

MARGHERITA BENZI

## CAUSE, SCIENZA E SENSO COMUNE

In questo lavoro tratterò quasi del tutto separatamente la causazione generica (*type*) e quella singolare (*token*), dato che i due tipi di causazione *possono* (anche se non necessariamente *devono*) essere indagati indipendentemente. Nella prima parte presenterò soprattutto le teorie della causazione generica, cercando di evidenziare somiglianze e differenze tra queste teorie e discuterò se il fatto che queste teorie vengono applicate alle scienze speciali comporta o meno l'assenza di ogni riferimento alla causalità in fisica. Nella seconda parte mi concentrerò sulla causazione singolare e sul metodo degli esperimenti mentali, che è uno dei tratti principali della discussione in questo campo. Anche in questo contesto discuterò se vi è una differenza radicale tra ragionamenti di senso comune e argomentazione scientifica. Le considerazioni che svolgerò mirano a rendere plausibile la tesi che relativamente all'uso di asserzioni e ragionamenti causali non sussistono drammatiche discontinuità tra la scienza e il ragionamento di senso comune.

### 1. CAUSAZIONE GENERICA

Iniziamo con la causazione generica, che lega *tipi* generali di eventi (ipernutrizione e sedentarietà favoriscono il diabete) o proprietà generali (l'obesità addominale promuove l'ipertensione). La causazione generica è predominante in ambito scientifico, proprio per l'ovvio carattere di generalità che è proprio della scienza. In ambito scientifico, tuttavia, nonostante gli enormi sforzi recentemente realizzati dai filosofi e da una parte degli scienziati per liberare la nozione di causa da fumosità metafisiche, le nozioni causali hanno apparentemente vita grama. Anche se gli ultimi decenni hanno visto la formulazione di teorie della causazione e del ragionamento causale improntate a un grande rigore matematico-formale, il dibattito corrente ha fatto riemergere con nuove argomentazioni la "vecchia" tesi che afferma che, sebbene parlare di cause sia più che legittimo nel discorso ordinario, in fondo non vi è *veramente* posto per la causazione nella scienza; oppure, secondo una formulazione più debole, è ammissibile parlare di cause nelle scienze speciali, ma la causazione non è comunque compatibile con quanto ci dicono del mondo le teorie fisiche fondamentali.

Ripercorreremo nei due paragrafi seguenti sia queste posizioni sia quelle di chi attacca lo scetticismo causale cercando di mostrare come anche le teorie fondamentali della fisica lascino spazio alla causazione. Per introdurre la discussione ricorreremo a due citazioni, che ne delimitano, per così dire, il campo.

#### 1.1. *Un concetto dal volto umano. Troppo umano.*

La prima citazione è quella, ben nota, di Bertrand Russell, e segna il punto di partenza della nostra discussione: «La legge di causalità, come molto di ciò che viene raccolto dai filosofi,

credo sia il relitto di un'epoca sorpassata, che sopravvive come la monarchia soltanto perché si suppone erroneamente che non faccia alcun danno» (Russell, 1913, p. 1).

Il senso di questa citazione ci pare già abbastanza chiaro e non necessita di troppi commenti: se la causazione ha diritto a un posto dove stare, è in quella sorta di salotto di nonna Speranza concettuale che è il senso comune, dove conserviamo cianfrusaglie di vario tipo o perché ci siamo affezionati o perché troviamo più comodo usare i vecchi arnesi di sempre che non inseguire gli ultimi gadget che la tecnologia ci propone. Per usare le parole di un altro filosofo, James Woodward (2007), la causazione ha un “volto umano”, ma è proprio questa caratteristica che ne segna la distanza dalle teorie fisiche fondamentali.

La seconda citazione sembra essere di senso opposto, anche se a volte è stata interpretata come supporto alla tesi russelliana:

Si ha l'impressione che nella fisica contemporanea la situazione sia molto simile a quella dell'esperienza ordinaria, e cioè che non sia possibile applicare semplici leggi fondamentali per derivare relazioni esatte come quelle espresse in equazioni differenziali. Ciò che siamo in grado di afferrare è una varietà di relazioni eterogenee e parziali. Nel senso immediato e grezzo dell'esperienza ordinaria, queste relazioni parziali esprimono spesso relazioni causali, ed è solo naturale parlare di cause proprio allo stesso modo in cui lo facciamo nell'esperienza ordinaria (Suppes, 1970, p. 6, traduzione nostra).

Prima di arrivare a commentare questa visione di Suppes, però, dobbiamo dare sostanza a due delle nostre affermazioni precedenti, che riguardavano l'alta matematizzazione delle teorie contemporanee della causazione e l'ampio utilizzo di tali teorie da parte delle scienze speciali.

## *1.2. Un approccio scientifico alla causazione*

Una delle spiegazioni che sono state date per il mancato “spazio concettuale” per la causazione nella scienza contemporanea è l'assenza di una teoria matematica e di un linguaggio specifico della causazione (cfr. per es. Pearl, 2000). Questa assenza è stata però colmata negli ultimi trent'anni da una serie di teorie formali il cui status ricorda in parte quello del calcolo delle probabilità.

Possiamo descrivere gli elementi che caratterizzano uno stato di cose o un dominio, come un insieme di variabili ciascuna delle può assumere numero finito di valori alternativi. Data una distribuzione di valori di probabilità iniziali sulle variabili, otteniamo, se certe assunzioni sono soddisfatte ed applicando i principi del calcolo delle probabilità, la probabilità che una certa variabile  $V$  assuma un certo valore  $v_i$  nell'ipotesi altre variabili del dominio assumano determinati valori; in altri termini, calcoliamo la probabilità *a posteriori* di  $V = v_i$  data una certa *evidenza*, quella che ci verrebbe fornita dall'osservazione dello stato di altre variabili del dominio. Anche ragionare sulle cause consiste nel valutare quali valori assumeranno certe variabili, dato il valore assunto da altre variabili del dominio: soltanto che in questo caso l'evidenza per la valutazione non è data dalla mera constatazione, o assunzione, che le variabili rilevanti hanno certi valori, ma riguarda i cambiamenti che si ottengono qualora si intervenga, o si perturbino, o si *manipolino*, le altre variabili del dominio. L'evidenza della probabilità è basata sull'osservazione; l'evidenza della causalità è basata sull'azione, anche se talvolta puramente ipotetica. Le conseguenze dell'*osservare* sono diverse da quelle dell'*intervenire* su

un sistema, e la rappresentazione matematica di tale differenza ha caratterizzato la ricerca sui modelli causali. Oggi la teoria dei modelli causali coniuga aspetti più propriamente matematici (quali il calcolo delle probabilità e la teoria dei grafi) con risultati generalmente condivisi della speculazione filosofica contemporanea sulla causalità (un buon esempio di progresso cumulativo in filosofia, pur se affiancato da prospettive e posizioni molto diverse).

I modelli causali possono essere suddivisi in due filoni principali: le *reti bayesiane causali* e i *modelli a equazioni strutturali*. Nonostante si tratti di due approcci distinti, hanno aspetti comuni. Entrambi i tipi di modelli possono essere utilizzati per rispondere a quesiti sugli effetti di determinate cause, per stabilire le relazioni causali tra variabili di un dominio e per valutare gli effetti di ipotetiche manipolazioni. Sono compatibili con diverse interpretazioni delle nozioni causali e della probabilità. In tempi recenti, l'uso dei modelli causali è stato favorito dall'evoluzione della raccolta e dell'elaborazione informatica di grandi quantità di dati: consente infatti l'analisi causale di domini con migliaia, e perfino decine di migliaia di variabili (Spirtes, 2010). Questo aspetto, in particolare, appare promettente in relazione all'applicazione dei modelli causali nelle scienze biologiche (si pensi all'analisi dei dati di microarray); l'effettiva utilità di questi metodi nell'ambito delle scienze biologiche e parte della medicina, tuttavia, è (stato) al centro di un vivace dibattito negli ultimi anni (cfr. per es. Gebharter e Kaiser, 2013; Casini *et al.*, 2011). In alcuni settori l'uso dei modelli causali è consolidato (equazioni strutturali ed econometria, reti Bayesiane nella diagnostica medica, scienze sociali e area dell'intervento sanitario (Illari, Reiss e Russo, 2012).

Per una illustrazione dei due tipi di approccio rimandiamo a Spirtes, Glymour e Scheines (1993), Pearl (2000), Spirtes (2010), Williamson (2005) e, per una introduzione in italiano, a Benzi (2003), Campaner (2007) e Laudisa (2010). Qui ci limiteremo a dire che la principale differenza tra i due approcci consiste nel fatto che una rete bayesiana causale è costruita a partire da una *distribuzione di probabilità* sulle variabili, laddove un modello a equazioni strutturali parte direttamente dalla rappresentazione di una struttura causale e specifica il valore di una variabile come funzione dei valori delle sue cause. Un'altra differenza sostanziale è di carattere metodologico: le reti bayesiane causali riflettono un approccio induttivo, in quanto la struttura causale viene "scoperta" o appresa a partire dai dati statistici; di conseguenza, si inseriscono tra le tecniche di *machine learning*; i modelli ad equazioni strutturali riflettono invece una impostazione di carattere deduttivo, poiché sono costruiti a partire da relazioni causali predeterminate, generate sulla base di conoscenze teoriche in relazione all'ambito di ricerca entro il quale sono collocate.

Dal punto di vista filosofico, il formalismo dei modelli causali è compatibile con le diverse interpretazioni della nozione di causa discusse nel Novecento. Particolarmente forte è il legame tra reti bayesiane causali e l'approccio probabilistico alla causalità, elaborato da Reichenbach (1956) e successivamente da Good (1961-1962), Suppes (1970) e da Salmon (1980). Uno dei principi fondamentali delle reti bayesiane causali, la Condizione Markoviana Causale, presenta uno stretto legame con il Principio di Causa Comune di Reichenbach<sup>1</sup>. La

---

<sup>1</sup> Il principio della causa comune dice che se due variabili sono probabilisticamente dipendenti, allora una causa l'altra o entrambe dipendono da una causa comune che nasconde la dipendenza. La condizione markoviana causale dice -- in sintesi -- che ogni nodo della rete causale è probabilisticamente indipendente da tutti gli altri nodi tranne che dai suoi discendenti. È una formulazione che sostituisce il principio di causa comune e viene ritenuta una condizione necessaria per la causalità. Cfr. per es. Williamson (2007, p. 97).

cosa non dovrebbe stupire, dal momento che le reti bayesiane causali nascono come “reinterpretazione causale” di reti bayesiane costruite a partire dall’osservazione di sistemi di dipendenze e indipendenze probabilistiche. La causalità probabilistica è più frequentemente utilizzata in contesti *type*, dove le variabili denotano eventi ripetibili, o proprietà generiche; in questi contesti la probabilità riceve tipicamente un’interpretazione fisica basata sulle frequenze osservate.

La teoria dei modelli causali grafici sembra essere compatibile, con i debiti aggiustamenti, con le concezioni della causalità e della spiegazione in termini di *meccanismi* (cfr. per es. Williamson, 2011; Casini *et al.*, 2011). Tale concezione si accosta a fenomeni intesi come processi e si focalizza sulla produzione di influenza causale (cfr. per es. Campaner, 2007, p. 18). Tale concezione della causalità si trova, a partire da Salmon (1984), in vari contributi di Dowe, Glennan e Machamer, Lindley e Craver. Nato inizialmente guardando ai processi fisici, l’approccio meccanicista si è rivelato in tempi più recenti particolarmente interessante nell’ambito della filosofia della biologia, ove, come si accennava, l’applicazione dei modelli causali grafici è tuttora al centro di un’animata discussione.

Ma alla concezione meccanicista si è affiancata una ripresa della concezione controfattuale della causazione, già enunciata esplicitamente da Hume nel 1748, e rilanciata nel Novecento a partire dal fondamentale articolo di David Lewis (1973). L’intuizione di partenza è che le cause siano *difference-makers*, ovvero quei fattori senza i quali gli effetti non si sarebbero verificati. Nella teoria di Lewis (1973), dati due eventi possibili distinti *c* ed *e*, *e* dipende causalmente da *c* se e soltanto se (i) se *c* si verificasse, allora *e* si verificherebbe (o la sua probabilità aumenterebbe in maniera significativa), (ii) se *c* non si verificasse, allora *e* non si verificherebbe (o la sua probabilità diminuirebbe in maniera significativa).

In questo contesto le relazioni condizionali che definiscono la dipendenza causale sono analizzate in termini di relazioni tra mondi possibili. La nozione centrale della semantica a mondi possibili di Lewis consiste nella nozione di similarità comparativa tra mondi: un mondo possibile è più vicino di un altro al mondo attuale se il primo è più simile al mondo attuale del secondo. Il valore di verità di un enunciato controfattuale (cioè un enunciato condizionale con antecedente falso) del tipo “Se *c* fosse accaduto, allora *e* sarebbe accaduto” è vero se e soltanto se non vi è alcun mondo possibile in cui *c* è vero, oppure alcuni dei mondi in cui *c* accade e accade anche *e*, sono più vicini al mondo attuale di qualsiasi mondo in cui accade *c* ma non *e*.

La teoria di Lewis ha come oggetto le relazioni causali tra eventi individuali (*token*). La parte più discussa della sua teoria è l’utilizzo della sua semantica a mondi possibili. La costruzione di una semantica per i controfattuali alternativa a quella basata sui mondi possibili è una delle motivazioni della teoria della causazione *token*<sup>2</sup> proposta da Pearl e dai suoi collaboratori.

Nell’approccio di Pearl la trattazione dei controfattuali è legata alla nozione di intervento e pertanto rientra tra un ulteriore tipo di teorie della causazione, le concezioni manipolative, avanzate originariamente da autori quali R.G. Collingwood, D. Gasking e G.H. von Wright, riproposte negli anni novanta da P. Menzies e H. Price, e associate ai modelli strutturali da J. Pearl e J. Woodward nella versione “interventista”. Per quanto molto diverse tra loro, queste

---

<sup>2</sup> Peraltro l’uso dei modelli causali per la causalità *token* è controverso, come si vedrà meglio nella seconda parte di questo lavoro.

teorie sono accomunate dal fatto di vedere le cause come mezzi per la manipolazione e il controllo. Dando una sintesi schematica dell'idea di fondo si può dire che se  $c$  è una causa genuina di  $e$ , allora se posso manipolare  $c$  nel modo giusto, questo dovrebbe essere un modo di manipolare o cambiare  $e$  (cfr. per es. Woodward, 2007). Nelle elaborazioni di Pearl e di Woodward in termini di modelli strutturali l'approccio manipolativo ha perso le caratteristiche che lo esponevano alle accuse di un eccessivo antropocentrismo ed ha assunto una dimensione astratta (per Pearl l'operatore *do* è uno strumento di calcolo) e gli interventi riguardano i valori di variabili nelle equazioni e nei grafi. Una simile interpretazione è riconosciuta anche da autori che hanno sviluppato le teorie matematiche delle reti causali, come Spirtes, Glymour e Scheines; quest'ultimo tenta una sintesi tra la visione manipolativa della causazione e i grafi causali:

la semantica di un grafo causale riguarda manipolazioni ideali e cambiamenti di probabilità che conseguono da tali manipolazioni. Questa descrizione è circolare, perché manipolare è causare. Il nostro scopo, tuttavia, non è quello di provvedere una definizione riduttiva della causazione, ma piuttosto di connetterla alla probabilità in una maniera che si accordi alla pratica scientifica e consenta un'indagine sistematica dell'inferenza causale (Scheines, 1997, pp. 188-189).

È importante osservare che, dato il carattere astratto della nozione di *intervento* e di *manipolazione*, le teorie interventiste più strettamente connesse ai modelli causali non soltanto non provvedono definizioni riduttive della causazione, ma nemmeno definizioni esclusive: ad esempio, molte delle formulazioni interventiste non soltanto non si propongono come un'alternativa all'approccio controfattuale, ma *sono* esse stesse formulazioni controfattuali anche se con conseguenze parzialmente diverse da quelle della/e teoria/e di Lewis (cfr. Woodward, 2003).

### 1.3. *Il senso comune, le teorie fondamentali della fisica e la causazione*

Anche se, come abbiamo visto nel paragrafo precedente, la descrizione di strutture causali è ampiamente utilizzata come sostegno alle inferenze e all'assunzione di decisioni in molte discipline, e segue le indicazioni di teorie ormai collaudate sia sotto il profilo scientifico, sia sotto quello filosofico, non si può dire che la rottura nei confronti della visione scientifica del mondo denunciata da Russell sia (completamente) sanata. Non è che i modelli causali riguardino soltanto le applicazioni della scienza, laddove è necessario individuare strategie efficaci, e non l'ambito teorico: come si è accennato, essi vengono utilizzati anche a livello teorico in diverse discipline (si pensi alla epidemiologia e alla econometria, per fare alcuni esempi). Tuttavia, pur essendo accolti ed utilizzati nelle cosiddette *scienze speciali*, i modelli causali, e più in generale, le nozioni causali, non sembrano trovare spazio nella fisica fondamentale, per una serie di motivi<sup>3</sup>. Questo fatto ha indotto alcuni autori, come vedremo, a negare che i modelli causali descrivano il mondo come è, e che le nozioni causali facciano parte dell'arredo del mondo. Ci sembra che il problema della relazione tra il ruolo della causazione nelle scienze speciali e nella fisica fondamentale corrisponda al problema della

---

<sup>3</sup> Uno di questi è che nella meccanica quantistica non vale la Condizione markoviana causale, Per una discussione su questo vedi Hausman e Woodward (1999) e su una difesa dell'utilizzo della condizione markoviana in meccanica quantistica Suarez (2007).

relazione tra il ruolo della causazione nel senso comune e nella fisica; è vero che l'uso dei modelli causali nelle scienze speciali appare più sofisticato che non l'uso di nozioni causali nel ragionamento di senso comune, e richiede un ben maggiore addestramento, ma la questione di fondo è la stessa in entrambi i casi: ci chiediamo perché nozioni e inferenze causali, che ricevono ampio spazio e un ruolo importante nei ragionamenti di senso comune e nelle scienze speciali, sembrano svanire completamente nella fisica fondamentale. La discussione che richiamo in questo paragrafo è centrata proprio su tale questione, e tratta senso comune e scienze speciali allo stesso modo. Gli autori sui quali ci concentreremo, J. Woodward e M. Frisch, usano l'espressione "teorie fisiche fondamentali" per denotare teorie fisiche affermate (*established*), includendo quindi teorie quali l'elettromagnetismo e la meccanica classica. Seguirò il loro uso, anche se qualche volta, per brevità, userò "fisica" al posto di "fisica fondamentale".

Woodward (2007) non intende classificare le nozioni causali come antiscientifiche: si propone infatti di dimostrare che l'uso di nozioni causali nelle scienze speciali non è inficiato dalla inesistenza o dalla non applicabilità di tali nozioni nella fisica di base: al contrario, l'uso di tali nozioni è «legittimo in tutti i contesti nei quali siamo in grado di spiegare perché esse sono utili, che tipo di lavoro svolgono e quanto la loro applicazione è controllato dall'evidenza». Una difesa della tesi che la causazione sia *utile* in ambito scientifico, pur rimanendo assente dalla teoria fisica fondamentale, è presentata, da autori quali J. Norton, C. Hitchcock e A. Elga, nel volume di Price e Corry (2007). Ci sembra che le considerazioni esposte in Frisch (2014) offrano una buona risposta a tale tipo di posizione, ed è su tale saggio che ci concentreremo.

Come gli altri autori citati, Frisch (2014) ritiene che la causazione sia scientificamente utile, ed egli concorda con Woodward nel rifiutare il *fondamentalismo* che induce a negare la legittimità scientifica di una nozione se questa non è ancorata (*grounded*) nella fisica fondamentale. Tuttavia, Frisch si spinge oltre, e nega l'idea consolidata che la causazione sia estranea alla fisica, giungendo a sostenere che, al contrario, anche la fisica è *profondamente permeata* di nozioni causali. La difesa di tale tesi si basa sulla confutazione delle argomentazioni volte a dimostrare la presunta mancanza di spazio concettuale per la causazione nella fisica fondamentale, e la sua conseguente assenza nell'arredo del mondo. Vediamo innanzitutto in che cosa consistono queste argomentazioni.

Generalmente, osserva Frisch, gli argomenti che affermano l'estraneità delle nozioni causali rispetto alla fisica fondamentale mirano a individuare un qualche aspetto  $x$  che: (i)  $x$  è essenziale per la costruzione di modelli causali (in senso lato), e (ii)  $x$  non appartiene alla rappresentazione dei fenomeni che è propria della fisica; dalla congiunzione di (i) e (ii) si trae la conclusione che in fisica non vi è spazio per i modelli causali. Frisch discute tre possibili candidati per il ruolo di  $x$ : la cosiddetta granularità delle relazioni causali (o, più precisamente, il fatto che le descrizioni dei fenomeni che includono relazioni causali siano più "a grana grossa" delle descrizioni fornite dalle teorie fisiche fondamentali); il fatto che tutte le asserzioni causali siano relative a un qualche insieme di condizioni di sfondo, e infine il fatto che le relazioni causali, a differenza di quelle fisiche, siano temporalmente asimmetriche. In quanto segue ci concentreremo sulla risposta a questi tre aspetti che sottendono tre argomenti a favore della visione russelliana, cioè dell'assenza o irrilevanza di aspetti causali in fisica.

Per quanto riguarda l'argomento fondato sulle differenze di granularità, sostenuto da Woodward (2007) e da Field (2003), Frisch ribatte sottolineando la necessità di distinguere accuratamente i *modelli* costruiti con l'ausilio di una teoria dai *sistemi fisici* (del mondo reale) che i modelli intendono rappresentare. Quando si rappresenta un fenomeno mediante un modello costruito a partire da insieme di leggi dinamiche, *all'interno del modello* «le equazioni fondamentali della teoria mettono in relazione tra di loro stati definiti in modo preciso nei termini di valori assegnati a certe variabili di stato» (Frisch, 2014, p. 409). Ma anche nei modelli causali, all'interno dell'impostazione formale che abbiamo visto nel paragrafo precedente, le relazioni causali tra variabili possono essere definite con una precisione non minore di quella dei modelli dinamici in fisica. Per converso, se passiamo dalle relazioni interne ai modelli alle relazioni modello-mondo, la rappresentazione del mondo è sempre in qualche misura vaga, non precisa o approssimata, sia nei modelli dinamici, sia nei modelli causali. Non è di conseguenza giustificato, secondo Frisch, ritenere che i modelli causali debbano essere per forza meno precisi o più approssimativi, dei modelli fisici. Le preoccupazioni degli scettici, tuttavia, non sono completamente dissolte da tali considerazioni, perché non abbiamo ancora escluso la possibilità che il modello causale di un certo sistema abbia una granularità più grossolana di quella di una microteoria sottostante, e sia pertanto incapace di individuare accuratamente lo spazio delle possibilità implicato da quest'ultima (cfr. Woodward, 2007; sull'argomento intervengono anche Field, 2003 e Loewer, 2007 e 2012); tuttavia si potrebbe osservare che analoghe considerazioni valgono anche per i modelli costruiti a partire dalle teorie fisiche, per i quali, con la sola eccezione dei modelli costruiti a partire da una ipotetica teoria "finale" è possibile ipotizzare un livello teorico sottostante a granularità più fine.

Passiamo ora al secondo degli aspetti che secondo gli esponenti della particolare varietà di scetticismo causale che stiamo qui considerando dovrebbe essere centrale nei modelli causali ma assente nei modelli fisici, e pertanto atto a dimostrare l'inadeguatezza delle nozioni causali in fisica: la relatività delle asserzioni causali rispetto alle condizioni di sfondo (su questo tema cfr. Benzi, 2002). Woodward (2007) ricorda come la caratterizzazione della causazione come intervento richiede che le generalizzazioni causali valgano anche quando l'intervento vari secondo una qualche gamma di tipologie e intensità, ed anche al variare, entro una certa scala, delle condizioni di sfondo dell'intervento: si tratta, rispettivamente, dei requisiti di *invarianza* e di *stabilità*, senza i quali non sarebbe possibile distinguere tra relazioni di causazione genuina e correlazioni spurie (per es. lo sfregamento di un fiammifero ne causa l'accensione, date le opportune condizioni di sfondo, in un'ampia gamma di superfici ruvide e modalità di sfregamento). Nelle scienze speciali, osserva Woodward, la stabilità e l'invarianza richieste nella valutazione delle generalizzazioni causali sono, ordinariamente, molto minori rispetto a quanto avviene per le leggi di natura fondamentali. Una caratterizzazione tradizionale di queste ultime richiede che esse valgano in tutte le circostanze fisiche possibili; ma anche quando sono previste delle (possibili) eccezioni, come nel caso della equazione di Schrödinger o delle equazioni di campo della relatività generale, le leggi fondamentali hanno un ambito di validità (e di invarianza e di stabilità) enormemente più ampio.

Vi è un'ulteriore caratteristica delle scienze fondamentali strettamente connessa a questo argomento: l'idea che le scienze fondamentali permettono la rappresentazione *completa* di un fenomeno, che comprende tutte le possibili influenze sul fenomeno in questione; viceversa, i

modelli causali relativi alle scienze speciali e al senso comune generalmente si limitano a esplicitare la dipendenze tra un numero limitato di variabili, inserite in un contesto di condizioni di sfondo che qualificano la particolare indagine speciale o di senso comune che si sta conducendo. Così, se consideriamo l'accensione di un fiammifero alla luce di una teoria microfisica completa, l'evento in questione andrebbe derivato dallo stato completo di una particolare regione del mondo immediatamente precedente l'accensione; e non vi sarebbe distinzione tra cause e condizioni di sfondo; se consideriamo il medesimo evento nella prospettiva del senso comune, possiamo distinguere tra eventi o stati che sono cause ed eventi o stati che non lo sono, relativamente alle condizioni di sfondo.

Queste considerazioni, naturalmente, hanno ancora una volta lo scopo di ribadire che nella fisica fondamentale non vi è spazio per modelli causali (e più in generale per nozioni causali): in questo caso le premesse dalle quali è tratta la conclusione sono, come ormai dovrebbe essere chiaro, le due seguenti: (i) le teorie della fisica fondamentale originano modelli relativi a dati completi e che non permettono di distinguere tra cause e condizioni di sfondo, e (ii) se un modello non consente la distinzione tra cause e condizioni di sfondo, allora non può ricevere alcuna interpretazione causale. Sono proprio le premesse, però, ad essere messe in questione da Frisch, che sostiene che nei modelli dinamici della fisica le condizioni al contorno e le condizioni iniziali svolgono un ruolo analogo a quello che spetta alle condizioni di sfondo nei modelli causali. Frisch contesta anche la presunta completezza della fisica: innanzitutto, nel costruire modelli di esperimenti finalizzati al controllo delle teorie, anche i fisici distinguono tra fattori rilevanti e fattori irrilevanti; quindi anche i "modelli dinamici" della fisica sono "parziali e idealizzati", nel senso che possono sia includere condizioni al contorno che "schermano" il fenomeno dall'influenza di ulteriori fattori, sia escludere variabili (come quando si ragiona sulle interazioni tra due palle da biliardo senza considerare il fondo del tavolo o la viscosità dell'aria), sia omettere condizioni iniziali.

Il terzo ordine di considerazioni relativo addotto a sostegno della presunta inadeguatezza delle nozioni causali in fisica riguarda il fatto che le relazioni causali sono generalmente considerate asimmetriche, e quindi non possono svolgere un qualche ruolo in una fisica che prevede soltanto relazioni fondamentali simmetriche. La concezione dominante è che in fisica i sistemi siano descritti esaustivamente da insiemi di equazioni dinamiche, derivate dalla teoria, più le condizioni iniziali; leggi dinamiche, espresse da equazioni simmetriche, e condizioni iniziali ci dicono tutto quello c'è da sapere sul sistema studiato, e non vi sarebbe alcun bisogno di un ulteriore contributo offerto da eventuali nozioni causali.

Contro questa applicazione del rasoio di Ockham, Frisch obietta che, anche se è vero che le equazioni di una teoria sono a-causali, è sulla base di considerazioni causali che selezioniamo, nei modelli *fisici*, le condizioni iniziali e le condizioni al contorno; egli contesta inoltre l'opinione corrente, secondo la quale in fisica le inferenze procedono da condizioni iniziali perfettamente specificate e inserite in un opportuno sistema di equazioni. Al contrario, si dà il caso che spesso in fisica l'evidenza osservativa sottodetermini quale tra i diversi modelli di una teoria rappresenti adeguatamente il fenomeno studiato: in questi casi la scelta tra i modelli avviene incorporando i modelli dinamici in strutture causali più ampie. Dunque, per Frisch, non è corretto dire che le nozioni causali non trovano spazio nella fisica fondamentale; al contrario, esse svolgono un ruolo cruciale nella costruzione dei modelli fisici che si



propongono di rappresentare fenomeni del mondo reale e non mere possibilità licenziate dalla teoria in vigore.

Abbiamo insistito sul saggio di Frisch, perché dà una risposta interessante contro le ragioni *generali* che possono essere addotte a favore di una netta separazione tra il senso comune (e le scienze speciali) da un lato e le teorie fisiche fondamentali dall'altro; è dunque una buona introduzione ad un dibattito filosofico tuttora aperto. Frisch conclude con la citazione di Suppes riportata all'inizio di questa parte, rispondendo a un'interpretazione dello stesso passo data da Hitchcock, per cui la visione di Suppes implicherebbe che solo a certi stadi iniziali e imprecisi della fisica si usino ancora concetti causali da abbandonare negli stadi più avanzati. A questo Frisch risponde nel modo seguente:

Secondo la visione di Hitchcock e la sua lettura di Suppes, è un tratto caratteristico delle caratterizzazioni causali dei fenomeni che esse siano parziali, imprecise, solo qualitative e preliminari. Secondo una lettura alternativa che voglio proporre, Suppes sta ponendo l'attenzione prima di tutto su un tratto generale che tutte le rappresentazioni in fisica condividono con quelle delle scienze più alte e del senso comune: la loro parzialità. La fisica classica ci può aver sedotto con l'illusione che la fisica ci fornirebbe alla fine rappresentazioni complete ed esatte dei fenomeni, ma questo non è mai stato niente più che un'illusione (2014, p. 418 ).

## 2. CAUSAZIONE SINGOLARE

La relazione tra teorie della causazione generica e teorie della causazione singolare è tuttora aperta, nel senso che non vi è ancora un accordo preciso se si debba perseguire una teoria unificata, o se viceversa le due teorie vadano elaborate in maniera indipendente l'una dall'altra. In questo lavoro non affronteremo tale questione, ma ci limiteremo a prendere atto del fatto che vi sono teorie specifiche della causazione singolare. Da un punto di vista pragmatico, si tende a vedere la causazione generica come un concetto applicabile in ambito scientifico (almeno per quanto riguarda le scienze speciali), mentre la causazione singolare è legata al discorso ordinario. Tale distinzione è accettabile soltanto in parte, poiché, se è vero che le scienze naturali, quelle sociali e l'epidemiologia privilegiano la causazione generica mentre la causazione singolare è prevalentemente applicata nel diritto e nelle scienze storiche, è vero anche che la causazione singolare trova ampia applicazione in settori scientifici quali la medicina clinica e la diagnostica informatica.

### 2.1. *Importanza degli esperimenti mentali*

Un possibile elemento talvolta utilizzato a favore della separazione tra causazione generale (scientifica) e causazione singolare (propria del senso comune), è il particolare metodo di lavoro prevalente nel campo della ricerca filosofica sulla causazione singolare, soprattutto quando si adotta un approccio basato sui controfattuali. A partire da Lewis (1973), la maggioranza delle teorie controfattuali della causazione hanno avuto come oggetto di studio la causazione singolare, espressa da asserzioni del tipo "l'evento *c* ha causato l'evento *e*", dove "*c*" ed "*e*" denotano eventi singolari. L'analisi controfattuale della causazione singolare si è avvalsa negli ultimi decenni di un metodo particolare, consistente nell'elaborare teorie e metterle alla prova mediante opportuni esperimenti mentali, seguendo un percorso che può essere schematizzato come segue: (a) si presenta una teoria controfattuale della causazione

singolare; (b) la si controlla alla luce di un corpus prestabilito di casi esemplari; (c) eventualmente la si modifica per far fronte ai controesempi, i quali, a loro volta (d) vengono successivamente complicati, arricchiti e indirizzati contro la nuova formulazione della teoria (cfr. Collins, Hall e Paul, 2004, p. 30)<sup>4</sup>.

La produzione, apparentemente interminabile, di versioni aggiornate di un numero limitato di casi esemplari, per quanto usuale in filosofia analitica, è stata giudicata un po' astratta e barocca da alcuni filosofi della scienza, e talvolta dagli stessi studiosi della causazione singolare: in particolare, appare sospetto il fatto che il giudizio finale sulla teoria sia demandato alle intuizioni. Paul (2009), tuttavia, pur ammettendo che le intuizioni siano spesso poco chiare e fuorvianti, invita a non sottostimare l'importanza dei controesempi come strumento di indagine per le relazioni casuali, in quanto sarebbero in grado di svelarci alcuni aspetti della relazione causale "in se stessa", indipendentemente dal tipo di analisi adottata, sia questa controfattuale o meno.

La fede nell'affidabilità delle intuizioni, o il ricorso stesso alle intuizioni, sono alcune delle tematiche centrali del dibattito attuale sul ruolo degli esperimenti mentali in filosofia<sup>5</sup>, che naturalmente tocca anche la riflessione sulla causazione singolare; in questa sede, tuttavia, mi concentrerò su una questione specifica, e precisamente: *l'indagine sulla causazione singolare è -- per oggetto e metodi di ricerca -- intrinsecamente e costituzionalmente legata al ragionamento di senso comune, o presenta affinità, seppure di diverso grado, con il ragionamento e il metodo scientifico?* Naturalmente, appellarsi al fatto che vi sono ambiti scientifici, quali quelli citati sopra della clinica medica e della diagnostica informatica, nei quali *de facto* si formulano giudizi di causazione singolare non è sufficiente sul piano teoretico. Due sono gli aspetti sui quali si è appuntata la discussione più recente sulla "scientificità" dell'indagine sulla causazione singolare, e sono strettamente interconnessi: la *formalizzazione*, che tratto nel prossimo paragrafo, e l'*evidenza*, che affronto nel paragrafo successivo. Il *trait d'union* è dato, appunto, dagli esperimenti mentali.

## 2.2. Casi esemplari e modelli causali grafici: la formalizzazione fa la differenza?

Anche la riflessione sulla causazione singolare, come quella sulla causazione generica, si è avvalsa di metodi di rappresentazione grafica. I *diagrammi neuronali*, resi popolari da Lewis (1986) costituiscono un metodo di rappresentazione visuale basati su circoli, associati a variabili, e due tipi di frecce; *i modelli causali a equazioni strutturali*, già visti nei paragrafi precedenti di questo lavoro, sono stati applicati alla causazione singolare, in particolare da Hitchcock (2001 e 2007b), Woodward (2003) e Halpern e Pearl (2005)<sup>6</sup>. Ci concentreremo qui

---

<sup>4</sup> Rappresentativo del metodo di indagine è l'esempio seguente, originariamente dovuto a Ned Hall e caso paradigmatico di esclusione (*pre-emption*), una particolare fonte di difficoltà della teoria originaria di Lewis: Billy e Suzy raccolgono sassi e li lanciano contro una bottiglia. Il sasso di Suzy arriva per primo, mandando la bottiglia in frantumi. Poiché entrambi i lanci sono perfettamente accurati, quello di Billy avrebbe mandato in frantumi la bottiglia se non fosse stato superato dal lancio di Suzy. Nella letteratura sulla causazione singolare l'esempio ha subito innumerevoli variazioni, comprese quelle in cui Billy e Suzy, cresciuti, sganciano bombe da cacciabombardieri o sparano proiettili intelligenti.

<sup>5</sup> Ci limiteremo a citare i contributi di Williamson (2007) e di Ichikawa e Jarvis (2009).

<sup>6</sup> Per le analogie e differenze tra diverse teorie della causazione singolare basate su modelli a equazioni strutturali, cfr. Livengood (2013).

su questo tipo di formalizzazione (per un confronto tra i due metodi di rappresentazione rinviamo a Hall, 2007).

Nella elaborazione delle teorie causali basate sui modelli formali, il ruolo degli esperimenti mentali era esattamente quello svolto nelle altre teorie: il caso esemplare veniva rappresentato mediante un modello a equazioni strutturali e, seguendo le indicazioni della teoria, si appurava se nel caso rappresentato la teoria rilasciava la *giusta* risposta ai quesiti causali. Come da consuetudine, una risposta *giusta* è una risposta in accordo con le nostre intuizioni. Il fatto che in questo caso la teoria applicata si avvale dell'apparato di calcolo e dei metodi di rappresentazione grafica legata alla teoria dei modelli strutturali non segna, pertanto, una rottura insanabile rispetto ai metodi usuali di indagine filosofica in questo campo. Questa continuità metodologica è stata rilevata e criticata recentemente da Glymour *et al.* (2010); oltre a fornire una disamina dei diversi metodi di rappresentazione grafica adottati, gli autori criticano la pratica – indicata come *bottom up* o induttiva -- consistente nel generalizzare conclusioni causali tratte a proposito di un numero esiguo di “cover-stories” rappresentate mediante modelli grafici causali. Uno dei motivi della non affidabilità di tale metodo deriverebbe proprio dall'esiguità del numero degli esempi considerati, sempre irrisorio rispetto al numero di possibili strutture causali che potrebbero darsi; il problema è reso inoltre ancora peggiore dal fatto che ogni struttura di relazione causali incorporata in un modello potrebbe essere incorporata in una struttura più ampia, caratterizzata da un più alto numero di variabili, e questo potrebbe cambiare l'effettivo ruolo causale esercitato dalle variabili nella struttura originaria.

Si potrebbe obiettare che le intuizioni di coloro che individuano i casi esemplari deputati a testare le teorie causali, e li formalizzano mediante modelli, selezionano “a monte” i giusti casi esemplari: tuttavia questa risposta non è del tutto rassicurante, poiché presuppone la piena affidabilità delle intuizioni di chi propone e formalizza gli esperimenti mentali. In alternativa, Glymour *et al.* (2010) propongono di sostituire il metodo *bottom-up* con una strategia *euclidea*, vale a dire un metodo formale basato sulla selezione di alcuni principi che appaiono promettenti e nel derivare conclusioni da tali principi, indicati come assiomi volti a dare condizioni necessarie e sufficienti per l'applicazione del concetto di causazione singolare: non si dovrebbe richiedere, in questo caso, che i modelli eventualmente costruiti si conformino all'intuizione: semmai sono i modelli ad avere il compito di disciplinare quest'ultima.

La critica di Glymour *et al.* (2010) mette in guardia contro l'illusione che tradurre i casi esemplari utilizzati negli esperimenti mentali in modelli formali, o addirittura partire direttamente da modelli formali intesi come rappresentazioni di astratte strutture causali, basti a garantirci un approccio scientifico alla causazione singolare. Un'analoga conclusione sembra emergere da una grave difficoltà legata all'applicazione dei modelli strutturali: il *problema dell'isomorfismo dei modelli*. Tralasciando i dettagli tecnici (per i quali rimandiamo a Hiddleston, 2005; Hall, 2007; Hitchcock, 2007b; Halpern, 2008), possiamo dire che il problema sorge quando il modello formale produce risposte identiche a quesiti causali che secondo la nostra intuizione dovrebbero ricevere risposte opposte. Per chiarire consideriamo due casi esemplari (Hitchcock, 2007b, pp. 522-523):

- A. L'Assassino e la Cattiva versano contemporaneamente identiche dosi di un veleno letale nel caffè della Vittima; ciascuna dose sarebbe di per sé sufficiente a provocare la morte.

La Vittima beve il caffè e muore; se il caffè non fosse stato avvelenato la Vittima sarebbe sopravvissuta.

Il quesito causale è se l'azione dell'Assassino (o della Cattiva) sia causa della morte della Vittima. Questo esempio è un caso di sovradeterminazione causale, e costituisce un controesempio per le teorie controfattuali della causa perché la nostra intuizione che le azioni dell'Assassino e della Cattiva siano entrambe cause di morte si scontra con la definizione controfattuale: se l'uno (o l'altra) non avesse agito, la Vittima sarebbe morta ugualmente. Consideriamo ora il caso

B. L'Assassino è in possesso di un veleno letale, ma all'ultimo momento cambia opinione e si astiene dal versarlo nel caffè della Vittima. La Guardia del corpo versa nel caffè un antidoto che avrebbe neutralizzato il veleno se ci fosse stato. La Vittima beve il caffè e sopravvive.

Qui il quesito è se l'azione della Guardia del corpo sia causa della sopravvivenza della vittima. Le nostre risposte intuitive ai quesiti causali sollevati rispetto ai due esempi sono diverse: ammettiamo un ruolo causale per l'azione dell'Assassino in A e lo neghiamo per l'azione di Guardia del corpo in B, in quanto ci pare che l'antidoto per un veleno inesistente non svolga alcun ruolo causale. Tuttavia, nelle prime applicazioni del formalismo dei modelli a equazioni strutturali alla teoria della causazione singolare i due casi erano rappresentati mediante lo stesso modello e non vi era alcun modo per differenziare B da A.

Il problema dell'isomorfismo dei modelli ha indotto a pensare che l'apparato tecnico-formale della teoria dei modelli a equazioni strutturali (e forse anche altri formalismi) non sia sufficiente per la fondazione di una teoria della causazione singolare, e che per distinguere A da B sia necessario introdurre una qualche nozione di "rottura della normalità": in A le azioni dell'Assassino e della Cattiva sono causalmente efficaci perché sanciscono una rottura rispetto alla condizione normale della Vittima, che consiste nell'essere in vita, mentre in B tale rottura non si verifica. È ovvio però che se la costruzione di modelli causali deve essere integrata con una qualche concezione di normalità, o teoria dei *default*, allora cessa di essere puramente formale ed esige forti considerazioni di relatività al contesto, o alla conoscenza di sfondo. Tale conoscenza di sfondo può riguardare teorie e competenze scientifiche se il quesito causale è un quesito scientifico; in caso contrario consisterà in conoscenze di senso comune. Ciò che mi preme sottolineare è che in questo caso non vi è una differenza assoluta tra contesto scientifico e contesto di senso comune: non vi è una distinzione assoluta di valore epistemologico tra le avventure di Billy e Suzy (vedi nota 5) e i quesiti causali sollevati da autentici problemi scientifici, anche se può non stupire il fatto che i filosofi della scienza prediligano questi ultimi.

### 2.3. *Esperimenti mentali ed evidenza*

Uno degli aspetti che potrebbero giustificare una netta separazione tra le teorie controfattuali della causazione singolare e le teorie "scientifiche" è dato dal fatto che nel valutare un controfattuale non abbiamo evidenza empirica diretta: l'antecedente del condizionale ci dice proprio come *non* sono andate le cose. È vero che nella maggior parte dei casi il giudizio è

aiutato da altre evidenze empiriche ragionevolmente rispettabili: leggi di natura, generalizzazioni statistiche, analogie. Però a nostro giudizio ciò che caratterizza la causazione singolare -- o la causazione effettiva (*actual causation*: causazione singolare e causazione effettiva non coincidono esattamente, ma qui trascureremo la distinzione) è il considerare gli individui per le loro peculiarità individuali e non come unità di popolazioni statistiche; in altre parole, vogliamo metodi per rilasciare giudizi causali affidabili anche in situazioni improbabili, o uniche; e non è detto che tali situazioni debbano per forza esulare dal dominio scientifico. Diventa molto importante, allora, affrontare il problema se i giudizi di causazione singolare possano ricorrere a tipi di evidenza o a metodi di valutazione dell'evidenza peculiari, ma non per questo estranei alla scienza.

Una posizione comune, anche se non unanime, ammette che in filosofia l'evidenza fornita dagli esperimenti mentali consiste nel confrontare la teoria con le nostre intuizioni. Ovviamente le nostre intuizioni possono essere non condivise, instabili o erranee: l'appello di Glymour *et al.* (2010) all'aderenza a una strategia euclidea era legato anche all'esigenza di evitare i pericoli connessi all'intuizione. Particolare avversione, nel campo della ricerca sulla causazione singolare, desta l'idea che l'intuizione raffinata dei filosofi produca evidenza diversa e più affidabile di quella di persone non addestrate filosoficamente. Si ritiene, al contrario, che le intuizioni dei filosofi siano, magari inconsciamente, *biased* in favore della teoria della causazione adottata e pertanto, *contra* Paul (2009), non forniscano evidenza *indipendente* (Glymour *et al.*, 2010; Hitchcock, 2012). Da questo punto di vista, forse, il ragionamento di senso comune si trova in una situazione un po' diversa da quella del ragionamento scientifico: è plausibile infatti, che negli esperimenti mentali strettamente scientifici un *training* professionale (ad esempio in fisica, o in cosmologia) fornisca evidenza migliore di quelle dei "profani". Tuttavia, questo non sembra molto rilevante, per due ragioni.

La prima è che l'intuizione non è la sola fonte dell'evidenza singolare. Anche se l'argomento è relativamente nuovo in filosofia della scienza, è verosimile che emergano criteri specifici per l'evidenza della causazione singolare meno soggettivi e applicabili sia allo studio di casi singolari in ambito scientifico, sia ad esperimenti mentali situati in contesti (più o meno) ordinari. Molto promettente in questa direzione appare il contributo di Cartwright (2015), che indica cinque fattori di valutazione dell'evidenza a favore dell'asserzione di causazione singolare "*c ha causato e*":

- a) eliminazione di possibili cause alternative (o "inferenza holmesiana": quando tutte le alternative sono state eliminate, si deve scegliere l'ipotesi superstite, anche se improbabile);
- b) controllo delle caratteristiche dell'effetto, ovvero se la sua occorrenza avviene nelle modalità spaziali, temporali e con la magnitudo che ci si sarebbe dovuto aspettare se fosse stato causato dalla presunta causa singolare;
- c) controllo dei sintomi, ovvero dei possibili effetti collaterali che avrebbero dovuto manifestarsi se *e* fosse stato causato da *c*;
- d) presenza delle condizioni di sostegno esterno necessarie (tutti i fattori richiesti affinché *c* potesse produrre *e* erano presenti?);
- e) presenza di fattori intermedi del percorso causale tra *c* ed *e*.

Il secondo motivo per cui non trovo particolarmente preoccupante il ricorso all'intuizione nei giudizi di causazione singolare è che sospetto che vengano classificate sotto l'etichetta di "intuizione" forme di ragionamento che forse non hanno ricevuto l'attenzione che i filosofi della scienza hanno tradizionalmente dedicato alle inferenze deduttive o a quelle induttive, ma che non vedo perché debbano essere escluse dall'ambito scientifico: mi riferisco in particolare al *case-based reasoning* e al *pattern recognition* (cfr. per es. Benzi, 2011).

### 3. CONCLUSIONI

Le argomentazioni precedenti sono volte a mostrare che vi è spazio nella causazione anche nelle teorie fisiche fondamentali e che i giudizi di causazione singolare, i più difficili da giustificare in ambito scientifico, si avvalgono di metodi e utilizzano evidenza in modo sostanzialmente non dissimile nei due domini della scienza e del senso comune. *Ergo*, non vi sono ragioni per ritenere che la causazione sia esclusa dal primo dominio e appartenga soltanto al secondo.

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Benzi, M. (2002), *Cause e contesti*, in C. Penco (a cura di), *La svolta contestuale*, McGraw-Hill, Milano, pp. 99-120.
- Benzi M. (2003), *Scoprire le cause. Reti causali, contesti, probabilità*, Angeli, Milano, rist. 2005.
- Benzi, M. (2011), *Medical Diagnosis and Actual Causation*, in "Logic and Philosophy of Science", 9, pp. 365-372.
- Campaner, R. (2007), *La causalità tra filosofia e scienza*, Archetipo libri, Bologna, 2 ed. 2012.
- Cartwright, N. (2015), *Single Case Causes: What is Evidence and Why*, Durham University CHES Working Paper No. 2015-02.
- Casini, L., P. Illari, F. Russo e J. Williamson (2011), *Models for Prediction, Explanation and Control: Recursive Bayesian Networks*, in "Theoria", 26(1), pp. 5-33.
- Collins, J., N. Hall e L. Paul (2004), *Causation and Counterfactuals*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Field, H. (2003), *Causation in a Physical World*, in M.J. Loux e D.W. Zimmerman (a cura di), *The Oxford Handbook of Metaphysics*, Oxford University Press, Oxford, pp. 435-460.
- Frisch, M. (2014), *Physics and the Human Face of Causation*, in "Topoi", 33, pp. 407-419.
- Gebharder, A. e M.I. Kaiser (2013), *Causal Graphs and Biological Mechanisms*, in M.I. Kaiser, O. Scholz, D. Plenge e A. Hüttemann (a cura di), *Explanation in the Special Sciences: The case of Biology and History*, Springer, New York, pp. 55-85.
- Glymour, C., D. Danks, B. Glymour, F. Eberhardt, J. Ramsey, R. Scheines, P. Spirtes, C.M. Teng e J. Zhang (2010), *Actual causation: A Stone Soup Essay*, in "Synthese", 175, pp. 169-192.
- Good, I.J. (1961-1962), *A Causal Calculus I-II*, in "British Journal for the Philosophy of Science", 11, pp. 305-318; BJPS 12, pp. 43-51; Errata and Corrigenda, in BJPS 13, p. 88.
- Hall, N. (2007), *Structural Equations and Causation*, in "Philosophical Studies", 132, pp. 109-136.

- Halpern, J.Y. (2008), *Defaults and Normality in Causal Structures*, in *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proc. Eleventh International Conference (KR 2008)*, pp. 198-208.
- Halpern, J. e C. Hitchcock (2010), *Actual Causation and the Art of Modelling*, in R. Dechter, H. Geffner e J. Halpern (a cura di), *Heuristics, Probability, and Causality*, College Publications, London, pp. 383-406.
- Halpern, J. e J. Pearl (2005), *Causes and explanations: A structural-model approach. Part I: Causes*, in "British Journal for the Philosophy of Science", 56, pp. 843-887.
- Hausman, D. M. e J. Woodward (1999), *Independence, invariance and the causal Markov condition*, in "British Journal for the Philosophy of Science", 50(4), pp. 521-583.
- Hiddleston, E. (2005), *Causal Powers*, in "British Journal for the Philosophy of Science", 56, pp. 27-59.
- Hitchcock, C. (2001), *The Intransitivity of Causation Revealed in Equations and Graphs*, in "The Journal of Philosophy", 98, pp. 273-299.
- Hitchcock, C. (2007), *What Russell Got Right*, in H. Price e R. Corry (a cura di), *Causation, physics, and the constitution of reality: Russell's republic revisited*, Clarendon Press, Oxford.
- Hitchcock, C. (2007b), *Prevention, Preemption, and the Principle of Sufficient Reason*, in "Philosophical Review", 116, pp. 495-532.
- Hitchcock, C. (2012), *Thought Experiments, Real Experiments and the Expertise Objection*, in "European Journal of Philosophy of science", 2, pp. 205-218.
- Hitchcock, C. e J. Knobe (2009), *Cause and Norm*, in "Journal of Philosophy", 106(11), pp. 587-612.
- Ichikawa, J. e B. Jarvis (2009), *Thought-experiment Intuitions and Truth in Fiction*, in "Philosophical Studies" 142, pp. 221-246.
- Illari P., J. Reiss e F. Russo (2012) (a cura di), *Special Issue of Studies in the History and Philosophy of Science*, 43(4), pp. 741-830 (raccolta di saggi da CitS 2010 Causality in the Social and Biomedical Sciences, Rotterdam).
- Laudisa, F. (2010), *La causalità*, Carocci, Roma.
- Lewis, D. (1979), *Causation*, in "Journal of Philosophy", 70, pp. 556-567.
- Lewis, D. (1986), *Postscripts to "Causation"*, in Id., *Philosophical Papers 2*, Oxford University Press, Oxford, pp. 159-213.
- Livengood, J. (2013), *Actual Causation and Simple Voting Scenarios*, in "Nous" 47(2), pp. 316-345.
- Loewer, B. (2007), *Counterfactuals and the Second Law*, in Price e Corry (2007, pp 293-326).
- Loewer, B. (2012), *The Emergence of Time's Arrows and Special Science Laws from Physics*, in "Interface Focus", 2 (1), pp. 13-19.
- Paul, L.H. (2009), *Counterfactual theories*, in *Oxford Handbook of Philosophy*, Oxford University Press, Oxford, pp. 158-184.
- Pearl J. (2000), *Causality: Models, Reasoning and Inference*, Cambridge University Press, Cambridge, II ed. 2009.
- Price. H. e R. Corry (a cura di) (2007), *Causation, Physics, and the Constitution of Reality: Russell's Republic Revisited*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Price, H. e Weslake, B. (2009), *The Time-asymmetry of Causation* in Beebe, H., Menzies, P. e Hitchcock C. (a cura di) *The Oxford Handbook of Causation*, Oxford University Press, Oxford, pp. 414-443.
- Reichenbach, H. (1956), *The Direction of Time*. University of California Press, Berkeley.

- Russell, B. (1913), On the Notion of Cause, in "Proceedings of the Aristotelian Society" 13: 1-26 (tr.it. in Russell B., *Logica e conoscenza*, Longanesi, Milano 1961).
- Salmon, W. (1980), Probabilistic Causality, in "Pacific Philosophical Quarterly" 61, pp. 50-74. Trad. it. *Causalità probabilistica*, in Campaner (2007), pp. 107-122.
- Salmon, W. (1984), *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University Press, Princeton.
- Scheines, R. (1997), An Introduction to Causal Inference, in McKim, V.R. e Turner S.P., (a cura di) *Causality in crisi: Statistical methods and the search for causal knowledge in the social sciences*, Notre Dame, University of Notre Dame Press, pp. 195-200.
- Spirtes, P., Glymour, C. e Scheines R. (1993), *Prediction and Search*, Springer, New York, 2 ed. MIT Press 2000.
- Spirtes, P. (2010), Introduction to Causal Inference, in "Journal of Machine Learning Research" 11, pp.1643-16662.
- Suarez, M., (2013), Intervention and Causality in Quantum Mechanics, in "Erkenntnis", 78 (2), pp. 199-213.
- Suppes, P. (1970), *A Probabilistic Theory of Causality*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Williamson, J. (2005), *Bayesian Nets And Causality: Philosophical And Computational Foundations*, Oxford University Press, Oxford.
- Williamson, J. (2007), Causality, in D. Gabbay & F. Guentner (a cura di), *Handbook of Philosophical Logic*, vol 14, Springer, New York, pp. 95-126
- Williamson, J. (2009) Probabilistic Theories of Causality, in H. Beebe, C.Hitchcock & P. Menzies (a cura di), *The Oxford Handbook of Causation*, Oxford University Press, Oxford, pp. 185-212.
- Williamson, J.(2011), Mechanistic Theories of Causality, in "Philosophy Compass", 6(6), pp. 421-432.
- Williamson, T. (2007), *The Philosophy of Philosophy*, Oxford University Press, Oxford.
- Woodward, J. (2003), *Making things happen: A theory of causal explanation*, Oxford University Press, Oxford.
- Woodward, J. (2007), Causation with a Human Face, in Price H., Corry R. (a cura di) *Causation, Physics, and the Constitution of Reality: Russell's Republic Revisited*, Oxford University Press, Oxford, pp. 66-105.