicemente decorativo nella scienza, allora occorre trovare qualche giustificazione manifesta a riprova della loro importanza. E’ evidente che sarebbe troppo severo aspettarsi che le cause siano tutte misurabili su una scala comune alla stregua delle diverse forme di energia. Possiamo permetterci di essere un po’ meno rigidi. Tuttavia ci occorre trovare una qualche giustificazione; sottrarre denaro costituisce un furto in virtù di un corpo riconoscibile di legge penale. Quale sarà dunque la giustificazione cercata? Essa deve comportare che la nozione di causa rappresenti una qualche proprietà fattuale dei processi naturali; altrimenti non sarebbe altro che un esercizio di etichettatura. Inoltre, la nozione deve essere la medesima (o perlomeno risultare simile) nelle diverse scienze; altrimenti l’uso dello stesso termine in diversi ambiti non sarebbe nient’altro che un gioco di parole. Io ritengo che questa giustificazione cercata sia al contempo

largamente accettata ed un vero e proprio motore di gran parte della letteratura filosofica riguardante la causazione. La denominerò:

Fondamentalismo causale: La natura è governata da cause ed effetti; inoltre, è compito delle singole scienze scoprire, nell'ambito specialistico della loro materia di studio, le espressioni particolari della nozione generale.

Il mio obiettivo nella presente Sezione è quello di contestare questa visione del mondo. In poche parole, io ritengo che il fondamentalismo causale non sia altro che una sorta di scienza a priori che tenta di legiferare in anticipo su come il mondo debba essere costituito. Questi suoi sforzi sono finora falliti. Le nostre teorie presenti si sono dimostrate sufficientemente ardue da trovare, ed il loro contenuto risulta alquanto sorprendente. Non ci hanno compiaciuto conformandosi a stereotipi causali prefissati, e vi sono poche speranze che gli stereotipi causali presenti facciano di meglio.

La difficoltà che affronta il fondamentalismo causale si precisa come segue:

Il dilemma del fondamentalista causale: O vale l'idea che il conformarsi di una scienza alle nozioni di causa ed effetto comporta una limitazione del contenuto fattuale della medesima; OPPURE non vale. In ogni modo si incontrano problemi che abbattano l'idea che le cause sarebbero fondamentali per la scienza. Nel primo ramo si tratterebbe di trovare una qualche forma di limitazione del contenuto fattuale che risulti applicabile correttamente a tutte le singole scienze; ma, a giudicare dal panorama attuale, non sembra essere in arrivo alcuna appropriata limitazione. Nel secondo ramo si verifica che poiché l'imposizione della cornice causale non cambia il contenuto fattuale delle scienze, essa si rivela come nient'altro che un'onorificenza vuota.

Il primo ramo

Una lunga tradizione di resoconti della natura di cause ed effetti (e della legge o principio di causalità) si è imperniata sul discernere in che modo la causazione limita la gamma delle possibilità. La storia di queste tradizioni ha fruttato una chiara lezione: ogni loro tentativo di impiantare una limitazione su una qualsiasi scienza eventualmente fallisce. Non mancano di certo candidati per la limitazione fattuale di cui parla il primo ramo. Il problema è che nessuno di essi funziona. Facciamone una breve panoramica.

Aristotele registrò quattro nozioni diverse di causa: quella materiale, quella efficiente, quella finale, e quella formale; le più conformi a quello che oggi chiameremo cause sono la causa efficiente e quella finale. La causa finale, ossia la meta verso cui un processo tende, era evidentemente modellata sull'analogia fra il processo interessato ed i processi animati. Nel diciassettesimo secolo, con l'avvento della filosofia meccanicista, si ritenne che le cause finali semplicemente non possedevano il ruolo di base che possedevano invece le cause efficienti, e che quindi tutta la scienza si dovesse ricostruire utilizzando solo quest'ultime. (De Angelis, 1973) Fu un colpo da cui le cause finali non si ripresero mai del tutto, sebbene tuttora si continui a discuterne.

La causa efficiente, l'agente che innesta il processo, non fu da meno nel creare confusione. Newton (1692/93; terza lettera) non si preoccupò certo di

sembrare diplomatico nella sua critica della gravità come azione causale a distanza:

...che un corpo possa agire su un altro, a distanza ed attraverso un vuoto, senza la mediazione di alcunché attraverso cui l'azione e la forza possano venir trasferiti da un corpo all'altro, mi sembra tale un'assurdità che credo che nessun uomo dotato di facoltà di pensiero in materia filosofica possa mai crederci. La gravità deve essere causata da un'agente che agisce con costanza ed in accordo con certe leggi...

Le cause non possono agire laddove non sono. Tuttavia, secoli di tentativi vani di individuare un meccanismo o persino una velocità finita per la propagazione della gravità portò a malincuore nel diciannovesimo secolo all'accettazione che effettivamente questa particolare causa poteva agire laddove non era.

Nello stesso secolo, la caratterizzazione della scienza come la ricerca sistematica delle cause (come si vede ne *Il sistema della logica* di Mill) vide l'assunzione, da parte della nozione di causa, di un ruolo di primo piano. Contemporaneamente una prospettiva illuminata e scettica cercava di ripulire la nozione di causazione dalle superflue decorazioni di carattere metafisico e scolastico. Mentre di solito si tende a distinguere nei processi causali fra agente e paziente, fra ciò che agisce e ciò che subisce l'azione, Mill (1872, Bk III, Ch.V, §4) insisteva che si tratta di una distinzione meramente di convenienza. O meglio, incalzò, la persistenza dell'effetto in fondo non necessita l'esistenza continuata della causa (§7). Rimase solo la nozione che la causa non altro che l'antecedente, facoltativo ed invariante: "Per ogni evento esiste una qualche combinazione di oggetti o eventi, una qualche data coincidenza di circostanze, positive e negative, la cui manifestazione è sempre seguita dal fenomeno stesso." (§2)

La causazione era stata ridotta a determinismo: basta determinare in maniera sufficientemente ampia le condizioni presenti e l'andamento futuro è di conseguenza stabilito. Così l'ottocento ci regalò l'immagine durevole della celebre "intelligenza calcolatrice" di Laplace, capace di calcolare l'intero passato e futuro della storia dell'Universo a partire dalle forze prevalenti allo stato presente. Questa grande impresa fu derivata direttamente dalla nozione secondo cui la causalità implica il determinismo, come è testimoniato dalla frase d'apertura di Laplace (1825, p.2): "Possiamo considerare lo stato attuale dell'universo come l'effetto del suo passato e la causa del suo futuro".

Questa nozione scorrevole e purificata di causazione era matura per la catastrofe, poiché ineriva ad una nozione assai fragile: quella di determinismo. L'avvento della moderna teoria dei quanti ne segnò la disfatta. Infatti, secondo l'approccio standard, spesso il meglio che si poteva trarre dalla teoria dei quanti erano mere *probabilità* riguardo a eventi futuri. Neanche la più completa descrizione dello stato attuale dell'Universo può determinare se un qualche atomo di Radio-221 decadrà effettivamente nel corso dei prossimi 30 secondi (il suo tempo di dimezzamento); al massimo si può dire che vi è una possibilità di decadenza pari a $\frac{1}{2}$. Il rammarico per la perdita della causalità divenne una vera fissazione nei moderni testi di fisica (es. Born 1935, p.102).

Sebbene la confutazione sembrava completata, la causazione sopravvisse, benché assai fiaccamente. Se le cause non sono in grado di generare i propri effetti, almeno possono farne sorgere le probabilità, si pensava. Nacque così una nuova nozione di causazione, la causazione probabilistica.³ La teoria dei quanti apportò anche altre, profonde difficoltà alla nozione di causazione. In virtù dell'idea di non-separabilità, la teoria dei quanti ammette che due particelle che

interagirono in passato possano rimanere aggrovigliate, in modo tale che il comportamento di una possa sempre essere influenzato istantaneamente da quello dell'altra, anche se viaggiano ad anni luce l'una dall'altra. Ciò ostacola gravemente qualsiasi resoconto della causalità che cerca di rappresentare le cause come localizzate nello spazio e nel tempo, e che nega la possibilità di propagazione causale sopraliminale.

E' comprensibile l'atteggiamento di chi spera che questa nozione attenuata di causazione probabilistica possa risultare sufficientemente debole da combaciare tranquillamente con la nostra fisica. Il fatto spesso trascurato è che non lo è mai stata! Tutte le nostre teorie fisiche standard presentano una forma o l'altra di indeterminismo.⁴ (Cfr. Earman, 1986; Alper *et al.*, 2000) Ne segue che si possono sempre trovare delle circostanze in cui la specificazione completa del presente non permette di determinare il futuro. Nell'incapacità di determinare il futuro le teorie non limitano neanche la gamma di possibilità in maniera probabilistica, indicandone alcune come più plausibili di altre. Non offrono alcuna probabilità in assoluto. Per la relatività generale questa disfatta del determinismo è normale, deriva direttamente dalle sue complesse geometrie spaziotemporali all'interno delle quali parti diverse dello spazio-tempo possono essere completamente isolate da altre. Perché il determinismo possa trionfare deve essere possibile selezionare una fetta spaziale dello spazio-tempo che possa fungere da "adesso", e che risulti al contempo sufficientemente ben collegata con tutti i tempi futuri che tutti i processi futuri sono già evidenti in una qualche sua "trace form" [N.d.T: La forma bilineare ottenuta dalla traccia di un campo F]. Assai comunemente gli spaziotempi della relatività generale non ammettono affatto simili fette spaziali. Quello che è ancora meno noto è il fatto che l'indeterminismo può emergere anche nell'ordinaria fisica newtoniana. A volte emerge in maniera esotica, con la materializzazione di "space invaders" dall'infinito con velocità illimitata e senza alcuna traccia nel tempo precedente; oppure può emergere nelle interazioni di un numero infinito di corpi. In altri casi ancora emerge in circostanze talmente prosaiche che ci si chiede come è stato possibile tralasciarlo per sostenere il mito del determinismo nella fisica classica. Nella prossima Sezione viene illustrato un semplice esempio.

Con una simile collezione di fallimenti, lo sperare che si possa ancora trovare un qualche principio contingente di causalità a cui farebbero riferimento tutte le scienze future di certo non passa più meramente per ingenuo ottimismo. In questo senso la nozione di causazione più promettente al presente è la "process view" (veduta dei processi) di Dowe, Salmon ed altri. Nell'individuazione dei processi causali come processi che trasmettono una quantità conservata attraverso un cammino spaziotemporale continuo, questa prospettiva mira a reagire con grande responsabilità al contenuto delle nostre scienze mature. Se la teoria ambisce meramente a individuare quali processi della scienza presente si meritino l'etichetta di causale e quali invece no, posso dire che fra i resoconti che conosco è di certo quello di maggiore successo. Se tuttavia pretende fornire una base fattuale per un principio causale universale, allora non è altro che un tentativo di costruire una scienza a priori, reso peraltro ancora più fragile dal suo contenuto forte. Se, come emerge dalle restrizioni della teoria, il mondo è causale, allora deve per forza escludere a priori la possibilità di un'azione a distanza, in contraddizione dunque con la visione standard della gravitazione nella scienza ottocentesca e con i processi non-locali che sembrano ora emergere dalla presente teoria dei quanti. Problemi simili emergono nella selezione della quantità

conservata. Se limitiamo la quantità conservata a pochi eletti, come l'energia ed la quantità di moto, ci esponiamo a future confutazioni per mano di sviluppi teorici. E' già noto che certi sistemi newtoniani violano la conservazione dell'energia e della quantità di moto (Alper et al., 2000), mentre nella relatività generale spesso non è possibile definire l'energia e la quantità di moto di un sistema esteso. Ma se siamo troppo permissivi nella selezione della quantità conservata, rischiamo la banalizzazione prodotta dalla costruzione di quantità conservate al contempo artificiali e specialmente formulate per far passare come causale un qualsivoglia processo.

O forse siamo troppo esigenti nel cercare un unico processo universale? Forse dovremmo astenerci dal cercare un processo *universale*, limitandoci ad un processo che vale in un qualche sottodominio della scienza che sia ben recintato dalle parti patologicamente acausali della scienza. Il primo problema con questa proposta è che non è ben chiaro dove erigere la recinzione. La saggezza comune ha voluto che finora la recinzione dovesse situarsi fra la patologicamente acausale teoria dei quanti e la causalmente beneducata fisica classica. Tuttavia alcuni si chiedono se la teoria dei quanti non abbia rimpicciolito il dominio di validità del principio di causalità. (Bunge, 1979, pp.346-51; Margenau, 1950, p.96, 414). Per di più, l'esempio della prossima Sezione illustra come anche la fisica classica più semplice non sia al sicuro da patologie acausali. Il secondo problema: ammesso che si identificasse dove erigere la recinzione, quali speranze avremmo di effettivamente trovare un unico principio valido nel dominio causale? La proliferazione di differenti resoconti della causazione e la ricca letteratura di controesempi sembrano indicare che non vi sia accordo generale nemmeno su cosa si intende quando si designa qualcosa come una causa. Di conseguenza sarebbe forse auspicabile abbandonare la ricerca di un *unico* principio, permettendo a ciascuna scienza causalmente beneducata di avere il proprio distinto principio di causalità.⁵ Così facendo vi è tuttavia il pericolo reale che la nozione di causalità venga sviscerata di qualsiasi contenuto fattuale; potremmo infatti trovare per ciascuna singola scienza un particolare senso in cui essa si accorda con il proprio principio di causalità. Poiché serve anche solo una briciola di creatività per compiere questa operazione in qualsiasi scienza, vera o inventata, si può dire che la condizione di conformità alle nozioni di causa ed effetto non limita affatto il contenuto fattuale. E così ci troviamo fuori dal primo ramo.

Il secondo ramo

Assumiamo che l'atto di conformare una scienza alle nozioni di causa ed effetto non crea limitazioni al contenuto fattuale della medesima. La conseguenza immediata è che qualsiasi aspirante scienza, anche la più stramba, può essere conformata alle nozioni di causa ed effetto. E così i discorsi causali si configurano come poco più che inni celebrativi ad un qualche idolo immaginario; danno grande conforto ai credenti ma non richiamano né forze né potenze.

Troppo facile e troppo furbo? Malgrado la scienza non contenga alcun principio fattuale di casualità che sottoscriva il concetto di causa, non può comunque darsi che questo concetto sia in qualche maniera indispensabile per la nostra scienza? La versione forse più duratura e nota di questa idea è di retaggio Kantiano. Asserisce che per organizzare le nostre esperienze in maniera coerente ed intelligibile occorre una qualche concezione della causazione. Nagel (1961,

p.324, l'enfasi è sua) ne offre una variante nella sua proposta che il principio di causalità, anche nelle sue formulazioni più vaghe...

...è una *conseguenza analitica* di ciò che si intende dire col termine "scienza teorica"... è difficile capire in che modo la scienza teorica moderna potrebbe rinunciare all'idea generale espressa dal principio senza rischiare di diventare di conseguenza qualcosa di incomparabilmente diverso da ciò che effettivamente è.

Nagel (1961, p.320) formula il principio come una regola metodologica di valore euristico, la quale "ci ordina di analizzare i processi fisici in modo tale che la loro evoluzione possa dimostrarsi essere indipendente dai tempi e luoghi particolari in cui quei processi avvengono". Questa versione si conforma al secondo ramo in quanto Nagel (1961, p.320, l'enfasi è sua) insiste che questo principio di causalità non è altro che una "*massima* per l'indagine più che una vera e propria proposizione con contenuto empirico certo."

Questi approcci, per quanto seducenti, non superano questo secondo ramo del nostro dilemma. Si potrebbe arrivare a pensare che un concetto della causazione sia indispensabile, oppure che costituisca una prescrizione a ritenere le cause come euristicamente utili; ma questo solo se una data concezione della causazione fosse capace di riflettere effettivamente delle proprietà fattuali del mondo. Così, nel adeguare i nostri concetti al mondo, un qualcosa di simile alla causazione dovrebbe per forza emergere. Oppure un principio euristico potrebbe utilizzare quei fatti per agevolare la scoperta. Ma tutto ciò appartiene all'ambito del primo ramo, parlando del quale ho già esposto le mie ragioni per dubitare dell'esistenza di simili fatti. L'assunzione di questo secondo ramo è che tali proprietà fattuali del mondo non esistono. Nel contesto di questo secondo ramo l'indispensabilità concettuale o la fecondità euristica devono discendere non da fatti del mondo ma da fatti riguardanti noi stessi, la nostra psicologia ed i nostri metodi. Quindi una presunta indispensabilità o fecondità della nozione di causazione è al più una descrizione di come siamo fatti, e di certo non stabilisce che il mondo è, ad un qualche livello basilare, governato da un principio di causalità.

Le diverse varietà di scetticismo causale

La forma di scetticismo causale qui sostenuta è diversa dal più tradizionale scetticismo humeano. Al fine di chiarirlo, vale la pena di distinguere qualche varietà di scetticismo causale.

Scetticismo humeano/positivista. Questa tradizione filosofica dominante di scetticismo causale si fonda su un'epistemologia rigorosa, atta a negare la possibilità di ipotizzare, al di là dell'esperienza diretta, l'esistenza di entità causali e non. Ciò che figura come la causazione in realtà non è altro che congiunzione costante o dipendenza funzionale all'interno delle nostre esperienze effettive. Hume (1777, section 7, parts I-II) diede vita a questa tradizione quando sostenne che la necessità della connessione causale non si scorge nei fenomeni; questi ultimi ci forniscono in effetti solo congiunzioni costanti. Questa critica fu poi ripresa dai positivisti di fine '800 - inizio '900 come parte integrale del loro programma anti-metafisico. Mach (1960, p.580, l'enfasi è sua) concludeva che "... non vi sono cause o effetti in natura; la natura esiste in maniera del tutto individuale; la natura semplicemente è". Laddove Hume vedeva la congiunzione costante, Mach scorgeva la dipendenza funzionale: "Il concetto di causa è

sostituito... dal concetto di funzione: la determinazione della dipendenza dei fenomeni l'uno dall'altro, l'esposizione economica di fatti effettivi..." (Mach, 1960, p.325). Temi assai simili si riscontrano in Pearson (1911, p.vi, Ch.IV, V). Russell (1903, p.478; 1917, pp.142, 150-51) appoggiava anch'egli una visione funzionalista, simile a quella Machiana.

Anti-fondamentalismo. Lo scetticismo del presente scritto si fonda sul contenuto delle nostre scienze più mature e sulla storia del suo sviluppo. Lo scetticismo riguardo al fondamentalismo causale nasce dall'incapacità di quel contenuto e di quella storia di reggere una nozione stabile e fattuale di causazione. Poiché è capace di prendere sul serio il contenuto delle nostre scienze più mature (un contenuto, si noti, che si estende ben al di là dell'esperienza diretta), si può dire che si fonda su un'epistemologia feconda anziché sull'epistemologia arida dello scetticismo humeano/positivista. Io ritengo che questa forma di scetticismo causale anti-fondamentalista sia piuttosto diffusa. Ciò che più di ogni altra cosa la promosse fu l'avvento della teoria dei quanti, e la conseguente rovina del determinismo. Sulla base del contenuto della scienza più recente, una generazione intera di fisici e filosofi della scienza si trovò a piangere la sconfitta della causazione. Tuttavia, difficilmente ho trovato delle argomentazioni solide che sviluppino questo rammarico in direzione anti-fondamentalista. Sembra essere questa la posizione di Campbell (1957, Ch.III). Egli notò come le relazioni espresse nelle numerose leggi di natura non possono essere causali, poiché non rispettano le proprietà caratteristiche delle relazioni causali: sono temporali, asimmetriche e binarie. "Quindi," concludeva (p.56), "non è vero che tutte le leggi attestano delle relazioni causali; è persino dubbio che ve ne siano affatto che affermano effettivamente tali relazioni".

Queste due forme di scetticismo non vanno confuse con:

*Eliminativismo.*⁶ Secondo questa prospettiva lo scetticismo causale deriva dalla possibilità di formulare le nostre scienze senza alcun ricorso a termini esplicitamente causali, come causa ed effetto. Giustamente Bunge (1979, p.345) protestò che si tratta semplicemente di una trappola verbale, non sufficientemente forte per giustificare uno scetticismo saldo. Tuttavia esiste una trappola conversata. La maggior parte degli scetticismi causali, incluso il mio, conducono all'idea che la nozione di causa sia scartabile. Mach (1894, p.254) sperava che "la scienza del futuro eliminerà la nozione di causa ed effetto come cosa formalmente oscura..." Questo non dovrebbe però venir scambiato per il fondamento di queste forme di scetticismo.

Il fenomeno dell'acausalità nella fisica classica

Mentre le teorie più esotiche, quali la meccanica quantistica e la relatività generale, fanno violenza alle nostre comuni aspettative di causazione e determinismo, di solito si assume che se la regolare meccanica newtoniana farà altrettanto sarà solo in circostanze molto estreme. Non è così. Anche sistemi newtoniani piuttosto semplici possono nascondere eventi non-causati ed eventi per i quali la teoria non è nemmeno in grado di fornirci delle probabilità. A causa dell'esistenza di siffatti sistemi, la regolare meccanica newtoniana non sarebbe in grado di giustificare un principio o legge di causalità. Segue un esempio di un simile sistema, pienamente in accordo con la meccanica newtoniana. Si tratta di un corpo che perdura in stato di riposo in un ambiente fisico completamente privo di mutamenti per un periodo arbitrario di tempo; sia questo un giorno, un mese, o

un'eternità. Poi, tutto d'un tratto, e senza interventi esterni o cambiamenti nell'ambiente fisico stesso, il corpo si muove spontaneamente in una direzione arbitraria, senza che la teoria ci offra alcuna probabilità relativa al tempo o direzione del moto.

Il corpo sulla cupola

La cupola rappresentata nella Figura 1a giace in un campo gravitazionale diretto verso il basso, con un'accelerazione dovuta alla gravità g . La cupola ha una coordinata radiale r marcata sulla sua superficie ed è simmetrica rispetto a rotazione attorno all'origine $r = 0$, che è anche il punto più alto della cupola. La forma della cupola è descrivibile specificando h (quanto la sottostante superficie dista da questo punto più alto) come una funzione della coordinata radiale sulla superficie, r . Per agevolare la matematica del sistema, fissiamo $h = (2/3g)r^{3/2}$. (Molti altri profili, sebbene non tutti, mostrano un analogo comportamento acausale).

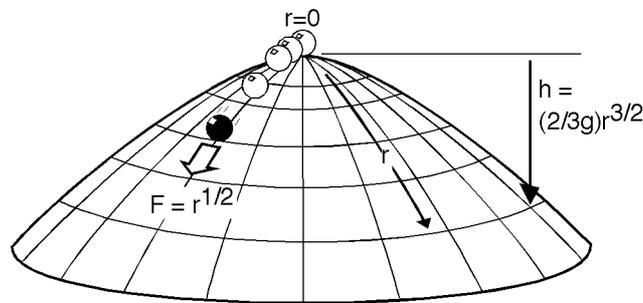


Figura 1a. Corpo che scivola su una cupola

Per azione della forza di gravità, un corpo puntiforme unitario scivola senza attrito sulla superficie. La forza gravitazionale non può che far accelerare il corpo nella superficie. In qualsiasi punto l'intensità della forza gravitazionale tangente alla superficie è $F = d(gh)/r = r^{1/2}$, ed è orientata radialmente verso l'esterno. Nel punto $r = 0$ la forza tangente è nulla. Sarebbe a dire che all'interno della superficie il corpo è soggetto ad un campo di forza esternamente orientato e di intensità pari a $r^{1/2}$. Applicando al corpo nella superficie la seconda legge di Newton ("F=ma"), l'accelerazione radiale d^2r/dt^2 viene posta uguale all'intensità del campo di forza:

$$d^2r/dt^2 = r^{1/2} \quad (1)$$

Se il corpo si trova inizialmente a riposo all'apice $r = 0$, allora vi è una soluzione ovvia per la legge di Newton per tutti i tempi t :

$$r(t) = 0 \quad (2)$$

Il corpo rimane semplicemente in stato di riposo all'apice per tutto il tempo. Tuttavia, esiste un'altra, ampia classe di soluzioni inaspettate. Per qualsiasi direzione radiale:

$$r(t) = (1/144)(t-T)^4 \text{ per } t \geq T \\ = 0 \text{ per } t \leq T \quad (3)$$

ove $T \geq 0$ è una costante scelta arbitrariamente. Si nota subito che il movimento di (3) risolve la seconda legge di Newton (1).⁷

Se cerchiamo di descrivere a parole le soluzioni di (3), ci accorgiamo prontamente che costituiscono una violazione dell'aspettativa naturale che una

qualche causa debba mettere in moto il corpo. L'equazione (3) descrive un corpo puntiforme in stato di riposo all'apice della cupola, che tutto d'un tratto si sposta spontaneamente in una qualche direzione radiale arbitraria ad un tempo arbitrario $t=T$.

Proprietà

Sono due le caratteristiche di questa eccitazione spontanea che vale la pena menzionare:

Niente causa: Non vi è alcuna causa a determinare quando il corpo inizierà ad accelerare spontaneamente o la direzione del suo moto. Le condizioni fisiche sulla cupola sono le medesime per tutti gli istanti t precedenti al momento di eccitazione $t=T$, e sono le stesse in tutte le direzioni nella cupola.

Niente probabilità: Si potrebbe supporre che se non altro una qualche nozione probabilistica di causazione si può salvare, nella misura in cui si possono assegnare delle probabilità ai vari possibili esiti. Niente nella fisica newtoniana ci prescrive di assegnare delle probabilità, ma potremmo decidere di tentare di aggiungerle per nostro personale sostegno concettuale. Si può fare per quanto riguarda la *direzione* del moto spontaneo. La simmetria della superficie attorno all'apice giustifica certamente l'aggiunta di una distribuzione probabilistica che assegna probabilità uguale a tutte le direzioni. La difficoltà sta nel fatto che non esiste alcun modo paragonabile di assegnare delle probabilità al tempo dell'eccitazione spontanea che rispettino al contempo le simmetrie fisiche delle soluzioni (3). Quelle soluzioni non prediligono nessuno fra i possibili tempi di eccitazione T . Una distribuzione probabilistica che mira a rendere ugualmente plausibile ciascun possibile tempo T non può essere considerata valida; ovvero, non può assegnare probabilità unitaria all'unione di tutti i diversi esiti disgiunti.⁸

E la prima legge di Newton?

Le soluzioni (3) sono in pieno accordo con la meccanica newtoniana in quanto soddisfano il requisito newtoniano che prescrive che la forza applicata netta sia sempre uguale alla massa moltiplicata per l'accelerazione. Tuttavia, ci si potrebbe comunque preoccupare per il fatto che l'accelerazione spontanea sembra contraddire in qualche maniera la prima legge di Newton:

In assenza di una forza esterna netta, un corpo rimane in stato di riposo oppure in stato di moto rettilineo uniforme.

E' normale raffigurarsi il "moto rettilineo uniforme" come avente luogo su un certo intervallo temporale, tuttavia ora sarà necessario applicare la legge ad un istante nel tempo. Ad un unico istante la legge corrisponde a moto con accelerazione nulla. Quindi la forma istantanea della prima legge di Newton è la seguente:

In assenza di una forza esterna netta, un corpo non subisce accelerazione. Tornando ora al nostro problema, dato che non vi è alcuna forza netta agente sul corpo nell'istante $t=T$, secondo questa riformulazione della legge non dovrebbe verificarsi che il corpo rimane in stato di riposo? Un'analisi più attenta rivela che i moti di (3) sono in pieno accordo con la prima legge di Newton.

Per tempi $t \leq T$, non si applica alcuna forza poiché il corpo si trova nella posizione $r=0$, ossia all'apice privo di forze; ed il corpo non subisce accelerazione.

Per tempi $t \geq T$, una forza netta si applica al corpo dato che esso si trova nelle posizioni $r>0$, ossia non all'apice, che è l'unico punto privo di forze della cupola; ed il corpo subisce un'accelerazione in pieno accordo con $F=ma$.

Ma cosa succede tempo cruciale $t = T$? Le soluzioni di (3) comportano che l'accelerazione $a(t)$ del corpo sia data da

$$\begin{aligned} a(t) &= (1/12) (t - T)^2 \text{ per } t \geq T \\ &= 0 \text{ per } t \leq T \end{aligned} \quad (4)$$

Attraverso sostituzione in (3) attestiamo che all'istante $t=T$ il corpo si trova ancora all'apice privo di forze $r=0$ e, sostituendo poi in (4), rileviamo che il corpo subisce un'accelerazione $a(0)$ nulla. Questo è precisamente ciò che prescrive la prima legge di Newton. All'istante $t=T$, non vi sono forze agenti ed il corpo non accelera. In qualsiasi istante $t>T$, agisce una forza non-nulla ed il corpo accelera corrispondentemente.

Nessun primo istante di moto-nessuna causa avviante

Per quale motivo questa applicazione della meccanica newtoniana ci confonde facilmente? Il nostro istinto causale ci prescrive di cercare il primo istante in cui il corpo si muove e dunque cercare la causa del moto in quell'istante. Ci viene da pensare all'istante $t=T$ come il primo istante di moto del corpo. Ma non è così. Si tratta invece dell'*ultimo* istante in cui il corpo *non* è in moto. Non vi è alcun primo istante di moto del corpo. Il corpo si muove solo durante l'intervallo $t>T$, e questo intervallo temporale non ha alcun primo istante. (Un qualsiasi candidato a primo istante in $t>T$, ad esempio $t=T+\varepsilon$ per qualsiasi $\varepsilon > 0$, sarà preceduto da un istante anteriore, $t=T+\varepsilon/2$, anch'esso in $t>T$.) Non vi è dunque alcun primo istante di moto, e di conseguenza nessun primo istante in cui cercare la causa avviante del moto.

Non siamo ancora soddisfatti?

Esiste un modo piuttosto semplice per rendersi conto che il moto spontaneo del corpo non è poi effettivamente una grande stranezza. Anziché immaginarlo inizialmente a riposo all'apice della cupola ce lo raffiguriamo come inizialmente situato al suo bordo, e gli forniamo una qualche velocità iniziale nella direzione esatta dell'apice stesso. Se questa velocità iniziale è eccessiva, esso supererà l'apice e continuerà giù per il lato opposto della cupola. Ipotizziamo allora di fornirgli una velocità iniziale minore. Viene a prodursi la traiettoria T_1 della Figura 1b.

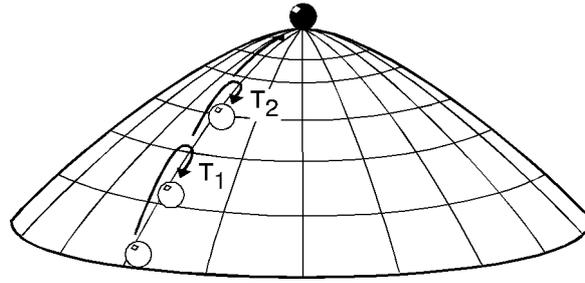


Figura 1b. La proiezione del corpo verso l'apice.

Il corpo sale verso l'apice, ma prima che vi possa arrivare perde il suo moto, e si ferma momentaneamente prima di ridiscendere verso il bordo. Ipotizziamo di fornirgli ora una velocità iniziale leggermente maggiore, ottenendo così la traiettoria T_2 . Il corpo salendo si avvicina all'apice (ma non lo raggiunge) prima di fermarsi momentaneamente e quindi ricadere. Portiamo avanti questo processo finché non individuiamo la velocità iniziale necessaria affinché il corpo salga esattamente fino all'apice stesso, fermandovisi momentaneamente. In questo caso abbiamo ottenuto che il corpo si trovi momentaneamente in stato di riposo all'unico punto di tutta la cupola privo di forze agenti, ossia all'unico punto ove, trovandosi a riposo, il corpo può (ma non deve necessariamente) effettivamente rimanere a riposo. Immaginiamo quindi che una volta arrivato il corpo rimanga effettivamente in stato di riposo. Ci troviamo ora di fronte ad una traiettoria in cui il corpo sale fino all'apice, vi si ferma e vi rimane in stato di riposo per qualsivoglia periodo arbitrario di tempo.⁹

Una caratteristica importante della meccanica newtoniana è che risulta reversibile nel tempo; o per lo meno, che la dinamica dei sistemi gravitazionali qui trattati risultano reversibili nel tempo. Questo comporta che, preso un qualsivoglia moto ammesso dalla teoria newtoniana, è possibile generarne un altro semplicemente immaginando questo primo moto invertito nel suo decorso temporale. Facciamo dunque proprio questo al moto che abbiamo finito di generare. Otteniamo un moto invertito in cui un corpo rimane per un qualche periodo arbitrario di tempo in stato di riposo all'apice della cupola, per poi spostarsi spontaneamente nella direzione del bordo. Si tratta nientemeno che una descrizione qualitativa di una delle soluzioni di (3).

Questo escamotage dell'inversione temporale è potente, tuttavia dobbiamo essere cauti a non sopravvalutarlo. La sua applicazione migliore è semplicemente il rendere plausibile il comportamento acausale, mentre l'effettiva dimostrazione segue da una corretta analisi matematica di (1), (3) e (4). Questo perché c'è un trucco. Il moto spontaneo può aver luogo solo su cupole di una determinata forma, quale quella della Figura 1a. Non può verificarsi su cupole di altro tipo, quale quella emisferica. L'argomento dell'inversione temporale fallisce in questi altri casi per una ragione che si tende a sorvolare troppo facilmente. Mentre procediamo attraverso le traiettorie T_1, T_2, \dots su una cupola emisferica, il tempo impiegato dal corpo per raggiungere la sua sosta momentanea cresce illimitatamente. La traiettoria che cerchiamo, quella in cui la sosta momentanea ha luogo esattamente all'apice, finisce così col richiedere un tempo infinito. Questo significa che il corpo non vi arriva effettivamente mai. E la sua inversione temporale descrive un corpo che in tutti i tempi precedenti si trovava in moto senza alcuna partenza spontanea. Per quanto riguarda invece la cupola della

Figura 1a, il tempo corrispondente è, tuttavia, finito, e dunque in questo caso l'analisi proposta risulta valida.

4. La capacità generativa delle relazioni di riduzione e la sua utilità per la causazione

La riduzione delle forze gravitazionali e delle particelle...

La mia tesi negativa afferma che la scienza fondamentale non si basa sulle nozioni di causa ed effetto. Con questo non intendo dire che tali nozioni non siano altro che pura finzione, sarebbe troppo severo. Sussiste infatti un senso particolare in cui le cause partecipano propriamente alla nostra visione scientifica del mondo naturale, ed il mio obiettivo nella tesi positiva è quello di individuarlo. Sosterrò che il ruolo delle cause nella scienza è fortemente analogo al ruolo delle teorie superate. Nell'anno 1900 la nostra visione della natura ci sembrava stabile. Si era giunti alla conclusione che il pianeta terra orbitasse attorno al sole a causa di una forza gravitazionale esercitata dal sole stesso; la materia, poi, era pensata come costituita di numerosissime minuscole particelle dotate di carica, dette ioni o elettroni. Una mole impressionante di evidenza osservativa e sperimentale sembrava giustificare queste idee. Solo tre decenni più tardi queste conclusioni erano state sconvolte. La teoria della relatività generale di Einstein ci assicurava che la gravità non fosse affatto una forza, bensì una curvatura dello spazio-tempo. La teoria dei quanti ci rivelava come le particelle fondamentali fossero sostanzialmente un conglomerato misterioso di proprietà particellari ed ondulatorie.

Ma le teorie precedenti di fatti non scomparvero; non sarebbe comunque stato possibile. La mole enorme di prove ammassate da parte di Newton riguardo alle forze gravitazionali e da parte di Thomson riguardo agli elettroni doveva andare ad appoggiare le nuove teorie. Il modo più semplice di riuscirvi era dimostrare come, in specifici casi limite, le vecchie teorie risultassero ancora valide. La relatività generale ci garantisce che il fenomeno della gravitazione si comporta esattamente come una forza fintanto che abbiamo a che fare con una gravità molto debole; e la teoria dei quanti ci assicura che è possibile ignorare le proprietà ondulatorie degli elettroni a condizione di evitare le circostanze in cui emergono effetti d'interferenza. Nelle condizioni adeguate le teorie nuove si riferiscono alle teorie precedenti, determinando così che l'evidenza a favore delle teorie vecchie potesse venire ereditata dalle nuove.

... e la riduzione del calorico

Un esempio più semplice e più adeguato è quello relativo alla teoria materiale del calore. Nel Settecento e nel primo Ottocento, il calore era concepito come un fluido conservato. La temperatura era la misura della densità del fluido, e la tendenza naturale del fluido a scorrere da densità alta a densità bassa si manifestava come la tendenza a scorrere da temperature alte a temperature basse. La teoria si rafforzò quando Lavoisier (1790) incluse la questione del calore inteso come l'elemento calorico nel celebre trattato che fondò la chimica moderna; e Carnot (1824) preparò il terreno per la termodinamica moderna con la sua analisi dei motori a calore, analisi che presupponeva nuovamente la teoria del calorico. Attorno all'anno 1850, grazie al lavoro di Joule, Clausius, Thomson ed altri

ancora, questa teoria materiale del calore cadde in disuso con il riconoscimento del fatto che il calore era passibile di trasformazione in altre forme di energia. Il calore venne così ad essere concepito come una distribuzione disordinata di energia fra i numerosissimi sottosistemi componenti un qualche corpo; nel caso dei gas, l'energia termica era dovuta all'energia cinetica delle molecole gassose, secondo una teoria cinetica del calore. La precedente teoria materiale restava tuttavia recuperabile, a patto che ci si limitasse a considerare quei processi in cui non vi era alcuna conversione fra energia termica ed altre forme di energia, quali il lavoro. Un esempio potrebbe essere la conduzione di calore lungo una sbarra metallica. Proprio perché il calore non è altro che una forma di energia e l'energia tende a conservarsi, il calore che si propaga si comporterà come un fluido conservato. Nella teoria nuova la temperatura è misurata attraverso la densità energetica media. E' quasi nulla la probabilità che l'energia non passi dalle regioni a temperatura più alta (energia media più alta) alle regioni a temperatura più bassa (energia media più bassa), con il risultato che la distribuzione dell'energia termica tende all'uniformazione. E così viene riproposto nuovamente un dato fondamentale della teoria del calorico, secondo cui il calore transita spontaneamente dal più caldo al più freddo.

La capacità generativa

Mi piace chiamare “capacità generativa” questa caratteristica delle relazioni di riduzione. Con la riproposta di teorie precedenti, le relazioni riportano in vita una ontologia ormai defunta. Più precisamente, non asseriscono che il calore sia un fluido, la gravità una forza, o gli elettroni meramente delle particelle; affermano piuttosto che, nel dominio giusto, il mondo si comporta proprio come se lo fossero. I vantaggi di questa capacità generativa sono considerevoli. Non si tratta solo del fatto che le teorie nuove poterono ereditare le basi evidenziali delle precedenti. Infatti, lavorare con le teorie nuove era spesso concettualmente molto difficile, e la possibilità di ricadere sulle teorie precedenti facilitava spesso il rinvenimento di risultati importanti. La teoria della relatività generale di Einstein ci attesta che i pianeti orbitano attorno al sole in orbite quasi esattamente ellittiche ed aventi il sole stesso come uno dei due fuochi. Tuttavia una dimostrazione diretta all'interno della teoria einsteiniana è assai ardua. Poiché nell'ottenimento di questo risultato gran parte della curvatura spaziotemporale non riveste alcun ruolo significativo, vi si arriva assai più facilmente ricordando che la teoria di Einstein è riducibile a quella di Newton nel contesto di bassa gravità del nostro sistema solare; si fa così riferimento ad una parte ben nota della teoria newtoniana. In molti casi l'immaginarsi che la gravità sia una forza o il calore un fluido è alquanto appropriato, oltre a risultare anche più semplice sotto il profilo concettuale.

Applicato alla causazione: le cause sono vere oppure no?

A mio avviso la situazione è la medesima per quanto riguarda le cause. Possediamo tutti una qualche idea della conformazione alle nozioni di causa ed effetto, anche se talvolta queste possono essere poco chiare. L'adeguazione del mondo a questo tipo di aspettative causali non è dovuto al loro costituire la base stessa delle nostre scienze più mature. Tuttavia, in situazioni adeguatamente ristrette, la scienza sembra implicare che la natura si adatterà alle nostre

aspettative causali. Ora, la restrizione a quei domini genera le proprietà causali nello stesso modo in cui una restrizione al nostro sistema solare, compiuta all'interno della relatività generale, ci restituisce la forza di gravità. Le cause non sono dunque vere, non sono elementi della nostra ontologia scientifica di base; piuttosto, in questo tipo di domini limitati il mondo si comporta come se le cause, correttamente individuate, fossero effettivamente fondamentali.

Insomma, le cause sono vere o no? La mia risposta migliore sarebbe la seguente: sono vere nella misura in cui lo sono il calorico e le forze gravitazionali. E dunque, "quanto sono vere"? Quest'ultima domanda è l'oggetto di analisi di una vasta letteratura epistemologica riguardante la riduzione. (Per una rassegna, si veda Silberstein, 2002.) Lascero ai lettori il compito di rispondervi, sebbene intendo illustrare brevemente le possibili risposte emerse dalla letteratura sulla riduzione, ed esprimere poi la mia opinione a riguardo. Vi sono innanzitutto i "fanzionalisti", convinti che le cause, il calorico e le forze gravitazionali non sono altro che invenzioni, dato che non fanno comparsa nell'ontologia di base. Vi sono poi i "realisti", assertori dell'autonomia dei diversi livelli della scienza. Questi sostengono che l'atto di negare la realtà di una qualche entità, solo perché questa non compare nell'ontologia di base della nostra scienza più progredita, pone il grave rischio di un regresso ad infinito, con la conseguente difficoltà di decidere sulla realtà di ogni cosa nelle nostre scienze esatte; a meno che, è evidente, non si sia certi dell'insuperabilità della nostra scienza più progredita. Personalmente, cerco di proporre una posizione intermedia, sostenendo che le cause, il calorico e le forze gravitazionali siano dotate di una realtà derivata. Non si possono considerare delle finzioni in quanto non sono il frutto di libera invenzione. Le scienze più profonde devono possedere proprietà molto particolari perché queste entità scaturiscano dalla relazione di riduzione. Qualsiasi sia la realtà delle entità, essa sussiste proprio in queste proprietà; e anche qualora la scienza più profonda venga sostituita da una ancora più profonda, queste proprietà sopravviverebbero in una forma o l'altra. Al contempo, non possono certo vantare la stessa realtà dell'ontologia di base. Il calore, dopotutto, non è affatto un fluido conservato, bensì una forma di energia. Per questo mi riferisco a questo compromesso parlando di "realtà derivata".

La scienza e la scienza ingenua

La differenza più notevole che sussiste fra le relazioni di riduzione ordinarie fin qui discusse e quella ipotizzata per la causazione è che nelle prime una serie sufficiente di restrizioni rimandano la teoria nuova ad una teoria vecchia ben pianificata ma defunta. Esistono anche casi in cui una relazione riduttiva invoca poteri che non appartengono affatto ad una teoria ben pianificata ma defunta. L'esempio più semplice riguarda i vuoti. Sappiamo bene che i vuoti non possiedono poteri attivi, eppure regolarmente gli attribuiamo il potere di trarre a se le cose, di "risucchiare". Questo potere attivo si manifesta in un caso speciale ma tuttavia assai comune: quello in cui il vuoto è circondato da un fluido dotato di pressione positiva, quale l'aria. Il potere del vuoto non è in realtà altro che quello della pressione del fluido circostante, come studiato dall'ordinaria meccanica del continuum. Tuttavia, è molto utile poter parlare di "creazione di un vuoto", e poter così spiegare i risultanti processi come dovuti ad un ipotizzato potere attivo del vuoto.

I discorsi causali nella scienza hanno lo stesso status. In molti casi ben noti, le nostre migliori scienze ci dichiarano che il mondo si comporta come se fosse governato da delle cause che adempiono ad un qualche principio causale. Si dimostra essere un modo molto conveniente per afferrare processi che altrimenti rimarrebbero forse del tutto opachi, proprio alla stessa maniera in cui l'attribuzione di poteri attivi ai vuoti permette di semplificare notevolmente le descrizioni esplicative; e finché non si prendono troppo sul serio i poteri attivi del vuoto, non si fa alcun danno.

5. La nozione ingenua di causa

Cos'è, di preciso, che si manifesta quando causa ed effetto nascono dalla restrizione di una scienza a certi domini ospitali? Il mio obiettivo in questa Sezione sarà farne un resoconto. Non si tratterà di un resoconto sulla natura delle cause, come è consuetudine nella letteratura filosofica. Una letteratura, peraltro, che continua a proliferare simili resoconti, ciascuno afflitto da una qualche forma di controesempio. Il mio scopo è, invece, più modesto. Senza presumere che siano coerenti fra di loro, e nemmeno universalmente accettate, fornirò un compendio del genere di caratteristiche che ammettiamo per qualificare un processo come causale. Tale è la natura di una teoria ingenua. Dotandola di questa qualità fragile, ammetto di essere leggermente meno ottimista sulla robustezza delle teorie ingenua di quanto traspari dalla recente letteratura filosofica sulla psicologia ingenua, in cui abbonda la nozione di teoria ingenua (cfr. Ravenscroft, 1997). Menzies (1996), fedele allo spirito di quella letteratura, ha anch'egli tentato cogliere la natura della causazione in quello che egli stesso definisce una teoria ingenua della causazione. Il suo resoconto differisce però dal mio in quanto le sue finalità non sono di natura scettica, ed i suoi postulati si discostano da quelli che seguono, perché fanno riferimento ad una concezione sostanzialmente probabilistica della causazione.¹⁰

La flessibilità che attribuisco alle teorie ingenua costituisce in effetti un vantaggio, poiché si tratta forse dell'unico tipo di teoria in cui la causazione potrebbe funzionare. Non sto cercando di enunciare un principio scientifico fondamentale, che necessariamente dovrebbe risultare ben definito e non ambiguo. Cerco piuttosto di illustrare quali caratteristiche rinveniamo nei numerosissimi domini che definiamo causali. Non occorre aspettarsi che queste siano le medesime in tutti i domini; tutt'altro, il proliferare di disparati resoconti della causazione sembrerebbe indicare che non possediamo affatto una nozione chiara ed unica. Se fosse questo il caso, nessuna singola teoria potrebbe funzionare. Così la cosa migliore che una teoria potrebbe fare sarebbe semplicemente di fornirci un compendio di proprietà, senza aspettarsi però che tutti vi aderiscano completamente.

La nozione di base

Da tempo si conviene che l'azione umana costituisce un prototipo della dinamica causa-effetto. Semplificando al massimo, si può dire che si tende ad ritenere causali quei processi che risultano sufficientemente analoghi ad essa.¹¹ Urtiamo una pila di pietre e queste cadono a terra; è la nostra azione a causare l'effetto di crollo. Costruiamo una torre, altissima e fragile, e la gravità la trascina a terra; l'azione della gravità causa l'effetto di crollo. Utilizzando come prototipo

l'azione umana, *tendiamo ad identificare i termini della relazione causa-effetto ogniqualvolta ci troviamo davanti ad uno che scatena o produce l'altro; ed identifichiamo il processo di produzione con il processo causale.* Dato che "produce" è poco più che un sinonimo di "causa", si tratta quasi di una definizione esplicita. Tuttavia, ritengo che non sia possibile fornire una definizione non-circolare, e, nella pratica, la cosa sembra essere di poco conto, dato che (come mi accingo a mostrare) siamo in grado di applicare la nozione anche senza.

Applicazione della nozione

Si procede come segue. Innanzitutto, restringiamo una data scienza ad un qualche dominio ospitale. Recuperiamo certi processi che sono ancora esaurientemente descritti con la terminologia della scienza piena; ad esempio, un acido corrode dei buchi in una pellicola metallica. Procediamo poi a paragonare la scienza così ristretta alla teoria ingenua della causazione, cercando di istituire delle corrispondenze fra i termini della scienza ristretta e quelli della teoria ingenua. In questo caso, l'acido è l'agente che produce o provoca i buchi; identifichiamo quindi l'acido con la causa, i buchi con l'effetto e la corrosione con il processo causale.

Come facciamo a sapere quali termini della scienza associare alla causa ed all'effetto? Non vi è alcun principio generale. Tuttavia, nella pratica non incontriamo molti problemi nell'identificare se un qualche processo scientifico possiede o meno il carattere produttivo che giustificerebbe l'associazione. Le forze causano l'effetto dell'accelerazione; o il calore causa l'effetto dell'espansione termica; o le differenze di temperatura causano il moto del calore per conduzione; o i gradi di concentrazione causano la diffusione dei soluti; o le correnti elettriche causano l'effetto del riscaldamento di una resistore; o la causa del particolare stato quantico di un elettrone produce l'effetto di un aumento della probabilità del rilevamento di particelle. I termini della relazione causale potrebbero essere degli stati in un dato momento temporale; o delle entità; o persino delle proprietà di entità.

Il diagramma a palle e frecce

Un certo tipo di diagramma è utilizzato talmente di frequente nella rappresentazione della relazione causa-effetto che ritengo si possa dire che sia diventato una parte importante della teoria ingenua. Si tratta di un diagramma in cui la causa C e l'effetto E vengono rappresentati come palle, mentre la loro relazione causale, asimmetrica, viene rappresentata tramite una freccia.

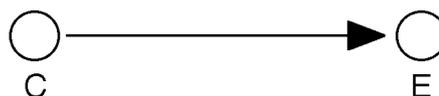


Figura 2. La causa C produce l'effetto E

Si è soliti rappresentare insiemi complessi di interazioni causali tramite diagrammi altrettanto complicati.

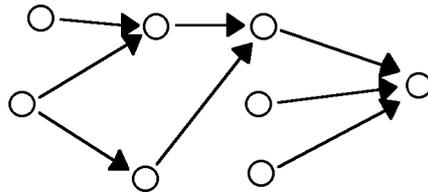


Figura 3. Un nesso causale complesso

La specifica interpretazione di simili figure varia a seconda del contesto. Ad esempio, nella letteratura relativa al modellamento causale, le palle rappresentano delle variabili che danno inizio a insiemi lineari di equazioni; le frecce vengono a rappresentare le dipendenze dirette codificate dall'equazione. (Cfr. Spirtes et al., 2000) In altri casi, le palle potrebbero rappresentare la presenza/assenza di una qualche entità o proprietà; se il termine rilevante è presente ad una data palla o no viene determinato attraverso una qualche formula Booleana (solitamente specificata separatamente) a partire dalle palle immediatamente antecedenti.

Proprietà

La notevole fecondità dei diagrammi a palla e freccia è dovuta al fatto che accennano a delle proprietà che solitamente si presuppongono (benché non universalmente) per poter parlare di relazioni causali; proprietà che si traggono direttamente dai diagrammi stessi, oppure a partire da semplici manipolazioni di questi:

(a) *Il principio di causalità.* Tutti gli stati, entità e proprietà partecipano alle relazioni causali quale quella della Figura 2 almeno come effetto, ed a volte anche come causa. Ciascuno di essi deve parteciparvi sotto forma di un effetto, altrimenti verrebbe violata la massima (equivalente al principio di causalità) secondo cui *ogni effetto ha una causa*. Ci troveremmo davanti ad uno stato, entità o proprietà privi di causa. Tradotto in termini di palle e frecce, questo significa che non possono darsi palle che sfuggono alla connessione con qualche freccia, e che dunque un diagramma a palle e frecce risulta incompleto se ha una palla non indicata da una qualche freccia; ovvero, se ha una palla che non rappresenta un effetto. (Si veda la Figura 4) La causa provoca necessariamente l'effetto; questo fatto si esprime nella costanza della causazione: *la stessa causa provoca sempre gli stessi effetti*.

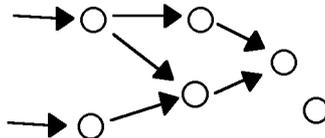


Figura 4. Un evento non causato ed inammissibile

(b) *Asimmetria:* Come indica la testa della freccia, la relazione causale è asimmetrica. Le cause producono effetti, e non vale il contrario.

(c) *Precedenza temporale*: L'effetto non può precedere cronologicamente la causa. In quanto i tempi si rappresentano con le palle, le frecce devono puntare da una palla ad un'altra che sia contemporanea oppure successiva nel tempo.

(d) *Localizzazione*: Le palle sembrano indicare che ad un qualche livello di descrizione, le cause sono passibili di localizzazione. Quasi sempre sono localizzate nello spazio e nel tempo, ma non necessariamente. Ad esempio, nella medicina si potrebbe identificare uno specifico farmaco come avente un qualche effetto causale, e rappresentarlo come una pallina in un diagramma, mentre in effetti il farmaco è distribuito spazialmente in tutto il corpo. Si presume locale anche l'azione, ed in tal modo sia la causa che l'effetto risultano localizzati nello stesso posto. Se si tratta di una localizzazione spaziale e temporale, allora si esclude la possibilità dell'azione a distanza; certe cause qui possono solo produrre certi effetti là, e solo se la loro azione è propagata attraverso un certo mezzo.¹²

(e) *Causa dominante*: Sebbene molte entità e proprietà possono partecipare al processo causale, di solito si identifica una sola di esse come la causa dominante, attribuendo a tutti le altre un ruolo secondario. Questo è rappresentabile graficamente "conglomerando" ["chunking"], raggruppando le palle in palle più grandi, oppure annullando le palle intermedie o assorbendole nella freccia di collegamento. La conglomerazione permette la riduzione di un nesso causale complesso quale quello della Figura 3 ad un semplice diagramma con un'unica causa dominante, quale quello della Figura 2.

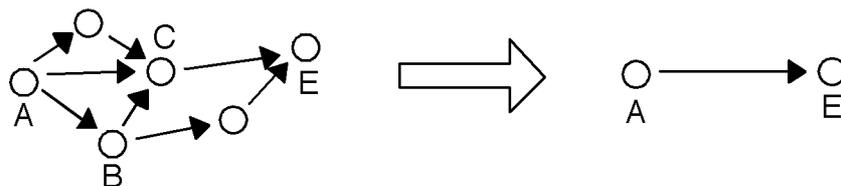


Figura 5. La conglomerazione fa emergere una causa dominante

(f) *Causa iniziale*. Basandoci sul modello dei cambiamenti prodotti dall'azione umana, ci aspettiamo che tutti i processi causali abbiano una causa iniziale avviante. Grazie a questa nozione, rappresentabile conglomerando, si evitano regressi all'infinito:



Figura 6. La conglomerazione fa emergere una causa iniziale

(g) *Causa finale*. Nel caso in cui lo stato finale esercita un controllo sull'andamento di un processo, il processo si dice governato da una causa finale. Siamo abituati a dissolvere casi apparenti di causalità finale mostrando come il processo sia in realtà provocato da una causa efficiente (ed iniziale). La tendenza oggi è dunque quella di giudicare come derivate le cause finali, ritenendo invece fondamentali quelle efficienti. Poiché non ritengo fondamentale nessuna delle due, non escluderò dalla mia lista le cause finali. Come risulterà chiaro dalla prossima Sezione, invocare la nozione di causa finale può avvalerci degli stessi vantaggi euristici che otteniamo dalle cause efficienti. Non sono al corrente di

alcun modo semplice di rappresentare le cause finali nei diagrammi a palla e freccia.

Sebbene tutte queste proprietà siano state chiamate in causa un numero sufficiente di volte per meritarsi l'inclusione nella lista, non sono per nulla universalmente accettate. Ad esempio, l'asimmetria potrebbe tranquillamente venir rifiutata da parte di chi giudica la causazione a partire da un paradigma funzionalista; sarebbe a dire, da tutti coloro che, alla stregua di Russell e Mach, considerano la causazione come esistente unicamente in relazioni funzionali fra variabili. La precedenza temporale verrebbe respinta dai sostenitori della possibilità fisica dei viaggi nel tempo e della causazione inversa- e riceve sempre più consenso l'idea che la possibilità o meno di simili nozioni sia in fondo una questione contingente per la scienza. La localizzazione non può che venir rigettata da chi giudica causali le teorie dell'azione a distanza o la teoria dei quanti. Partendo dall'identificazione di causazione e determinismo, un Mill si troverebbe a respingere l'idea che solo uno fra gli elementi del presente stato determinante sia quello dominante. E la necessità di una causa iniziale non verrebbe condivisa da parte di chi non teme i regressi causali all'infinito.

Inoltre, ho scelto di omettere un certo numero di principi causali reperibili nella letteratura a causa del loro tono arcaico. Russell (1917, pp.138-39) ne ha convenientemente raccolti alcuni: "La causa e l'effetto devono rassomigliarsi pressappoco l'un l'altro". "La causa è analoga alla volizione, dato che deve sussistere un nesso intelligibile fra la causa e l'effetto". "Una causa non può agire quando ha cessato di esistere, poiché ciò che ha cessato di esistere non è più nulla".

6. Esemplicazioni

L'applicazione della teoria ingenua ad una scienza prevede che quest'ultima venga ristretta ad un qualche dominio sufficientemente ospitale. Procediamo quindi ad associare ai termini della scienza ristretta i termini centrali della teoria ingenua; lo scopo è l'individuazione delle cause e degli effetti attraverso una relazione di produzione appropriata. Infine, nell'ambito delle relazioni causali ci potrebbero interessare determinati schemi, quali quelli elencati nella Sezione precedente. Dal particolare contenuto che ci troviamo davanti dipendono diverse cose: il modo in cui compiamo l'associazione, cosa costituisce effettivamente una relazione di produzione, e gli schemi rinvenibili. Se ad interessarci sono, ad esempio, i sistemi meteorologici, non andremmo certo in cerca di cause dominanti. Infatti, dal momento che i sistemi meteorologici hanno un carattere caotico, le cause più piccole sono spesso in grado di produrre gli effetti più massicci.

La cupola: una causa iniziale

A titolo di esempio, ritorniamo brevemente alla cupola considerata nella Sezione 3. Lo scacco della causalità emerge specificatamente al tempo $t=T$, quando il sistema subisce un'accelerazione spontanea. Nei tempi precedenti e successivi a tale momento, il sistema ha un comportamento piuttosto causale, dal momento che è possibile associare al sistema i termini causali appropriati. Al fine di comprendere meglio questa dinamica assumiamo per semplicità che $T=0$, così nel sistema si verificherà l'accelerazione spontanea al momento $t=0$; consideriamo

inoltre la sequenza di stati corrispondenti a $t=0,5$, $t=0,6$, $t=...$, $t=1,0$ come appartenenti al periodo causale. Ignorando per semplicità i tempi intermedi, possiamo dire che lo stato corrispondente a ciascun tempo è l'effetto dello stato corrispondente al tempo precedente e della forza agente in quel momento. Se rappresentiamo lo stato al tempo t tramite la posizione $r(t)$, la velocità $v(t)$ e la forza $F(t)$ agente al momento t , diventa possibile ricorrere ai diagrammi a palle e frecce per rappresentare le relazioni causali. Conglomerando, si identifica la causa iniziale:

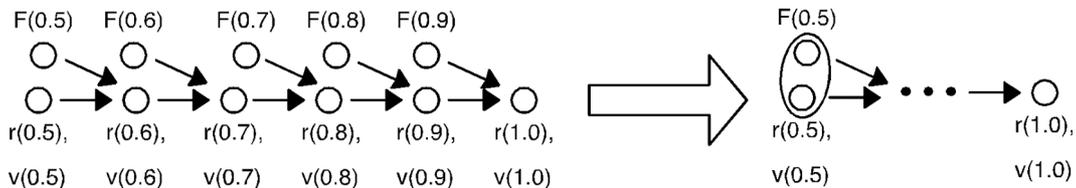


Figura 7. Una causa iniziale per la parte causale del moto sulla cupola

Tuttavia, se estendiamo il periodo temporale di interesse, avvicinandoci al momento $t=0$ di eccitazione spontanea, rinveniamo una sequenza infinita di cause per tempi diversi (poniamo, $t=1$, $t=1/2$, $t=1/4$, $t=1/8$, ...), per le quali non vi è alcuna causa iniziale:

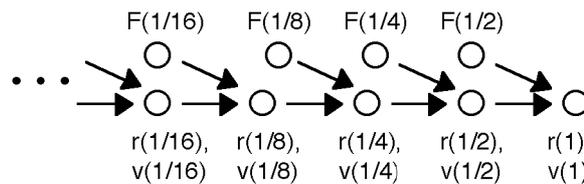


Figura 8. Una catena di cause infinita e priva di causa iniziale

Abbiamo già accennato ad una spiegazione di tale situazione nella Sezione 3. Il corpo è in movimento solo durante l'intervallo temporale $t>0$, e non è possibile rinvenire in questo intervallo temporale un primo istante di moto in cui rintracciare la causa iniziale. (Un qualsiasi candidato a primo istante $t= \epsilon$, con $\epsilon >0$, è preceduto dall'istante $t=\epsilon/2$) E che dire dell'idea di collocare la causa iniziale a $t=0$, ossia all'ultimo istante in cui il corpo non è in moto? Come si è visto nella Sezione 3, nello stato corrispondente a $t=0$ non vi è nulla in grado di produrre l'accelerazione spontanea. Ci troveremmo dunque ad ipotizzare una causa le cui proprietà contraddicono la massima secondo cui la stessa causa provoca sempre lo stesso effetto. Infatti, lo stato fisico del sistema a $t=0$ è identico agli stati fisici nei momenti precedenti $t=-1$, $t=-2$, ...; e solo lo stato corrispondente a $t=0$ risulterebbe (per un'ipotesi errata) efficiente da un punto di vista causale, diversamente da tutti gli altri stati identici. La teoria ingenua della causazione è solo applicabile a domini ospitali; come è illustrato d'altronde dal nostro sistema problematico, il quale cessa di essere ospitale con l'aggiunta dell'istante $t=0$.

Problemi analoghi emergono dalla cosmologia del big bang. L'Universo esiste per tutti i tempi cosmici $t>0$, e si potrebbe ritenere che il suo stato in ciascun momento costituisca la causa di stati in momenti successivi. Tuttavia, al momento $t=0$ (approssimativamente il momento del big bang) non sussiste alcuno stato, e

quindi l'esigenza che il processo abbia una causa iniziale non può che far riferimento a cause esterne a questo ramo della fisica.

I sistemi dissipativi: una causa finale

Nella fisica si incontrano spesso processi in cui lo stato finale esercita un controllo sull'andamento stesso del processo. Nella fisica termica, i processi tendono spontaneamente ad uno stato di massima entropia, che corrisponde, in termini microfisici, allo stato di maggiore probabilità. I sistemi fisici dissipativi sono quelli in cui l'energia meccanica non viene conservata; attraverso l'attrito, ad esempio, l'energia meccanica viene trasformata irreversibilmente in calore. La maniera in cui lo stato finale di simili sistemi ne controlla l'andamento giustifica l'appellativo di "causa finale". Si consideri, ad esempio, un corpo che scorre *con attrito* in una scodella.

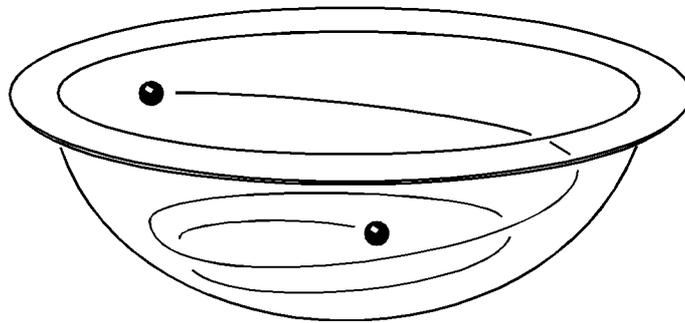


Figura 9. Un sistema dissipativo

Fintanto che il moto iniziale non sia sufficiente a scagliare il corpo fuori dalla scodella, possiamo dire di sapere quale sarà il suo destino. Il corpo potrebbe scorrere all'interno della scodella in traiettorie complicatissime. Dissiperà comunque la sua energia lungo tutto il processo, e la sua altezza massima all'interno della scodella diminuirà finché, infine, il corpo si fermerà ad uno stato di riposo al punto più basso della scodella. Questo stato conclusivo costituisce la causa finale del processo.

Si potrebbe voler obiettare contro la correttezza di assegnare a questo stato conclusivo il termine "causa"; infatti, esso non esercita alcun potere sul corpo, nel modo in cui farebbe, ad esempio, la terra, tramite una forza gravitazionale. A mio avviso si tratta di un'obiezione impropria. Eleva infatti le forze gravitazionali a cause vere e fondamentali, mentre simili cose non esistono. Una forza gravitazionale può dirsi una causa nella stessa misura in cui il calore può dirsi un fluido materiale. I poteri generativi delle relazioni di riduzione che gli conferiscono il titolo di causa sono altrettanto capaci conferire il titolo di causa finale allo stato conclusivo di questo processo dissipativo.

La portata

Le esemplificazioni di cui sopra e quelle delle sezioni precedenti provengono perlopiù dalle scienze fisiche, ambito in cui mi riesce più accuratamente di dare un resoconto della plausibilità delle nozioni causali. E' mia intenzione e desiderio che questo resoconto trovi eventuali applicazioni anche nelle altre scienze, sebbene ciò sia fuori dalla portata di questo scritto. Prevedo

che il carattere dell'applicazione possa subire cambiamenti. Nelle scienze fisiche, un motivo importante per scegliere un dominio ristretto è l'esclusione di quei processi che risultano essere acausali. Un secondo motivo, a cui ho dedicato meno attenzione, è quello che domini diversi manifestano tipologie di cause diverse. In questa Sezione la prima esemplificazione illustra delle cause efficienti, mentre la seconda illustra delle cause finali. Prevedo che sarà questo secondo caso a prevalere nella chimica e nelle scienze non-fisiche, ossia che la restrizione a domini diversi tenderà a dividere i vari tipi di causazione anziché ad escludere i processi acausali. Così in un certo dominio della chimica i potenziali chimici potrebbero emergere come cause efficienti, mentre in un altro potrebbero emergere come cause finali gli stati d'equilibrio. Allo stesso modo in biologia i virus ed i batteri potrebbero costituire la causa efficiente delle malattie, mentre nella biologia evolutiva le forme adattate potrebbero funzionare come cause finali.

7. Conclusione

Lo scopo del presente resoconto del ruolo della causazione nella scienza è stato la mediazione fra due istanze apparentemente incompatibili. Da un lato, quella secondo cui le cause non giocano alcun ruolo fondamentale nella nostra scienza matura. Si tratta di scienze prive di un principio di causazione universalmente valido, il cui oggetto di studio non è esplicitamente quello della causazione. Dall'altro lato, quella secondo cui l'effettiva prassi scientifica risulta ampiamente permeata di discorsi causali: la scienza è spesso bollata come la ricerca delle cause, e la scienza scadente o superstizione viene condannata in quanto incapace di conformare ad un criterio vagamente specificato di causalità. Ho argomentato che accettare la nozione di causa nella scienza ha lo stesso valore di conservare la nozione di calorico. Nel mondo non vi è alcun calorico, il calore non è una sostanza materiale. Tuttavia, in molte situazioni il calore si comporta proprio come una sostanza materiale, e pensare al calore in simili termini può risultare molto utile. Lo stesso discorso vale per le nozioni di causa ed effetto. Al suo livello fondamentale, la scienza è priva di cause ed effetti, e non vi è alcun principio generale di causalità. Nonostante ciò, in domini adeguatamente ristretti la scienza ci conferma che il mondo si comporta esattamente come se fosse conforme alla teoria ingenua della causazione delineata in precedenza. Infine, ho sostenuto che non dobbiamo aspettarci di ritrovare la medesima nozione di causa in ciascuno di questi numerosi domini. La proliferazione di resoconti divergenti della natura della causazione sembra infatti indicare che potrebbe non esistere un'unica nozione di causa; e dunque il resoconto migliore a disposizione sarebbe una teoria ingenua e flessibile, i cui elementi non sarebbero tutti per forza accettati in ogni sua applicazione.

NOTE

(1) Sono grato a Holly Anderson, Jim Bogen, Kevin Davey, John Earman, Sam Floyd, Doreen Fraser, Brian Hepburn, Francis Longworth e Sara Mitchell per le utili discussioni, sebbene non siano in alcun modo compartecipi al presente scritto (ad eccezione di Earman).

(2) Ecco alcune diverse versioni: Kant (1783, p.218), “Tutti i cambiamenti hanno luogo in concordanza con la legge di connessione di causa ed effetto”; “Tutto ciò che avviene, tutto ciò che è, e tutto ciò che inizia ad essere presuppone qualcosa da cui segue secondo una determinata regola”. Mill (1872, Bk.III, Ch. V, §2): “La legge di causazione, il cui riconoscimento costituisce il pilastro centrale della scienza induttiva, non è altro che la consueta verità secondo cui l’invarianza della successione vigente fra ogni fatto naturale e qualche altro fatto ad esso precedente si scopre attraverso l’osservazione; e tutto ciò indipendentemente da qualsivoglia considerazione riguardante la modalità ultima di generazione dei fenomeni, nonché di qualsiasi altra questione relativa alla natura delle “cose in sé”.” Per una breve panoramica si veda Nagel (1961, Ch.10, Sect. V).

(3) “Questa indeterminatezza quantica è, in effetti, la ragione più importante per insistere sul bisogno di una causazione probabilistica” (Salmon, 1980, p.73, n.19)

(4) E’ curioso notare come l’eccezione più plausibile sia una versione priva di collasso della teoria dei quanti, essendo governata completamente dall’equazione di Schroedinger, che è deterministica.

(5) Oppure potremmo ampliare la portata formulando un principio così impoverito che non somiglia neanche più alla causazione, ma che al contempo non contraddice alcuna scienza del presente. Margenau (1950, §19.5) ipotizza che la causalità non sia altro che la “invarianza temporale delle leggi”: “La legge di causalità vale se le leggi di natura (equazioni differenziali) che governano sistemi chiusi non contengono la variabile tempo in forma esplicita”.

(6) Riprendo il tema da Schaffer (2003, section 2.1), sebbene non sia del tutto certo che definiamo il termine allo stesso modo.

(7) Attraverso calcolo diretto $d^2r/dt^2 = (1/12)(t-T)^2 = [(1/144)(t-T)^4]^{1/2}$ per $t \geq T$, e 0 altrimenti. Così si ottiene che $d^2r/dt^2 = r^{1/2}$.

(8) Perché tutti i tempi di eccitazione T siano ugualmente probabili, la probabilità che il tempo appartenga effettivamente a ciascuno degli infiniti intervalli temporali (0,1), (1,2), (2,3), (3,4), ... dovrebbe per forza essere la medesima, così a ciascuno di questi intervalli si assegnerebbe probabilità nulla. Sommando tutti gli intervalli, questa distribuzione probabilistica comporta una probabilità nulla che l’eccitazione del corpo abbia mai luogo.

(9) In un’analisi simile prendiamo in considerazione delle traiettorie con velocità iniziale eccessiva, tali che il corpo raggiunge l’apice con una qualche velocità non-nulla e lo supera. Riduciamo quindi la velocità iniziale fino ad ottenere velocità nulla all’apice, e dunque procediamo come nella prima analisi.

(10): A fini di paragone, la sua teoria ingenua si basa su tre “crucial platitudes” [“clichés/luoghi comuni cruciali”]: “La relazione causale è una relazione che vale fra eventi distinti”. “La relazione causale è una relazione intrinseca fra gli eventi”. “Ad esclusione dei casi riguardanti la “pre-emption” [N.d.T: letteralmente “prelazione”, “precedenza”] e la “overdetermination” [N.d.T: termine inglese di uso corrente nella lingua italiana e mai tradotto: l'idea che un singolo effetto osservato è determinato da cause multiple; era originalmente un concetto chiave della psicoanalisi di Sigmund Freud], un evento ne causa un altro solo quando entrambi sono distinti l'uno dall'altro ed il primo aumenta la probabilità che si verifichi il secondo”.

(11) O meglio, non intendo con questo proporre un resoconto della natura della causazione in termini di azione umana. Ci tengo solo a sottolineare l'idea, certamente meno forte, che tendiamo (senza troppa precisione) a classificare i processi come causali in base alla loro analogia con la prassi umana. Con questo non voglio certo sostenere che in questa identificazione vi sia qualcosa di propriamente costitutivo per quanto riguarda la causazione.

(12) Russell (1948, pp.491-92), nella sua concezione successiva (ed assai meno scettica) della causazione, fa di questo requisito un “postulato di continuità spazio-temporale”.