

Recensione:

Jon Williamson, *Bayesian Nets and Causality*,

2005

di

Andrea L'Episcopo

andrea.lepiscopo@libero.it



2R – Rivista di Recensioni Filosofiche – Volume 6, 2007

Sito Web Italiano per la Filosofia

www.swif.uniba.it/lei/2r

Jon Williamson, *Bayesian Nets and Causality. Philosophical and Computational Foundations*, Oxford University Press, Oxford, 2005, pp. v-ix, 1-239, £ 40.

1. INTRODUZIONE

Il fatto che le reti bayesiane siano un formalismo ancora relativamente recente non ha impedito che attorno ad esse sia fiorito un dibattito teorico considerevole per quantità e qualità. Tale dibattito, in Italia, è tuttavia noto solo a una cerchia piuttosto ristretta di specialisti. Per questo motivo, riteniamo opportuno chiarire innanzitutto cosa sono le reti bayesiane, a che cosa servono, e quali sono i nodi più intricati che vengono al pettine ad un'analisi approfondita del formalismo.

Una rete bayesiana è un grafo diretto aciclico, vale a dire una rappresentazione grafica di un dominio di conoscenza, fatta di nodi e frecce che connettono i nodi in modo tale da non dare luogo a circolarità (se A è collegato a B , e B a C , allora C non può essere collegato ad A). I nodi stanno per le variabili individuate all'interno del dominio di interesse, variabili sulle quali deve essere definita una funzione di probabilità. Le frecce rappresentano dunque la struttura del dominio; la funzione di probabilità assegna valori numerici di probabilità alle variabili. La struttura del dominio non è riprodotta dalla rete in modo arbitrario; si utilizzano delle tecniche e delle teorie assiomatiche che, partendo dalle relazioni di dipendenza/indipendenza probabilistica note, consentono di collegare o meno i nodi fra loro. Il fatto che i nodi siano congiunti da frecce, e quindi che il grafo sia diretto e non indiretto, significa che fra i nodi così

connessi sussiste una relazione asimmetrica: se la freccia parte da *A* e punta su *B*, allora è *A* ad esercitare una qualche influenza su *B*, tale da incidere sul suo valore di probabilità. Tale relazione di influenza asimmetrica viene spesso, sebbene non esclusivamente, identificata con la relazione causale, e in virtù di tale identificazione possiamo inferire le relazioni causali da quelle probabilistiche tramite la Condizione Causale di Markov: se due variabili sono probabilisticamente dipendenti, allora o l'una causa l'altra, o sono entrambe effetti di una causa comune. Ne segue che una variabile è indipendente da tutte le altre interne al dominio dato, eccetto i suoi effetti, se condizionata sull'insieme delle sue cause.

Sin qui, molto per le spicce, che cos'è una rete bayesiana. Ma a cosa serve? Altrettanto per le spicce, diremo che serve a calcolare valori di probabilità in modo computazionalmente efficiente. Calcolare la distribuzione di probabilità congiunta su un dominio, o anche solo la probabilità marginale di una variabile di interesse, sono infatti problemi la cui complessità cresce in modo esponenziale rispetto al numero di variabili che compongono il dominio dato. Le reti bayesiane, sfruttando le relazioni di indipendenza condizionata note e facendo quindi leva sulla Condizione Causale di Markov, pervengono a drastiche economie computazionali; dall'interpretazione dei valori di probabilità ottenuti, dalla loro tipologia e dalla natura dei domini, dipenderà poi la concreta applicazione delle reti, possibile in ambiti eterogenei come, ad esempio, la diagnostica medica e la teoria della conferma.

Resta da dire delle principali questioni aperte circa l'effettiva applicabilità e la fondatezza teorica delle reti bayesiane. Il problema dell'effettiva applicabilità delle reti bayesiane si identifica con quello relativo alla plausibilità dei vincoli e delle condizioni fondamentali per l'efficienza del formalismo. A tal proposito si fronteggiano, da una parte, coloro i quali sostengono che vincoli e condizioni siano plausibili così come sono; dall'altra, coloro i quali ritengono auspicabili il rilassamento dei vincoli e la generalizzazione delle condizioni. Il problema della fondatezza teorica del formalismo è invece strettamente intrecciato ai dibattiti riguardanti l'interpretazione del calcolo delle probabilità e le teorie della causazione. Questi due macroinsiemi di questioni aperte tendono talvolta ad intersecarsi, specialmente quando l'oggetto delle analisi è la Condizione Causale di Markov.

Esamineremo la posizione di Williamson rispetto alle questioni qui brevemente tratteggiate, per poi utilizzare tale posizione, e gli assunti teorici da essa implicati, come una cartina di tornasole che evidenzia meriti e limiti eventuali del lavoro dell'autore.

2. BAYESIANESIMO OGGETTIVO

Williamson passa brevemente in rassegna le principali interpretazioni del calcolo delle probabilità, classificandole in base a tre coppie di caratteristiche opposte, attribuibili al concetto di probabilità: singolare/ripetibile; mentale/fisica; soggettiva/oggettiva. L'approdo di questa breve disamina è il Bayesianesimo oggettivo, che interpreta la

probabilità come nozione compatibile con il caso singolo, mentale e oggettiva. L'oggettività di tale interpretazione è garantita dai vincoli che una funzione di credenza deve soddisfare per essere definita razionale: mentre nel Bayesianesimo soggettivo la coerenza di una funzione di credenza è condizione necessaria e sufficiente per la sua razionalità, in quello oggettivo la coerenza è condizione solo necessaria della razionalità, ed è per questo affiancata da vincoli empirici e logici. Il vincolo empirico proposto da Williamson è il Principio di Calibrazione Mentale-Fisico (*Mental-Physical Calibration Principle*): se l'agente conosce l'intervallo di valori probabilistici in cui ricade la *chance* di una variabile data, allora dovrà adottare una funzione di credenza che assegni alla variabile stessa i soli valori inclusi in quell'intervallo. Il principio presuppone la nozione di *chance*, un'interpretazione del calcolo delle probabilità altamente problematica, in base alla quale la probabilità, fisica e oggettiva, è definita rispetto al caso singolo. Williamson propone una propria versione della nozione di *chance*, che definisce della credenza definitiva (*ultimate belief*), per cui le *chances* sarebbero i valori di credenza fissati da una conoscenza di sfondo esaustiva. Tale versione, coerente con il Bayesianesimo oggettivo, condivide con le altre definizioni di *chance* un problema di fondo: non è possibile conoscere tutto ciò che può determinare una *chance*. Per definire o almeno circoscrivere dei valori numerici, si procede selezionando in modo più o meno arbitrario delle cause efficienti (*chance fixers*) che

influenzino le *chances*, traendo da dette cause un insieme di condizioni ripetibili e definendo, tramite queste ultime, una classe di riferimento per le conseguenze delle condizioni. A questo punto, dopo avere enormemente circoscritto e semplificato il contesto di partenza, è possibile isolare delle frequenze che ci diano i valori di probabilità, vale a dire le *chances*. Il problema sta nella definizione delle classi di riferimento più idonee. Le frequenze, e quindi le *chances*, saranno infatti direttamente dipendenti dalla classe di riferimento all'interno della quale saranno state isolate, e ad ogni passaggio che precede l'isolamento delle frequenze è sempre quantomeno possibile avere due o più alternative. Una soluzione parziale del problema consiste nel selezionare sempre la classe di riferimento più omogenea al caso singolo in questione, ma tale strategia non risulta applicabile in tutti quei casi in cui i dati supportano con la stessa forza più di una classe di riferimento. L'approccio adottato da Williamson non mira tuttavia a isolare un singolo valore di probabilità, bensì, come nel caso del Principio di Calibrazione Mentale-Fisico, a selezionare un intervallo compreso fra due valori limite, e un intervallo di valori probabilistici è esattamente ciò che possiamo attenderci nei casi in cui non sia possibile isolare una sola classe di riferimento più omogenea di altre. Per questa via, grazie all'approccio basato su intervalli piuttosto che su valori univoci, l'autore dà corpo alla sua nozione di *chance* e quindi al Principio di Calibrazione, che la presuppone.

Il vincolo logico posto da Williamson alla razionalità di una funzione di credenza è il Principio della Massima Entropia: fra tutte le funzioni di probabilità compatibili con la sua conoscenza di sfondo, un agente deve adottare quella che massimizza l'entropia, vale a dire quella che rappresenta una situazione di totale incertezza (della quale l'entropia è misura) rispetto a tutto ciò che non è contemplato dalla conoscenza di sfondo. Tale Principio, proposto in Jaynes [1957] come estensione del noto Principio di Indifferenza, vincola le funzioni di probabilità alla rappresentazione della mancanza di conoscenza da parte dell'agente. Combinando il Principio di Indifferenza con il Principio di Calibrazione avremo dunque una funzione di probabilità che rappresenta sia la conoscenza di sfondo, sia la mancanza di conoscenza dell'agente. La combinazione dei due Principi è il Bayesianesimo oggettivo.

Il Principio della Massima Entropia ha i suoi detrattori e, fra questi, coloro i quali avanzano l'obiezione più seria sono quelli che puntano il dito contro la complessità, in senso matematico, della parametrizzazione dell'equazione che consente di pervenire alla funzione di probabilità che massimizza l'entropia. Il numero di parametri da definire per risolvere l'equazione è infatti esponenziale rispetto all'ampiezza del dominio di conoscenza, e per domini estesi tale compito risulta intrattabile. Williamson propone di sfruttare le indipendenze probabilistiche condizionate implicate dalla conoscenza di sfondo, rappresentate tramite una rete bayesiana, per riparametrizzare l'equazione che massimizza l'entropia, riducendone la

complessità, dato che il numero di parametri sarebbe in tal caso esponenziale rispetto all'ampiezza dei singoli insiemi di variabili vincolati dalle relazioni fra le variabili e non rispetto all'intero dominio. Tale stratagemma non rappresenta, di per sé, una soluzione, giacché l'ampiezza degli insiemi vincolati è esponenziale rispetto all'ampiezza dell'intero dominio, e quindi si torna al punto di partenza. Affinché sia possibile, per questa via, massimizzare l'entropia di una funzione di probabilità in modo efficiente, bisogna accettare una premessa di natura psicologica: sebbene l'ampiezza degli insiemi vincolati sia esponenziale rispetto all'ampiezza dell'intero dominio, la nostra capacità di rilevare connessioni fra le variabili interne a un dominio dato è limitata, al punto da ridurre l'incremento di tale ampiezza da esponenziale a sotto-esponenziale. Una premessa del genere è concettualmente problematica per almeno due ragioni: in primo luogo appare arbitraria, giacché la quasi totalità delle nostre teorie formali ha ben poco a che vedere con le concrete capacità degli esseri umani. A questa obiezione si potrebbe rispondere che, in questo caso, si tratta della definizione della funzione di probabilità di un agente, quindi le concrete capacità degli esseri umani devono avere un ruolo. Una risposta apparentemente condivisibile, ma problematica non appena si richiami alla mente la definizione di *chance* che, come abbiamo visto, presuppone una conoscenza di sfondo esaustiva da parte dell'agente. D'altro canto, e questa è la seconda ragione per guardare con diffidenza alla premessa di cui sopra, le concrete capacità degli esseri umani sono in genere molto limitate quando si tratta di calcolo delle probabilità (come

dimostrato dall'ormai classico Kahneman D., Tversky A. [1974]), dunque non è chiaro il motivo per cui dovremmo, in questo caso, prenderle a modello per la definizione di una funzione di probabilità.

3. CAUSALITÀ EPISTEMICA

Il secondo fronte fondazionista attivo nel dibattito sulle reti bayesiane riguarda le teorie della causazione. Come nel caso delle interpretazioni del calcolo delle probabilità, Williamson analizza brevemente le principali teorie, classificandole sulla scorta delle tre coppie di caratteristiche opposte che già conosciamo. Anche in questo caso, vengono messi in risalto i difetti di ciascuna delle teorie passate in rassegna, al fine di giustificare una nuova, quella della causalità epistemica. Prima di descriverne i tratti più significativi, vorremmo tuttavia soffermarci su alcune delle critiche mosse alla teoria meccanicistica della causazione. Essa viene criticata, in ultima analisi, solo sulla base di un poco argomentato rifiuto del pluralismo causale, vale a dire dell'approccio in base al quale non esiste un unico concetto di causa, ma tanti quanti l'eterogeneità delle concrete relazioni causali richiede: la fisica delle quantità (energia, momento) conservate, alla quale Salmon e Dowe [2000] riducono il concetto di causa, non può essere d'aiuto nell'analisi delle relazioni causali caratteristiche, ad esempio, dell'economia, perché in caso contrario dovremmo accettare una totale discrepanza fra

epistemologia e metafisica del concetto di causa. Tale discrepanza potrebbe essere evitata affermando che la causalità fisica e quella economica sono due concetti differenti, ma in tal caso si cadrebbe appunto nel pluralismo causale, reputato da Williamson un rimedio, se non peggiore, almeno pari al male. La discrepanza fra epistemologia e metafisica del concetto di causa appare in effetti ben poco desiderabile, dato che ci lascerebbe in dote un concetto di causa la cui natura, nella maggior parte dei casi, non sarebbe direttamente rintracciabile nell'esperienza cognitiva che se ne fa. Il pluralismo causale viene rifiutato da Williamson per due ragioni: in primo luogo, chi propone un tale approccio dovrebbe essere in grado di dire che cosa sarebbe, ad esempio, la causalità economica; in secondo luogo, dovrebbe spiegare perché pensiamo che quello di causa sia un concetto unitario quando, in realtà, non lo è. Per quanto riguarda la causalità economica, la definizione di un tale concetto è senz'altro auspicabile, ma il fatto che a tutt'oggi manchi non significa che non possa essere fornita in futuro. Proprio la convinzione che quello di causa sia un concetto unitario, d'altro canto, potrebbe essere fra le ragioni determinanti per cui non è stata sviluppata una nozione di causalità economica. Un'altra di queste ragioni potrebbe coincidere con lo stadio evolutivo della scienza economica: la fisica ha impiegato lunghi secoli per emanciparsi dal concetto intuitivo di causa; l'economia, come scienza, non può vantare altrettanta maturità. Quanto al fatto che pensiamo a quello di causa come a un concetto

unitario, credo che questo non possa dirci nulla di definitivo contro il pluralismo causale: abbiamo pervicacemente coltivato, a volte anche per secoli, errori e falsità che solo il progresso delle scienze e della conoscenza hanno dimostrato essere tali; è quanto meno lecito supporre che il concetto unitario di causa possa appartenere alla categoria dei falsi concetti. Inoltre, se non si ritiene che la causalità sia una caratteristica fondamentale del mondo fisico ma, come lo stesso Williamson fa, che essa sia un costrutto mentale, non si vede la ragione per cui essa non dovrebbe essere passibile di mutamenti anche radicali, simili a quelli che hanno coinvolto, per esempio, il concetto di tempo, in seguito all'avvento della teoria della relatività.

Una prima caratteristica della causalità epistemica è dunque quella di interpretare la relazione causale come mentale, piuttosto che fisica: una relazione è posta dalla mente ed è parte di quella rappresentazione del mondo della quale fanno parte anche le funzioni di credenza del Bayesianesimo oggettivo. Le analogie fra causalità epistemica e Bayesianesimo oggettivo non finiscono qui: così come una funzione di credenza è oggettiva nella misura in cui è supportata dalla conoscenza di sfondo dell'agente, altrettanto avviene per quanto concerne le strutture causali, e dunque la causalità epistemica si colloca fra teorie fiscaliste e teorie soggettiviste della causazione. Se queste sono le caratteristiche della causalità epistemica, quali sono i motivi che dovrebbero spingerci ad adottarla? L'autore punta molto sulla convenienza:

rappresentare il mondo in termini di cause ed effetti è conveniente, dunque la causalità epistemica è anch'essa conveniente. Inoltre, la convenienza viene proposta come spia della correttezza delle strutture causali, e dato che le strutture corrette sono oggettive, nel senso debole già incontrato a proposito del bayesianesimo oggettivo, la convenienza finisce per fondare anche l'oggettività delle strutture causali individuate tramite la causalità epistemica. Se il motivo naturale per accettare la causalità epistemica è la convenienza, riteniamo allora che l'autore avrebbe dovuto fornircene una caratterizzazione più precisa. Conveniente è ciò che è vantaggioso, almeno nella fattispecie, ma vantaggioso da quale punto di vista? Gnoseologicamente o pragmaticamente? È più conveniente una conoscenza precisa ma complessa o un' approssimativa ma semplice? Vale a dire: esiste un concetto assoluto di convenienza? Williamson non risponde ad alcuna di queste domande, ma definisce la Dipendenza Causale Qualificata e il principio da lui denominato "Strategia": la Dipendenza Causale Qualificata dice che, normalmente, le relazioni causali sono accompagnate da dipendenze probabilistiche; la "Strategia" dice che, normalmente, agire sulle cause è un buon modo per arrivare agli effetti, non viceversa. Combinando i due principi, ne otteniamo un terzo, quello della Dipendenza Causale Strategica (*Strategic Causal Dependence*), valido solo nei casi di relazioni causali dirette, che ci consente di spiegare le dipendenze probabilistiche tramite le relazioni causali (dirette). Sono principi deboli,

non analisi della causalità ma, nell'opinione dell'autore, possono fondare la causalità epistemica, dato che rendono il concetto di causa utile e, quindi, conveniente. Dobbiamo allora traddurre "convenienza" con "utilità"? Tutto ciò che abbiamo detto della convenienza sarebbe comunque valido, e forse con maggiore evidenza, se riferito all'utilità: esiste qualcosa che è utile di per sé? L'innegabile utilità di strumenti quali il pc, ad esempio, dipende comunque da numerose condizioni, banali e non, tra le quali trova posto anche la semplice disponibilità di corrente elettrica. Anche dando per scontato che aggettivi come "conveniente" e "utile" significhino ciò che si intende comunemente, si danno casi in cui la convenienza della causalità appare dubbia. Williamson afferma espressamente che le relazioni causali, sebbene non riducibili a quelle fisiche, sono comunque vincolate da queste ultime. Nei casi in cui due entità non siano connesse da meccanismi fisici o siano simmetriche in base alle leggi della fisica, escludiamo che esse siano collegate da una relazione causale; in questi casi, quindi, la nostra conoscenza del dominio di interesse deriva direttamente dalla scienza fisica, la cui maggiore convenienza rispetto all'inferenza causale appare innegabile, in forza del suo rigore e del suo carattere quantitativo.

La causalità epistemica, come teoria della causazione, non ci appare quindi, per i motivi elencati, maggiormente fondata di altre teorie concorrenti. Tuttavia, la profonda unità concettuale e programmatica che lega questa teoria e il Bayesianesimo oggettivo,

si considerino i concetti di causalità e di probabilità, rappresenta senz'altro un suo grande pregio, soprattutto nella misura in cui la causalità epistemica sia valutata esclusivamente all'interno del dibattito sulle reti bayesiane.

4. CONDIZIONI DI APPLICABILITÀ DELLE RETI BAYESIANE

È necessario dedicare almeno un po' di spazio a un contributo fondamentale dato da Williamson al problema della costruzione delle reti bayesiane. Tale problema appartiene alla classe degli NP-completi (problemi decidibili ma che non è noto se siano trattabili), sia per quanto riguarda il tempo, sia per quanto riguarda lo spazio, dunque è necessario aggirarlo per via di approssimazione. Non si mira a costruire una rete la cui funzione di probabilità coincida con quella data, ci si "accontenta" di una rete che rappresenti una funzione di probabilità che approssimi al meglio quella di partenza. La misura della bontà relativa di questa approssimazione è la *cross entropy* o divergenza diretta. La strategia messa a punto da Williamson è la seguente: si assegna un peso informativo ad ogni freccia che unisce un nodo ai suoi nodi-genitori; si sommano tali pesi e si ottiene un peso informativo della rete tutta. La rete che rappresenta la migliore approssimazione alla funzione di probabilità di riferimento è ovviamente quella con il maggior peso informativo. A questo punto, per costruire una rete bayesiana, basterà aggiungere una

freccia alla volta alla rete cosiddetta discreta (composta dai soli nodi non connessi fra loro), avendo cura di scegliere sempre la freccia con il peso informativo più alto, in modo tale da ottenere, alla fine, la rete che rappresenti la migliore approssimazione alla funzione di probabilità di riferimento. Come lo stesso Williamson rivendica, tale strategia, implementata in un algoritmo (*adding-arrows algorithm*), offre numerosi vantaggi concettuali e pratici, dimostrati anche dalle ottime prestazioni offerte nei test e documentate nel libro.

Venendo alle condizioni di applicabilità delle reti bayesiane, Williamson dedica molto spazio alla trattazione della Condizione Causale di Markov, argomentando che la sua plausibilità dipende, in ultima analisi, dall'adozione di un'interpretazione del calcolo delle probabilità e di una teoria causale che siano coerenti e possano giustificarla, almeno concettualmente, come vincolo. Va da sé che, per l'autore, la Condizione regge adottando il Bayesianesimo oggettivo e la causalità epistemica; resta da vedere in che modo e fino a che punto. La lunga e articolata, e ricca di digressioni, giustificazione della Condizione Causale di Markov, prende le mosse dall'Irrelevanza Causale (*Causal Irrelevance*): se un agente viene a conoscenza dell'esistenza di una nuova variabile interna al dominio, e questa variabile non è causa di alcuna di quelle delle quali era già al corrente, allora la sua funzione di credenza non cambia. Questo principio serve a tramutare la conoscenza causale qualitativa in vincoli quantitativi

attraverso il Trasferimento da Causale a Probabilistico (*Causal to Probabilistic Transfer*), che incorpora la conoscenza causale nella funzione di credenza tramutandola in vincoli probabilistici. Dato che la funzione di credenza adottata dall'agente è vincolata da una conoscenza di sfondo di natura causale, conclude Williamson, la Condizione Causale di Markov non può che essere valida. La linea argomentativa è lucida e ingegnosa, e riesce, a nostro avviso, a fondare le reti causali e la Condizione Causale di Markov. Quest'ultima esce però dalle mani di Williamson fortemente ridimensionata: ponendo la conoscenza causale all'origine della funzione di credenza adottata dall'agente epistemico, la Condizione diventa banale. Nel capitolo dedicato all'epistemologia della causalità e alla conciliazione dei metodi ipotetico-deduttivo e induttivo, l'autore sottolinea la necessità di testare la veridicità delle indipendenze implicate dalla Condizione, che è dunque declassata ad assunto di *default*, necessario per la strutturazione della rete causale, ma tutt'altro che infallibile.

La posizione di Williamson rispetto alle condizioni di applicabilità delle reti bayesiane appare quindi molto "liberale" e improntata a un sano pragmatismo: la Condizione Causale di Markov, da dogma, diventa un utile ma fallibile punto di partenza; la generalizzazione del Principio di Irrilevanza nella relazione di influenza consente un interessantissimo adattamento delle reti bayesiane a domini

tradizionalmente ostici per i formalismi probabilistici, come ad esempio quelli logico e linguistico.

5. CONCLUSIONI

“*Bayesian Nets and Causality*” si segnala per numerosi e importanti meriti: in primo luogo, pur privilegiando un approccio pragmatico, riesce nella fondazione delle reti bayesiane con chiarezza e soprattutto con una rara compattezza teoretica; in secondo luogo, Williamson è capace di trarre con coerenza dai suoi assunti teorici le estreme conseguenze, e questo gli consente di proporre nuove applicazioni delle reti e di affrontare con autorevolezza problemi filosofici annosi e di vasta portata, come ad esempio quello dell’opposizione fra induzione e deduzione; infine, anche se forse sarebbe stato più opportuno spostare questo punto al principio, la definizione delle relazioni di influenza, il Bayesianesimo oggettivo e la causalità epistemica sono contributi al dibattito corrente di grande originalità e sistematicità, passibili di obiezioni, certo, ma solidi e ingombranti nella misura in cui non è possibile ignorarli.

Per quanto concerne i pochi limiti del volume in oggetto, sono quasi tutti di forma, più che di sostanza. Manca, ad esempio, un puntuale riferimento alle tesi standard sulle reti, che avrebbe consentito anche al lettore non specialista di apprezzare maggiormente le innovazioni introdotte da Williamson. Altro limite è la mancanza di

una spiegazione discorsiva di molti dei teoremi dimostrati nel libro. Anche la struttura del testo, sebbene persegua una sua coerenza interna, è spesso frammentaria, un po' troppo incline a parentesi e digressioni che differiscono eccessivamente le conclusioni delle argomentazioni. Come detto, questi sono tuttavia dei meri vizi di forma; più significativi sono da una parte il ricorso ad assunti psicologici di dubbia evidenza, dall'altra la mancanza di indicazioni chiare circa le conseguenze pratiche di numerosi assunti teorici.

Nel complesso, il libro di Williamson è un contributo di grande importanza al dibattito su reti bayesiane, interpretazione del calcolo delle probabilità e teorie causali, e la fortuna che ha conquistato nei mesi trascorsi dalla sua pubblicazione è la migliore conferma di tale opinione.

ANDREA L'EPISCOPO

BIBLIOGRAFIA

Dowe P. (2000), *Physical causation*, Cambridge University Press, New York.

Jaynes E. T. (1957), "Information Theory and Statistical Mechanics", *The Physical Review*, 106, pp. 620-630.

Kahneman D., Tversky A. (1974), "Judgment under Uncertainty. Heuristics and Biases", *Science*, 185, pp. 1124-1131.