



I. La nozione di leggi di natura ed il suo impiego nelle scienze - II. Il principio di legalità come base della conoscenza scientifica - III. Il dibattito sullo *status* delle leggi naturali, terreno di confronto fra pensiero scientifico, filosofia e teologia - IV. Le riflessioni della scienza contemporanea sul significato delle leggi naturali - V. Verso un'analisi ontologica delle leggi di natura: leggi scientifiche, leggi naturali e nozione metafisica di natura - VI. Per una teologia delle leggi di natura.

Il concetto di legge è un concetto fortemente analogico. Sorto in ambito giuridico-sociale, si estende successivamente alla razionalità scientifica, ove entra dapprima attraverso le nozioni di regola armonica e proporzione numerica (Pitagora) e, dopo la fondazione del metodo sperimentale, mediante l'espressione matematica dei fenomeni fisici (Galileo, Newton, Leibniz). A motivo del più facile impiego che le scienze della natura fanno del formalismo matematico, l'uso della nozione di legge è in queste discipline assai diffuso. Compare però anche in non poche scienze umane (economia, sociologia, ecc.) sebbene con un diverso apparato epistemologico. L'area disciplinare preposta alla riflessione sul significato delle leggi naturali è, ordinariamente, la filosofia della scienza. Ci limiteremo qui ad evidenziarne alcune risonanze interdisciplinari, ovvero le diverse *concezioni di natura* in rapporto alle leggi che vi operano, la *causa* delle leggi ed il dibattito circa il loro rapporto con un *legislatore*.

I. La nozione di leggi di natura ed il suo impiego nelle scienze

1. *La nozione di legge ed il suo rimando classico alla presenza di un legislatore.* La nozione di «legge» ha come ambito primario quello sociale e civile. Essa contiene l'idea di un ordine, di un «dettato» (lat. *lex*, dal gr. *léghein*, dire), ma non è lontana dall'idea di vincolo, legame (lat. *ligare*). Così come il suo sinonimo «norma» (gr. *nómos*), la legge indica una prescrizione positiva che ha come fine quello di «regolare», cioè «ordinare con una misura», il comportamento dei membri di una comunità. Ne risulta subito implicato il riferimento ad una «autorità» responsabile della legge, soprattutto dell'ordinamento o del fine che con essa intende instaurare o raggiungere. Proprio a motivo di tale rimando ad un'autorità, in modo naturale, e quasi per istinto, le religioni hanno posto il fondamento dell'idea di legge nella nozione di Dio. Ne sarà prova il fatto che fino all'epoca moderna il concetto di legge, anche nel suo contesto sociale e civile, non potrà mai essere compreso prescindendo dalla sua connotazione teologica.

All'interno del pensiero religioso occupa un ruolo significativo quanto accaduto al popolo ebreo. L'esperienza religiosa di Israele ha infatti nella consegna di una «Legge», cioè del decalogo dei comandamenti (cfr. *Dt* 5,1-22), una delle tappe fondamentali della sua storia. Assolutamente singolare sullo sfondo delle tradizioni extra bibliche per profondità e trascendenza, la legge ebraica ha però in comune con le legislazioni presenti in altri popoli la funzione di regolare simultaneamente sia i rapporti con Dio che quelli fra gli uomini, e dunque della società nel suo insieme. In continuità con il messaggio biblico, la teologia cristiana, operando una certa estensione dall'ambito positivo civile a quello cosmico e poi a quello morale naturale, segnerà con → Tommaso d'Aquino l'esistenza di una «legge eterna» e di una «legge naturale». La prima indica il piano «eternamente concepito da Dio» sul mondo, attraverso il quale il Creatore conduce ogni cosa verso il suo fine con provvidente sapienza (*lex eterna est ratio divinae gubernationis*; cfr. *Summa theologiae*, I-II, q. 93). La seconda può riconoscersi invece nella presenza di una «legge» impressa dal Creatore nella natura degli uomini (cfr. *Sal* 19,8-15, *Rm* 2,14-16), una legge «naturale» appunto, riconoscendo la quale la coscienza opera il giudizio di distinguere il bene dal male, imperando la volontà con atti corrispondenti (cfr. *Summa theologiae*, I-II, q. 94).

La persona umana partecipa alla legge eterna con la libertà, cioè secondo la "natura razionale" che le è propria, mentre le creature irrazionali lo fanno seguendo una "inclinazione" voluta in esse dal Creatore, legata alla loro specifica essenza. Ma anche in questo caso la riflessione tomista parlerà di «leggi naturali» come partecipazione ad una legge eterna, conservando cioè un'analogia con il mondo personale e razionale, dove le leggi si riconoscono e si possono seguire liberamente. Seguendo un'analogia propria di proporzionalità (→ ANALOGIA, II.2), e non una semplice metafora, Dio Creatore è visto come il «legislatore» che «ordina e dispone tutto con misura», l'autorità trascendente sul cui fondamento poggiano tutte queste leggi. Senza che il Creatore della natura venga identificato con la legge, o con le leggi, il carattere universale, eterno e stabile delle leggi può

discendere con facilità da alcuni Suoi attributi filosofici. Le leggi attingono alla verità di Dio e la manifestano, specie mediante la loro regolarità o «legalità», facendola cogliere anche in relazione alle nozioni di fermezza e di fedeltà. Sul rapporto fra immagine biblica di Dio ed epistemologia delle leggi naturali torneremo più avanti (vedi *infra*, VI).

2. *Il vocabolario delle leggi utilizzato dalle scienze della natura.* Erede di quel vocabolario filosofico che ha caratterizzato — ed in parte ancora caratterizza — il linguaggio delle scienze, la visione scientifica del mondo fa ampio riferimento al concetto di «legge». Nel suo significato più generale, si intende con essa esprimere una connessione stabile e verificabile, fra grandezze osservabili che concorrono in un determinato fenomeno, di solito mediante il ricorso ad un formalismo logico-matematico. Nel caso di osservabili fisici, il formalismo matematico viene generalmente espresso con un'equazione, grazie alla quale diviene possibile calcolare e prevedere l'andamento di certe grandezze nello spazio e nel tempo. La «matematizzazione» di un certo fenomeno rappresenta pertanto la condizione abituale con cui cercare, scoprire ed esprimere una certa legge di natura. Al tempo stesso, la «riduzione matematica» del fenomeno implica sempre una certa semplificazione, quando non una vera e propria perdita, rispetto alla ricchezza o alla complessità della fenomenologia in gioco: siamo cioè di fronte ad una rappresentazione «scientifica» — cioè trattabile dalle scienze — della natura. La forma «lineare» di buona parte delle equazioni associate alle principali leggi di natura (ad es. la 2ª legge della dinamica $F = m a$, o anche $F = m dv/dt$), aventi la proprietà che la somma di due loro soluzioni è ancora una soluzione per l'equazione stessa, consente un'efficace trattabilità e predicibilità del fenomeno in studio, compresa la sua piena reversibilità rispetto al tempo (la forma delle equazioni non dipende dal segno positivo o negativo di t , cioè dall'orientamento della freccia del tempo). Sono però ugualmente diffuse equazioni dalla forma «non lineare», come ad es. molte leggi della fluidodinamica, per le quali la somma di due soluzioni non è più una soluzione del sistema. In questo caso la trattabilità matematica, e dunque il potere di predicibilità delle equazioni, è molto più limitato e, in un certo numero di casi, fortemente condizionato dalla precisione con cui si possono stabilire le «condizioni iniziali», cioè quell'insieme di valori numerici senza dei quali le equazioni prescelte per rappresentare «scientificamente» un fenomeno «naturale» non potrebbero essere risolte, per determinare lo «stato» del sistema in studio (→ DETERMINISMO/INDETERMINISMO, II.4). Il fatto poi che nel 2° principio della termodinamica la freccia del tempo ammetta soltanto dei valori crescenti (del tempo), fa sì che molte leggi che inglobano a qualche livello quel principio, non solo in ambito strettamente termodinamico, ma in quello assai più ricco delle reazioni chimiche e dei fenomeni biologici, siano irreversibili rispetto al tempo (→ TEMPO, II.4), contribuendo ad una visione del mondo che non è più solo quella di un cosmo ordinato ed in equilibrio, ma un universo che ha una storia, si sviluppa ed evolve.

Nella formulazione di una legge concorrono quasi sempre due fattori, uno di carattere induttivo, *a-posteriori*, legato all'osservazione, e l'altro di carattere deduttivo, *a-priori*, legato ad una teoria o ad una serie di principi all'interno dei quali si tenta di leggere ciò che sta avvenendo. Abbiamo così la formulazione della «legge di gravità» all'interno di una specifica «teoria della gravitazione», o delle «leggi di propagazione delle onde luminose» all'interno della «teoria elettromagnetica», rappresentata dalle equazioni di Maxwell. Si tratta di due fattori a volte difficilmente distinguibili nello stesso linguaggio della formulazione: si parla infatti delle tre leggi, ma anche dei tre «principi», della dinamica, della termodinamica, ecc.. Già all'epoca della fondazione del metodo scientifico, F. Bacon (1561-1626) prima e → R. Descartes (1596-1650) poi, indicheranno con lo stesso termine di «legge» sia principi che relazioni funzionali. Tuttavia, il termine «principio», così come quello di «teorema» in matematica, fa più spesso riferimento ad un impianto di carattere ipotetico-concettuale (si pensi ad es. al principio di d'Alembert o a quello di Hamilton, per restare nell'ambito della → meccanica, oppure ai teoremi di conservazione), mentre il termine «legge» implica sempre il tentativo di organizzare ed esprimere un'osservazione sperimentale.

La fisica classica conosce ed utilizza una enorme quantità di leggi, entrate ormai a far parte di un linguaggio acquisito. Si spazia così dalle tre leggi di Keplero sull'orbitamento dei pianeti alle leggi di Coulomb, di Ohm o di Faraday nell'ambito dei fenomeni elettrici, dalle leggi di tipo statistico, come la legge dei gas perfetti o la legge di entropia, a quelle di ambito fisico-matematico, come la legge di Gauss o quella di Poisson. In ottica si parla delle leggi di Fresnel e di Huyghens, in fluidodinamica della legge di Navier-Stokes o di quella di Bernoulli. In cosmologia si conosce la legge di Hubble sull'espansione dell'universo e la legge Periodo-Luminosità delle Cefeidi (stelle variabili il cui periodo di pulsazione è strettamente dipendente dalla loro luminosità intrinseca); grazie a quest'ultima, scoperta da Miss H. Leavitt, gli astronomi riuscirono per la prima volta a stabilire una scala di distanze che oltrepassava i confini della nostra Galassia. La fisica quantistica, dal canto suo, non rinuncia al vocabolario delle leggi ed adopera così la legge di Planck, che regola la radiazione di un

corpo nero o, in ambito statistico, le leggi di Fermi-Dirac e di Bose-Einstein, che descrivono la distribuzione energetica di un gas di diverse classi di particelle, i fermioni (fra cui vi sono i più noti elettroni) ed i bosoni (cui appartengono i fotoni).

Ma il concetto di legge trova applicazione anche in discipline diverse dalla fisica o dall'astronomia. In chimica si parla infatti delle leggi di ossidoriduzione e delle leggi dell'elettrolisi; la biologia parla delle leggi di Mendel sulla trasmissione dei caratteri ereditari; vi sono leggi anche in una disciplina come l'economia, fra le quali la più nota è certamente quella "della domanda e dell'offerta", e leggi in → demografia. In ambito umanistico spetta alla sociologia il compito di aver introdotto una riflessione sull'esistenza di specifiche leggi nel tentativo di descrivere e prevedere il comportamento, le tendenze (*trends*) e le reazioni delle società in presenza di particolari circostanze ambientali, economiche, ecc. Leggi, queste ultime, che per forza di cose non possono che essere «statistiche», cioè trattare il fenomeno "sociologico" su larga scala, nel suo insieme, restando il comportamento libero del singolo individuo indisponibile alla previsione scientifica. Proprio quest'ultima particolarità, vale a dire la libertà di ogni persona umana, ha posto l'interrogativo circa l'esistenza di vere e proprie leggi in un simile ambito, o comunque mette in luce la loro sostanziale differenza rispetto a quelle che operano nell'ambito delle scienze naturali. Come riflesso, una teoria od una disciplina che, mediante l'impiego di leggi, si sentisse capace di descrivere in modo esaustivo tutta la fenomenologia umana, per esempio considerando le reazioni psicologiche e sociali in modo deterministico, come conseguenze necessarie dei condizionamenti cui l'individuo sarebbe soggetto, manifesterebbe un'implicita visione riduttiva, quando non una vera e propria negazione, del valore del libero arbitrio.

II. Il principio di legalità come base della conoscenza scientifica

1. *Perché la scienza parla di leggi?* L'esteso ricorso alla nozione di legge nelle scienze fa pensare debba esistere una motivazione gnoseologica di fondo. La ragione è che la "regolarità" o la "stabilità" riscontrata in molti fenomeni della natura ha costituito fin dall'inizio il principio base della "organizzazione" e del "progresso" della conoscenza scientifica. Storicamente, ciò prese avvio sia dallo spontaneo e crescente utilizzo della «tassonomia» (osservazione e catalogazione di forme ricorrenti), sia, soprattutto, dalla istintiva e poi sistematica osservazione del cielo (→ ASTRONOMIA). Il regolare sorgere e tramontare del sole, della luna e delle stelle, o il moto periodico dei pianeti interni (Mercurio e Venere) rappresentavano infatti un grandioso esempio di comportamento "legale". Il particolare contesto che ne era teatro, il → cielo, con i suoi corrispondenti richiami alla trascendenza, forniva il naturale collegamento fra la legalità osservata e l'autorità divina, offrendo anche un certo relativo contrasto con i fenomeni terrestri, la cui regolarità risultava più difficile da evidenziare ed il comportamento giudicato a volte mutevole e incostante.

La ricerca scientifica manterrà quasi inalterata lungo i secoli questa sensibilità verso la regolarità, assumendola in due momenti del metodo scientifico: quello dell'"osservazione" del fenomeno e quello della "riproducibilità" dell'esperimento (→ ESPERIENZA, IV). In ambito sperimentale, la ricerca di una regolarità è quasi sempre associata alla ricerca di una "correlazione", imposta all'attenzione dello scienziato sotto forma di un rapporto regolare fra due o più grandezze, che la rappresentazione grafica può agevolmente trasformare in espressione matematica. In tal modo la correlazione può essere convertita in un'equazione, e dunque segnalare la possibile esistenza di una legge.

Ma in modo ugualmente originario, lo scienziato percepisce anche il «problema dell'induzione». Il nocciolo di questo problema sta nel chiedersi se la regolarità osservata a partire da un numero finito e limitato di prove, possa davvero considerarsi normativa per il fenomeno stesso, o piuttosto non venga sconfessata a partire da un certo momento in poi, attribuendo così alla conoscenza scientifica un carattere del tutto provvisorio e, in certa misura, infondato. Tema centrale per tutta la filosofia della scienza, il valore cognitivo dell'induzione fu messo in dubbio da → D. Hume (1711-1776) e dal neopositivismo; in tempi più recenti fu difeso da → A.N. Whitehead (1861-1947) e da J. Stuart Mill (1806-1873), ma contestato vigorosamente da → K. Popper (1902-1994). Va comunque osservato che tanto la convinzione circa il carattere universale ed in certo modo assoluto delle leggi (senza della quale la stessa motivazione scientifica verrebbe meno), quanto la disponibilità ad una loro revisione (accettandone così il carattere in parte convenzionale), sono attitudini che coesistono in modo armonico nell'esperienza degli scienziati, riflesso della duplice dimensione teorico-deduttiva ed empirico-induttiva, ma anche dialettica ed insieme realista, presenti in ogni indagine scientifica.

Riconoscere l'esistenza di un «principio di legalità o di uniformità» quale base indispensabile per il procedere della conoscenza scientifica — principio che per la sua importanza qualcuno ha

chiamato «fede scientifica» nell'ordine della natura — non equivale ad assumere necessariamente un rigido «principio determinista», secondo il quale, una volta conosciuto lo stato del sistema e le leggi che ne descrivono l'andamento delle sue grandezze fisico-matematiche nello spazio e nel tempo, sarebbe sempre possibile conoscere in modo *deterministico* la sua configurazione in ogni momento del passato o del futuro. Il principio di legalità va anche distinto dal «principio di causalità», il quale afferma che ogni ente finito e contingente, nell'ordine dell'essere, ed ogni cambiamento, nell'ordine del divenire, hanno sempre una causa. Il principio di causalità ha una portata metafisica, e dunque assai più generale: esso non dipende dal giudizio sull'uniformità o la stabilità delle leggi di natura, né dalla possibilità di prevedere con precisione tutti gli effetti a partire dalla conoscenza delle loro cause. In particolare, il «meccanicismo» aveva operato una indebita identificazione fra principio di causalità e principio determinista (→ MECCANICA, IV).

2. *Legalità e regolarità in alcuni ambiti particolari.* La ricerca di "regolarità" è ancora il principio che guida la formulazione di leggi «statistiche» e «probabilistiche» per le quali, appunto, non si abbandona la nozione di legge. Le prime, sorte originariamente nell'ambito dei fenomeni sociali, tentano di cogliere le regolarità manifestate da un sistema nella sua globalità, non avendo la capacità né la possibilità di seguire il comportamento dei singoli individui, vuoi, come già osservato in precedenza, per il ruolo giocato dalla libertà (come avviene ad es. per la sociologia), vuoi per il gran numero di individui (ad es. l'uso della statistica in biologia) vuoi, infine, per la non numerabilità degli enti fisico-matematici coinvolti (come accade ad es. in termodinamica). Le «leggi probabilistiche», che possono riguardare anche un singolo individuo oppure ente, e non necessariamente un intero sistema "statistico", esprimono semplicemente la maggiore o minore probabilità di accadimento di un evento fra i molti possibili. Anch'esse sono leggi di diritto, perché capaci di descrivere in modo rigoroso, mediante cosiddette «leggi di distribuzione» (Gauss, Poisson, Bayes, ecc.), quale sia l'aspettativa associata ad uno specifico fenomeno. Una legge probabilistica non può essere direttamente utilizzata per predire il comportamento di un singolo evento, ma è invece capace di farlo su un numero sufficientemente grande, tendenzialmente infinito, di casi reali (legge «dei grandi numeri»). Il ricorso a leggi statistiche e probabilistiche non rappresenta un indebolimento del principio di causalità, sia per la portata più ampia, metafisica, di quest'ultimo, sia per motivi intrinseci alla natura di quelle leggi. Le prime, infatti, non si propongono di seguire la fenomenologia "causale" di ogni singolo elemento del sistema, mentre l'incapacità delle seconde a predire con esattezza l'esito di un singolo evento corrisponde ad un difetto di conoscenza di tutte le cause che concorrono a determinarlo, non ad un difetto di causazione.

La meccanica quantistica parlerà più spesso di «principi», anche a motivo del suo forte apparato teorico, sebbene molti di essi, non ultimo il principio di indeterminazione (→ HEISENBERG, III), rivelino l'esistenza di una sorta di leggi di natura, quelle appunto che descrivono l'"indeterminabilità matematica" o l'esistenza di alcuni limiti intrinseci nei rispetti di certe fenomenologie. L'equazione di Schrödinger, che regola l'evoluzione della funzione d'onda di un certo stato quantistico, è in fondo una legge di correlazione fra diverse grandezze. Una corretta epistemologia può anche mostrare che, in questo ambito della fisica, non si nega il principio di causalità (→ MECCANICA QUANTISTICA, V-VI), e che le proprietà del mondo quantistico possono continuare a poggiarsi, in ultima analisi, sulle "proprietà naturali" delle particelle o delle loro interazioni (vedi *infra*, V).

3. *Leggi naturali, proprietà elementari e costanti di natura.* In collegamento con le leggi naturali, l'osservazione scientifica segnala la presenza di «costanti di natura». Alcune di esse, come la costante di gravitazione universale G , sono intrinsecamente legate alle equazioni differenziali che descrivono una certa legge fisica e sono ricavabili come ordinarie costanti di integrazione quando l'equazione che esprime quella legge viene risolta in forma integrale. Dalla legge di Coulomb a quella di Planck, dalla legge di Boltzmann a quella di Kirchhoff, tutte le principali equazioni della fisica contengono delle omonime importanti "costanti", cioè dei valori fissi, che non vengono imposti dal formalismo fisico-matematico, ma sono in certo modo trovati dallo scienziato che "scopre" quella legge. Con un'opportuna scelta del sistema di unità di misura in cui esprimere le equazioni, molte di queste costanti assumono una forma "adimensionale", cioè possono essere trasformate in numeri puri, indipendenti dalle unità prescelte (sec, cm, gr, o altro). Vi sono poi costanti che corrispondono a delle proprietà stabili della materia, come ad esempio la carica elettrica e o la massa m_e di un elettrone. Rivestono grande importanza il valore costante di c , che indica la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel vuoto, e le quattro "costanti di interazione", esprimibili in forma adimensionale, delle quattro forze fondamentali di natura (gravitazionale, elettromagnetica, nucleare debole e nucleare forte).

L'interesse per le costanti di natura deriva principalmente dal fatto che esse sembrano far accedere ad una sorta di "substrato di legalità" della materia, indipendente dalle nostre particolari

formulazioni e dunque scevro da ogni antropomorfismo: se la forma matematica di alcune equazioni può contenere una certa dose di arbitrarietà, le costanti in cui ci si imbatte no. Nel loro complesso, considerate tutte insieme, esse offrono una descrizione funzionante del "nostro" mondo; sono fra loro legate da una coerenza ed interdipendenza tali che cambiarne una sola vorrebbe dire cambiarle praticamente tutte, cambiando con esse anche le caratteristiche dell'intero universo fisico. Il delicato equilibrio fra i raggi d'azione delle quattro forze fondamentali, regolate dai valori numerici delle corrispondenti costanti di natura, costituisce una delle principali suggestioni del → Principio Antropico. Non sorprende che le costanti di natura abbiano attratto l'attenzione di tutti i maggiori scienziati. → Max Planck (1858-1947), a proposito della costante h che prenderà il suo nome, e che regola la scala di interazione di tutti i fenomeni del mondo quantistico, affermava che la sua validità era indipendente dallo spazio e dal tempo, ma anche dalle epoche e dalle culture, per estendersi da di là della nostra stessa civiltà terrestre.

Infine, secondo un'ulteriore prospettiva, le leggi naturali possono essere viste anche come rivelative di «causalità formale», cioè di "proprietà specifiche" del mondo materiale. La legge di gravità ad esempio, indipendentemente dalle diverse formulazioni che può assumere (newtoniana, relativistica, ecc.), indica la proprietà che ogni massa ha di attirare un'altra massa o, se si preferisce, di curvare lo spazio-tempo in cui essa è immersa. Analogamente, l'interazione elettromagnetica "rivela" la proprietà di un elettrone di possedere sempre, rigorosamente, la stessa carica elettrica (sulla terra come sulla galassia di Andromeda, oggi come 5 miliardi di anni fa...). La fenomenologia del mondo fisico — si potrebbe dire qualcosa di analogo anche per il mondo chimico e biologico, sebbene in certa dipendenza da quanto avviene a livello fisico — manifesta dunque una "specificità formale", vale a dire un certo numero di "qualità", alcune più o meno indipendenti o fondanti di altre, capaci di rimandare a specificità sempre più basilari, fino ad individuare delle formalità irriducibili. In alcuni ambiti della fisica contemporanea, è vero, si preferisce descrivere le proprietà specifiche delle particelle elementari in termini di interazioni reciproche («principio di *gauge*»), secondo una visione in cui le informazioni significative appartengono ai campi, alle interazioni o alle relazioni, piuttosto che alle singole particelle in quanto tali (anch'esse soggette a trasformazioni di proprietà a seconda dell'"ambiente fisico" in cui si trovano, come ad esempio accade tra elettroni e fotoni in presenza di «campi di Higgs»). A ben vedere, tali prospettive non contraddicono la necessità di far riposare il reale su proprietà stabili o definite, ma semplicemente avvertono che tale fondazione deve giacere in un livello più generale e più profondo, che tenga conto del comportamento coordinato delle proprietà singolari.

Riassumendo, si potrebbe dire che il «principio di legalità o di regolarità», registrato a livello di leggi di natura, di costanti fisico-chimiche o di proprietà naturali specifiche (delle particelle, dei campi o delle loro interazioni), punta verso l'esistenza di "forme" in natura. In termini filosofici, le interazioni e le trasformazioni che si danno nel mondo materiale rimandano non solo ad una «causalità efficiente», ma anche, necessariamente, ad una «causalità formale».

III. Il dibattito sullo *status* delle leggi naturali, terreno di confronto fra pensiero scientifico, filosofia e teologia

Il comune accordo circa l'importanza delle leggi naturali nell'attività delle scienze, sembra scomporsi quando ci si interroga sulla loro origine e sul loro significato. Sorge infatti la questione se le leggi abbiano il loro fondamento nella "natura delle cose" oppure siano imposte dalle categorie conoscitive del soggetto; se le regolarità osservate corrispondano a dei legami reali oppure siano semplici funzioni proposizionali; infine, se le leggi di natura siano espressione di un finalismo causale oppure frutto dell'accostamento di una mera sequenzialità di eventi.

1. *Alcune precisazioni storiche.* Nell'antichità classica, la presenza di una filosofia del *Logos* fece sì che l'esistenza di leggi universali e stabili, responsabili della forma e del divenire del cosmo (di cui l'uomo era parte, con un suo proprio destino), fosse difesa sia dal platonismo che dallo stoicismo, sebbene con un diverso rapporto nei confronti della natura; leggi trascendenti per i primi ed immanenti per i secondi, ma per entrambi all'interno di un contesto sacrale, divino, che vedeva la *ratio* della legge (o delle leggi), come riflesso di un finalismo, o forse meglio di un *fatum*. Per Aristotele la "ragione" dell'ordine e della regolarità della natura non giace in idee astratte bensì in principi inerenti le cose, questa volta secondo un finalismo capace di ascendere, mediante una concatenazione di cause, fino alla Causa Prima: il caso e l'indeterminazione, pur presenti in natura, non hanno la dignità di causa originaria. Unica voce discordante l'atomismo di Democrito e di Leucippo (→ MATERIALISMO, I), per i quali l'affermazione del caso, spiegazione ultima del tutto, è negazione di ogni finalismo: si parlerà ancora di dèi, ma non sono più legislatori di alcunché, perché anch'essi fatti di atomi e soggetti alla volubilità del caso.

La nozione di legge o di leggi naturali troverà nella tradizione religiosa ebraico-cristiana un clima favorevole al suo sviluppo (vedi *supra*, I.1), esercitando un influsso significativo sulla nascita dello spirito scientifico, le cui premesse filosofiche erano state già poste nell'epoca patristica e medievale (→ SCIENZA, ORIGINI CRISTIANE). Ma, ci si chiede, riconoscere nella nozione di legge, come accade nel cosmo cristiano, una radice teologica e dunque l'appello ad un Legislatore, equivale per questo ad assumere inevitabilmente una visione «determinista» della natura? Per rispondere a tale interrogativo, occorre ricordare che nella teologia cristiana il mondo creato non ha gli stessi attributi del Creatore (→ CREAZIONE, IV). La "necessità" di quanto avviene in natura è una necessità non assoluta, ma relativa a Dio, l'Unico necessario. Una riflessione sulla presenza di leggi, e dunque di un Legislatore, a partire dalla regolarità o dalla legalità dei fenomeni naturali, non coincide storicamente con l'affermazione di un determinismo filosofico assoluto, e ciò per vari motivi. In linea generale, perché quanto avveniva nella sfera materiale (che l'antichità classica chiamava mondo «sublunare»), era pur sempre soggetto a trasformazione e corruzione e dunque anche al fallimento occasionale. Alcune precisazioni andrebbero però fatte per i corpi celesti. Per Aristotele, questi ultimi erano associati alla sfera del divino, i loro moti eterni e la loro natura ritenuta incorruttibile, dunque per nulla assimilabili con quanto accadeva nel mondo sublunare. In Tommaso d'Aquino (1224-1274) permane la convinzione che essi rappresentino una sfera più alta, non soggetta a corruzione, ma non per questo si attribuiscono ai corpi celesti delle proprietà divine, essendo questi completamente distinti da Dio. I riferimenti alla natura "necessaria" delle cose create, che riguardava a vari livelli ogni entità, erano in primo luogo orientati, in Tommaso, a fondare la loro autonomia e la loro propria consistenza creaturale, non il determinismo dei loro moti. Ma in modo più specifico, e certamente più radicale, la teologia cristiana vedeva impraticabile un determinismo assoluto almeno per altre due ragioni: queste sono sia la libertà umana, che appartiene di fatto al mondo della natura e con essa interagisce, sia, soprattutto, la libertà di Dio, dalla cui volontà le leggi del mondo, in ultima analisi, dipendono. Sarà la tarda scolastica, a partire da Francesco Suarez (1548-1617), ma soprattutto quella visione filosofica che cominciava ad interpretare la riuscita applicazione del formalismo matematico ai fenomeni fisici come prova di uno stretto legame fra razionalità di Dio e razionalità della natura (→ NEWTON, VI), a favorire il progressivo attestarsi di un'erronea corrispondenza fra affermazione di Dio ed affermazione di un determinismo assoluto.

2. *La visione delle leggi di natura nell'epoca moderna.* Sarà a cominciare dalla modernità quando il significato epistemologico delle leggi di natura verrà progressivamente negato, senza voler per questo negare — almeno nelle sue premesse, ma non così in molte delle sue conseguenze — una visione teista della natura. Ciò fu in buona parte dovuto ad una linea di pensiero preparata dall'empirismo di Locke (1632-1704) e di → Berkeley (1685-1753), riversatasi poi nell'elaborazione teoretica di David Hume. Il filosofo scozzese sostenne che le regolarità e le connessioni che paiono legare i fenomeni, compreso il giudizio sul rapporto causa-effetto, non corrispondono a reali legami esistenti in natura, ma derivano dalla nostra ripetuta esperienza di vedere i medesimi eventi fra loro accostati sequenzialmente; accostamento che farebbe sorgere in noi l'idea di legge e di un principio di causalità, idee che proietteremmo poi sulle cose osservate (cfr. *Ricerche sull'intelletto umano*, 1748; → HUME, III). Ciò che erroneamente giudichiamo come leggi, sarebbero soltanto invarianze empiriche, confinate entro l'instabile orizzonte dell'induzione, e dunque gnoseologicamente condizionate dai limiti della conoscenza sensibile, che opera mediante abiti soggettivi della mente. Nella filosofia critica di → Kant (1724-1804) i giudizi della conoscenza empirica sono «sintetici a posteriori» e non possono far accedere a conoscenze di carattere universale, riservate invece ai giudizi «sintetici a priori», condizioni di conoscenza dettate dalle categorie del soggetto (cfr. *Critica della ragion pura*, 1781). Per Kant il valore delle leggi naturali è dunque puramente empirico e non universale, limitato al mondo «fenomenico», non potendo dir nulla sulla realtà delle cose "in se stesse" («noumeno»).

L'eredità di Hume e Kant confluisce nel neoempirismo o fenomenismo di Ernst Mach (1838-1916): i concetti, le teorie e le leggi scientifiche non sono altro che strumenti pragmatici, il cui studio ed approfondimento è motivato da un criterio di economia ed efficacia strumentale, senza alcuna possibile risonanza sul piano oggettivo, né tanto meno su quello ontologico (cfr. *Analisi delle sensazioni*, 1886; *Conoscenza ed errore*, 1905). Per Mach, la regolarità della natura è un'ipotesi rigorosamente inverificabile (problema dell'induzione) e le leggi solo una ricostruzione di molteplici fatti, senza relazione intrinseca alle cose. Ma nel pensiero di Mach troviamo anche l'inaspettata concezione del mondo come un tutto, il suggerimento di una connessione fra fenomeni locali e quelli che avvengono su scala cosmica, con un parziale recupero dell'idea di universalità quale contesto necessario per ogni attività di ricerca.

La critica all'oggettività delle leggi di natura delineata dall'empirismo fenomenico, poi assunto dal razionalismo trascendentale, preclude qualsiasi rimando ad un possibile "Legislatore": questi

rimandi, se esistono, devono essere cercati lungo altre strade. Interpreti di uno scetticismo gnoseologico riguardo una reale conoscenza della natura (e dell'Assoluto a partire da essa), l'empirismo e la filosofia critica trascendentale sfoceranno in un radicale → agnosticismo. La tradizione filosofica classica e medievale, pur lasciando chiaro che una conoscenza analogica di un Legislatore a partire dall'osservazione dell'ordine della natura andava sviluppata lungo un itinerario metafisico e non fisico (si pensi ad es. alla *quinta via* di Tommaso d'Aquino; → DIO, I.3), aveva certamente favorito un clima culturale nel quale la presenza di leggi, ordine e regolarità, veniva considerata il riflesso dell'azione di un'intelligenza creatrice. La successiva perdita dell'originaria coerenza concettuale, biblica e filosofica, ove tale corrispondenza si era andata forgiando, favorì un certo "assorbimento" della nozione di «legge di natura» all'interno di una visione determinista e meccanicista, in contrasto con quell'autentica concezione dei rapporti fra Dio e il creato di cui era depositaria la migliore teologia cristiana. Se ne fece principale interprete → Cartesio, il cui razionalismo conservava e difendeva la nozione di legge, ma ne esaltava la sua dimensione geometrica, la duttilità matematica, la disponibilità ad essere manipolata e controllata. In maggiore consonanza con l'ottimismo gnoseologico di → Leibniz (1646-1716), e in opposizione al pessimismo di Locke o allo scetticismo di Hume, i maggiori sostenitori della leggi di natura, sia in ambito scientifico, dapprima con → Galileo (1564-1642) e poi in modo sempre più marcato con → Newton (1642-1727) e Laplace (1749-1827), sia in ambito filosofico con Comte (1798-1857), non favoriranno più il recupero della precedente concezione. Il precario rimando ad un Legislatore, rintracciabile in modo ormai scomposto nella fisico-teologia anglicana dei secc. XVII e XVIII, ed in modo sempre più ambiguo nel → deismo illuminista, verrà ormai definitivamente cancellato nel XIX secolo. Il dibattito sulla capacità che il creato abbia di condurre al riconoscimento di un Creatore, verrà riduttivamente assorbito nel dibattito pro o contro il → determinismo.

3. *Gli esiti più recenti.* A cavallo fra il XIX e il XX secolo la situazione apparirà ormai rovesciata: saranno gli "spiritualisti" francesi, come → Bergson (1859-1941) e Blondel (1861-1949) — in ambito principalmente antropologico, ma con risonanze dichiarate anche in quello cosmologico —, a combattere il determinismo in nome dell'affermazione della libertà umana, dell'irriducibilità della vita e della ricchezza dello spirito in un mondo fatto non di sola materia. Con E. Boutroux (1845-1921) la critica al determinismo verrà addirittura sferrata sul terreno dell'epistemologia delle leggi naturali (cfr. *Sulla contingenza delle leggi di natura*, 1874). La nozione di legge di natura viene così attaccata da più fronti: dal neopositivismo, erede della corrente empirico-fenomenica, che la relega a pura convenzione, proiezioni a priori del soggetto, funzioni proposizionali con un valore pragmatico; dagli assertori dell'inadeguatezza dell'induzione scientifica, considerata una sorta di aporia se preposta all'inferenza di conoscenze universali; dal vitalismo antideterminista che, non interrogandosi più sulle leggi in quanto tali, ne combatte la rigida e piatta visione della natura e delle cose che da esse sembrava essere scaturita.

Anche dopo il declino del determinismo nella seconda metà del XX secolo, la filosofia della scienza manterrà una certa ambiguità circa il modo di scorporare da tale processo il tema delle leggi di natura per tornare ad interrogarsi sul loro statuto reale. Con Thomas Kuhn (1922-1996) l'attenzione si sposterà sui grandi paradigmi scientifico-culturali che trascineranno con sé, nei loro cambi rivoluzionari, ogni precedente quadro concettuale e la sua visione regolativa (cfr. *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Torino 1969). Karl Popper prenderà le distanze sia da una concezione convenzionale e strumentalista della scienza, sia dalla possibilità di accedere al dominio di spiegazioni universalmente valide. A godere dei caratteri della stabilità e dell'universalità vi sono soltanto le "relazioni", matematicamente intese, non le essenze. Le leggi di natura sono asserzioni sulle proprietà strutturali o relazionali del mondo, ma non possono leggere le verità al fondo di quei rapporti: in una scienza che procede per congetture e confutazioni, e dunque sempre falsificabile, e che Popper rinuncia intenzionalmente a collocare in una più ampia teoria della conoscenza (cfr. *La logica della scoperta scientifica*, Torino 1970; *Congetture e confutazioni*, Bologna 1972), il tema della verità e del limite cui tende tutto il processo conoscitivo non può essere compiutamente affrontato; ma non sarà neppure completamente ignorato, come emergerà in alcuni scritti etico-sociali del filosofo viennese (cfr. *La ricerca non ha fine*, Roma 1978; *Società aperta, universo aperto*, Roma 1984). Nel Novecento non mancheranno filosofi favorevoli ad una visione maggiormente realista delle leggi di natura (→ REALISMO, X). Fra questi vanno menzionati → J. Maritain (1882-1973) (cfr. *La filosofia della natura*, Brescia 1974) e, per il contesto generale del realismo, G. Bontadini (1903-1990). Più recentemente, R. Bhaskar (*A Realist Theory of Science*, Leeds 1975) ed E. Agazzi (*Filosofia della natura*, Casale Monferrato 1995).

4. *Dio, l'Universo e le Leggi: una singolare topologia cosmologica.* Un modo suggestivo di schematizzare in termini topologici i possibili rapporti fra "Leggi", "Universo" e "Dio", è quello suggerito da Barrow (1992). Il rapporto fra l'Universo e le Leggi può essere rappresentato, per lo

scienziato inglese, da cinque diverse alternative. Nella prima di esse, l'«insieme universo» U è un sottoinsieme dell'«insieme delle leggi» L , cioè $U \subset L$. Ciò corrisponderebbe alla concezione platonica, in cui le leggi (le loro *idee*) hanno una consistenza propria indipendente dal cosmo reale, concezione vicina a quella di alcune cosmologie contemporanee, che trattano matematicamente una molteplicità ideale di possibili universi come qualcosa di concettualmente (quando non addirittura cronologicamente) previo all'universo fisico in quanto tale (\rightarrow PLURALITÀ DEI MONDI, III). Nella situazione speculare $U \supset L$ le leggi di natura apparirebbero come delle «isole di razionalità» di valore forse locale, ma non universale, originatesi come isole cangianti, dai confini convenzionali, all'interno di un universo che manterrebbe una propria identità anche senza di esse. Nel terzo caso $U \equiv L$ l'universo coincide con le sue leggi e viene dunque rafforzato nella sua identità ed unicità, perché non avrebbe senso parlare di tempo, di fisica o di modelli, prescindendo dalla sua esistenza o in modo indipendente da esso. La quarta alternativa è $L = \emptyset$; , cioè esisterebbe solo U e non L : non vi sarebbero per nulla leggi di natura, perché l'universo non ammetterebbe alcuna regolarità o legalità e, ove ve ne fossero, esse sarebbero pure rappresentazioni mentali senza alcun fondamento o reale; avremmo qui una concezione in sintonia con una radicale filosofia del caso, elevata a spiegazione ultima del reale. L'ultima scelta, quella in cui non vi fosse alcun universo ($U = \emptyset$), equivarrebbe ad una sorta di nichilismo fisico in cui potrebbero sopravvivere delle leggi senza bisogno di alcun universo. Si tratta di una visione che radicalizza la prima delle configurazioni viste in precedenza, non lontana da quelle cosmologie che descrivono l'origine dell'universo come la fluttuazione casuale di una funzione d'onda quantistica, di cui si predica la «pre-esistenza» rispetto ad ogni possibile realtà fisica.

Estendendo questa singolare topologia al rapporto fra «Dio» (G) e le «Leggi» (L), ne derivano altre interessanti suggestioni. Una prospettiva del tipo $G \supset L$ (la realtà delle leggi è inclusa come un sottoinsieme nella realtà di Dio) indicherebbe in fondo alcuni degli aspetti più intuitivi (ma non gli unici!) di una teologia cristiana della creazione, ad es. la sovranità creatrice di Dio sulle leggi di natura e la possibilità di modificarle o sospenderle secondo il suo volere. All'alternativa speculare $G \subset L$ corrisponderebbe un'immagine di Dio riduttiva, quando non del tutto contraddittoria, in certa sintonia con quanto affermato da alcune «teologie del processo», in cui la natura di Dio dipende dalla storia del mondo; essa rappresenterebbe in pratica anche il dualismo classico, ove i principi divini originari del Bene e del Male soggiacciono ad una Legge cosmica conflittuale che condiziona completamente la loro capacità creatrice; ma vi ricadrebbe anche il politeismo, perché tutto quanto appartiene al mondo divino seguirebbe le medesime sorti (leggi, *fatum*) del mondo umano e materiale. Una identificazione $G \equiv L$ fra Dio e le Leggi risponde in prima istanza al \rightarrow panteismo, nelle sue diverse versioni, antiche e contemporanee, fino all'assunzione di una Legge cosmica universale come principio divino che sostituisce un Dio personale, come accade nel Buddismo e, più recentemente, nella \rightarrow New Age. Ma essa indicherebbe anche una identità di attributi fra immagine filosofica di Dio e leggi di natura, ritenute eterne, assolute, razionali, immutabili, la cui corrispondenza, sebbene sostenuta in passato da alcuni autori, non dà ragione del Dio della tradizione ebraico-cristiana, sia per quanto prima precisato in merito al determinismo (vedi *supra*, nn. 1 e 2), sia perché quella tradizione predica una «reale» distinzione tra Dio e il mondo (per gli aspetti teologici, \rightarrow CREAZIONE I.2 e III.3). Per affermare, come certamente fa la teologia, che «Dio opera attraverso le leggi di natura» non vi è bisogno di giungere ad una identità fra i due termini in gioco. Infine le due restanti possibilità che concludono le cinque alternative, Dio senza Leggi e Leggi senza Dio, sono associabili ad altre due visioni oggi non inusuali: quella di una divinità che non sia fonte di intelligibilità e di provvidenza e quella di una legalità in natura la cui ragione ultima non rimandi al di là di se stessa, e dunque resti, per definizione, atea.

IV. Le riflessioni della scienza contemporanea sul significato delle leggi naturali

Il dibattito sullo statuto delle leggi naturali è stato mantenuto, negli ultimi decenni, da autori direttamente impegnati nella ricerca scientifica. Gli scienziati vedono con una certa sorpresa la stabilità e la reciproca connessione delle leggi, si interrogano sul perché della loro intelligibilità e del successo riportato nell'esprimerle in forma matematica, cercano significati profondi circa i valori delle costanti di natura. Fra i motivi di questo interesse vi è l'odierna formulazione, in termini piuttosto soddisfacenti, di un quadro evolutivo globale e coerente, capace di legare la fisica del microcosmo con quella del macrocosmo. «Il concetto di legge di natura — afferma Paul Davies — è così ben stabilito nella scienza che fino a non molto tempo fa solo pochi scienziati si soffermavano a riflettere sulla natura e sull'origine di queste leggi; si accontentavano di accettarle come «date». Ora che fisici e cosmologi hanno compiuto rapidi progressi verso la scoperta di quelle che considerano le «leggi ultime» dell'universo, riemergono molti vecchi interrogativi. Perché le leggi hanno la forma

che hanno? Avrebbero potuto essere diverse? Da dove hanno origine? Esistono indipendentemente dall'universo fisico?» (Davies, 1993, p. 81).

1. *Che natura hanno le leggi di natura?* Una certa irriducibilità delle leggi di natura al genere dei principi, e quindi la rivendicazione di un loro statuto epistemologico proprio, era stata già avanzata da Henri Poincaré (1854-1912), sebbene con una visione ancora in parte convenzionalista. Ma saranno → Clerk Maxwell (1831-1879), → Max Planck ed → Albert Einstein (1879-1955) ad offrire una visione decisamente realista delle leggi naturali, insistendo sulla necessaria fiducia verso il «principio di legalità» come presupposto di ogni sapere scientifico. «Nella fiducia che il mondo reale sia governato da leggi — notava il padre della teoria dei quanti — il fisico si forma un sistema di concetti e di principi, la cosiddetta immagine fisica del mondo, che egli correda come meglio può e sa, in modo che, collocata al posto del mondo reale, essa gli mandi possibilmente i medesimi messaggi che questo gli invierebbe» (Planck, 1993, p. 246). La corretta conoscenza di questa "immagine del mondo" richiede per Einstein l'inseparabilità fra approccio induttivo e deduttivo: «La missione più alta del fisico è dunque la ricerca di queste leggi elementari, le più generali, dalle quali si parte per raggiungere, attraverso semplici deduzioni, l'immagine del mondo. Nessun cammino logico conduce a queste leggi elementari: l'intuizione sola, fondata sull'esperienza, ci può condurre ad esse» (*Come io vedo il mondo*, Roma 1993, p. 35). Dal punto di vista della logica, esse sono «libere creazioni dell'intelletto umano che non si possono giustificare a priori», ma dal punto di vista dell'esperienza, le nostre intuizioni risultano da questa norma: la nostra libera creatività è limitata dalla "libertà" della natura.

A questi autori potrebbero oggi affiancarsene altri come Carl von Weizsäcker, Richard Feynman, Paul Davies o John Barrow, tutti interessati a sottolineare, sebbene secondo prospettive non sempre coincidenti, il carattere "dato", oggettivo, ed in certo modo fondante, delle leggi di natura, di cui si può comprendere sensatamente l'azione solo concependole su scala cosmica, cioè in un quadro di validità universale. Nella sua *Introduzione alle Lezioni di Elettrodinamica Quantistica*, Feynman segnalava ai suoi studenti che «un motivo per cui potreste pensare di non comprendere quello che racconterò è che, mentre descriverò "come" funziona la Natura, voi non capirete "perché" funziona così. Ma questo, vedete, non lo capisce nessuno. Io non vi posso spiegare perché la Natura si comporta in questo modo particolare» (*QED. The Strange Theory of Light and Matter*, Princeton 1985, p. 10). Buona parte degli scienziati, consapevoli del carattere rivedibile ed impreciso delle leggi che utilizzano, sono portati, come Feynman, a sottolineare la loro capacità "descrittiva" piuttosto che "esplicativa", il loro legame preferenziale con la categoria della "relazione" e non con quella della "essenza", quasi a segnalare che il «principio di legalità o di regolarità» sembri appartenere di più alla natura di quanto non appartenga alle sue leggi. La natura si manifesta infatti continuamente con i caratteri della novità e dell'imprevedibilità, ma secondo modalità che non rimandano né al caos né all'indeterminismo, bensì a nuovi e più generali livelli di comprensione e di legalità.

Difendendo il loro *status* epistemologico oggettivo, per Paul Davies «è importante comprendere che queste regolarità della natura sono reali. Talvolta si sostiene che le leggi naturali, che sono tentativi di cogliere in modo sistematico queste regolarità, sono imposte al mondo dalla nostra mente, allo scopo di dargli un senso. È senza dubbio vero che la mente umana ha la tendenza a individuare gli schemi, e persino a immaginarseli dove non ce n'è. I nostri antenati vedevano animali e divinità fra le stelle e inventarono le costellazioni. E noi tutti cerchiamo di vedere facce nelle nuvole, nelle rocce e nel fuoco. Tuttavia, ritengo assurdo suggerire che le leggi naturali costituiscano analoghe proiezioni della mente umana. L'esistenza di regolarità nella natura è un fatto matematico oggettivo. D'altro canto, gli enunciati che vengono chiamati leggi e che sono contenuti nei libri di testo *sono* chiaramente invenzioni umane, ma invenzioni destinate a riflettere, anche se in maniera imperfetta, proprietà effettivamente esistenti nella natura. Senza questo assunto che le regolarità sono reali, la scienza si riduce ad una sciarada senza senso» (Davies, 1993, pp. 91-92). Fra le ragioni fornite in appoggio a questa prospettiva si cita il fatto che la predicibilità delle leggi ha una capacità esplicativa che va al di là del fenomeno originariamente studiato, consentendo spesso di interpretare con successo anche altre fenomenologie; dalle leggi proposte si possono poi dedurre conseguenze controllabili in nuovi contesti, che conducono a nuove scoperte, con le quali non ci si aspettava a priori alcun collegamento.

Come è noto, la problematicità di una visione realista delle leggi di natura (di cui ricordiamo la differenza da una visione "determinista") è stata richiamata nell'ambito della → meccanica quantistica. Va però ricordato che accanto ad interpretazioni tendenzialmente idealiste (interpretazione di Copenhagen, principalmente con Bohr e → Heisenberg), non ne sono mancate altre maggiormente realiste, dovute ad autori come David Bohm, John Bell, Richard Feynman e, più

recentemente, John Cramer (per una visione di insieme, cfr. J. Gribbin, *Schrödinger's Kittens and the Search for Reality*, Boston-New York 1995). Come sobriamente riepilogato da Polkinghorne (1988), nella fisica quantistica «ci imbattiamo con un'immagine del mondo che non è né meccanicistica, né caotica, che possiede allo stesso tempo i caratteri dell'apertura e dell'ordine» (p. 341).

2. *L'intelligibilità delle leggi di natura e la ricerca di una loro unificazione.* Il dibattito interno alla scienza sulle leggi di natura viene spesso associato all'interrogativo sulla loro "intelligibilità": ci si chiede perché sono esprimibili con un formalismo matematico relativamente semplice, e non di rado elegante (→ BELLEZZA, II-III), e per qual motivo debba esistere una corrispondenza fra il nostro intelletto e la logica con cui la natura pare comportarsi. Tale sintonia è insieme una fede (accettazione dell'induzione) ed una constatazione (predicibilità della deduzione). In prospettiva filosofica, i canoni del dibattito riproducono quello, prima evidenziato, fra visione realista ed idealista delle leggi naturali. In prospettiva religioso-teologica, il possibile Legislatore assume qui le vesti di un Architetto progettista. Non mancheranno, nei testi di divulgazione scientifica, concetti come «codice cosmico» o «progetto cosmico» (*cosmic blueprint*). Accanto alle conseguenze dell'intelligibilità del reale fisico sul piano della religiosità naturale e sul piano della teologia del Logos cristiano, già affrontate in altre voci di questo Dizionario (→ MISTERO, IV.1; GESÙ CRISTO, RIVELAZIONE E INCARNAZIONE DEL LOGOS, III.3-4), riassumeremo qui alcune motivazioni che ne rendono significativo l'interrogativo anche sul piano delle scienze.

La questione non può essere rivolta direttamente alle leggi perché, di tale intelligibilità, esse sono appunto una concrezione intenzionale, voluta allo scopo di rendere comprensibile e predicibile il comportamento del reale. Essa va piuttosto rivolta alla matematica e al nostro intelletto. Molte delle proprietà matematiche osservate in natura sono meno ovvie di quanto sembri. Non poche leggi sarebbero potute essere tutt'altro che semplici, simmetriche, dotate di integrali convergenti, facilmente approssimabili con modelli ideali. Molte fenomenologie a simmetria radiale o sferica sono descritte da equazioni le cui variabili hanno per esponenti dei "semplici" numeri naturali, lasciando quasi confluire tutta la "problematicità" della rappresentazione matematica nel valore "trascendente" (cioè transfinito) di π . Cosa accadrebbe se tali esponenti fossero dei complicati numeri razionali o perfino irrazionali?

Se la matematica è in buona misura una proiezione della mente umana sul reale fisico, quest'ultimo ha però la singolare proprietà di permettere che una simile proiezione "funzioni", mostrandosi adatto ad ospitare una rete di relazioni logico-matematiche che consentono di interpretare e predire molti fenomeni. Il legame fra matematica e natura pare spingersi ben più in profondità di quanto possa suggerire la semplice costruzione di tutto il corpo dei numeri reali a partire dall'insieme dei numeri naturali. «Ciò che ci dovremmo aspettare, a priori — affermava ancora Einstein — è proprio un mondo caotico del tutto inaccessibile al pensiero. Ci si potrebbe (di più, ci si dovrebbe) aspettare che il mondo sia governato da leggi soltanto nella misura in cui interveniamo con la nostra intelligenza ordinatrice: sarebbe un ordine simile a quello alfabetico, del dizionario, laddove il tipo d'ordine creato ad esempio dalla teoria della gravitazione di Newton ha tutt'altro carattere. Anche se gli assiomi della teoria sono imposti dall'uomo, il successo di una tale costruzione presuppone un alto grado d'ordine del mondo oggettivo, e cioè un qualcosa che, a priori, non si è per nulla autorizzati ad attendersi» (A. Einstein, *Lettera a M. Solovine*, 30.3.1952, in *Opere scelte*, Torino 1988, pp. 740-741).

Uno dei modi per ridimensionare drasticamente il problema sarebbe quello di obiettare che le leggi che reggono il cosmo fino a consentire di ospitarvi la vita intelligente (→ ANTROPICO, PRINCIPIO) sono in fondo le stesse che governano il funzionamento della nostra mente. La concordanza fra intelletto umano e leggi naturali dipenderebbe solo dal fatto che il cervello opera secondo le leggi della fisica, e queste gli risultano perciò completamente compatibili. In realtà una simile obiezione pare poco convincente. Il funzionamento bio-chimico o anche fisico del cervello da una parte, le cui leggi sono certamente in sintonia con quelle del cosmo cui apparteniamo, e l'attività razionale di astrazione della mente dall'altra, con la sua capacità di trovare la forma matematica della fisica, individuano in realtà due livelli distinti, fra loro irriducibili (→ MENTE-CORPO, RAPPORTO). Giustificare poi di trovarci in un universo "matematico" solo perché il nostro sarebbe "antropicamente selezionato" fra infiniti possibili universi "non matematici", è una risposta filosofica a priori e non una soluzione scientifica in senso stretto. L'intelligibilità delle leggi di natura non può neanche considerarsi una conseguenza della selezione naturale nella nostra evoluzione biologica, essendo difficile sostenere che la capacità di risolvere equazioni differenziali sia stato un fattore storico di sopravvivenza per la nostra specie. Senza per questo sciogliere, al livello dell'analisi delle scienze, l'enigma dell'intelligibilità, la cui soluzione compiuta non pare praticabile

dall'interno del loro metodo, parrebbe più logico argomentare che tanto la struttura quanto la comprensibilità dell'universo siano due aspetti intimamente collegati: se la scienza deve ricevere come "data" la prima, cioè la ragione ultima del perché l'universo è così come è, essa si vede obbligata a ricevere come data anche la ragione profonda della seconda. In linea di principio, sarebbe stato possibile che la specie umana si fosse adattata ed organizzata nel mondo solo biologicamente, cioè senza comprenderlo anche intellettualmente: ma di fatto non è stato così.

Il contesto più ambizioso in cui si esprimono l'intelligibilità e la trattabilità matematica delle leggi di natura è senza dubbio rappresentato dai progetti di unificazione delle quattro forze fondamentali di interazione. Da tempo capaci, con Maxwell, di esprimere all'interno di un medesimo formalismo il campo elettrico e quello magnetico, gli scienziati hanno potuto in tempi più recenti inglobarvi l'unificazione delle forze nucleari deboli, confermandone sperimentalmente l'esattezza con la scoperta delle corrispondenti particelle di scambio. Esistono oggi teorie soddisfacenti, usualmente denominate «modello standard» o anche GUT (*Grand Unified Theories*) in grado di unificare con le prime due, anche la terza forza fondamentale, quella nucleare forte, mentre la capacità di compiere l'ultimo passo che inglobi anche l'interazione gravitazionale offre problemi di portata assai maggiore. Il formalismo matematico impiegato non è univoco, come mostrato dalla presenza nelle equazioni di molti parametri liberi, ma l'immagine fisica del cosmo che ne emerge è fortemente suggestiva: il processo di unificazione matematica delle forze è sensato e progredisce perché l'universo "è suscettibile di essere unificato". La formulazione di "gruppi di simmetria" sempre più generali nasce senza dubbio dalla creatività della mente del ricercatore, ma la natura deve contenere nei suoi fondamenti, a qualche livello, una intima realtà strutturale sulla quale tale razionalità possa poggiarsi.

Un ulteriore risvolto della ricerca di una teoria unificata è la seduzione di poter proporre una «teoria del tutto» (*Theory of Everything*, TOE). Pur non condivisa dalla maggior parte dei cosmologi, se ne sono fatti animati interpreti S. Hawking (*A Brief History of Time*, New York 1988) e S. Weinberg (*Dreams of a Final Theory*, New York 1992). La definitiva scoperta delle leggi fisico-matematiche che, nei primi istanti di vita dell'universo, regolarono il progressivo differenziarsi delle quattro forze fondamentali attraverso le «rottture di simmetria» verificatesi al decrescere della temperatura globale, conterrebbe anche la ragione ultima dell'esistenza di quelle forze, ovvero di quell'unica "superforza", fornendo così una spiegazione ultima del tutto. Ma il tentativo di volersi servire di un simile formalismo unificato come descrizione esauriente di tutto il reale fisico conduce a palesi incongruenze, non solo sul piano filosofico, a motivo dell'indisponibilità per il metodo scientifico del «problema dell'intero» (→ UNIVERSO, III), ma anche sul piano strettamente fisico (cfr. Ellis, 1991; Barrow, 1992 e 1999). Si finirebbe con l'andare necessariamente incontro ai classici "problemi di incompletezza", sia di ordine logico che ontologico, oltre a riprodurre i classici canoni di un insostenibile → riduzionismo.

3. *Una visione evolutiva delle leggi di natura: dall'essere al divenire?* La crescente importanza attribuita al concetto di → evoluzione e la maggiore attenzione, specie a partire dalla termodinamica dei fenomeni irreversibili, rivolta alla freccia del tempo (→ TEMPO, II.4), hanno introdotto nelle ultime decadi importanti novità nel modo di vedere le leggi naturali, caratterizzandone la riflessione all'interno di un quadro fortemente filosofico. Tale novità è stata presentata da alcuni autori nei termini di una transizione dal cosmo ideale delle leggi naturali, ordinato ed immutabile, all'universo reale dei processi evolutivi, disordinato ed imprevedibile. Perdendo il «paradiso delle leggi» (cfr. Cini, 1994), l'interpretazione scientifica avrebbe perso con esso quella visione filosofica tradizionalmente edificata sulla nozione di legge e, di riflesso, anche il suo Legislatore. Non ci riferiamo qui alla scoperta dell'imprevedibilità matematica dei fenomeni complessi — di cui abbiamo già segnalato la distinzione sia rispetto al principio di legalità che a quello di causalità — ma al fatto che all'origine dell'ordinamento, della strutturazione e della diversificazione del reale non vi sia più l'idea di «legge naturale», bensì quella di «processo». Quest'ultima nozione rappresenterebbe meglio fenomeni come l'auto-organizzazione, lo sviluppo funzionale, l'emergenza di strutture complesse, l'adattamento all'ambiente o l'interazione con esso, i quali sarebbero i veri responsabili delle proprietà e della morfologia osservate in natura. La nuova visione coinvolgerebbe tanto la fisica (ad esempio privilegiando la dimensione, o perfino l'origine, relazionale-globale delle proprietà elementari della materia) quanto, soprattutto, la chimica e la biologia, costitutivamente aperte alla categoria di "trasformazione", di "sviluppo" o anche di "emergenza".

Un forte influsso sul pensiero scientifico di fine secolo XX, all'interno di questa nuova visione, è quello avuto dai noti lavori del chimico ed epistemologo belga, di origine russa, Ilya Prigogine (n. 1917). Lo studio dell'evoluzione dei sistemi termodinamici *lontano dalle soluzioni di equilibrio* consente di descrivere l'emergenza di strutture organizzate, morfologicamente più ricche e

complesse rispetto a quanto mostrato dal sistema di partenza (principalmente Prigogine e Stengers, *La Nouvelle Alliance*, 1979; poi, Nicolis e Prigogine, 1982; Prigogine, 1986). Le «soluzioni di non equilibrio», possibili attorno ai «punti di biforcazione» di un sistema, che sono anche quelli maggiormente «indecidibili» e dunque trattabili solo probabilisticamente (in un panorama orografico li si potrebbe paragonare al comportamento di una pallina sulle cime dei rilievi), descrivono proprio la dimensione «evolutiva» o di «sviluppo creativo» del sistema. Le soluzioni di equilibrio, invece, che si danno lontano dalle biforcazioni (rappresentate dal comportamento delle palline nelle valli), ricondurrebbero il sistema nella fenomenologia predicibile e deterministica rappresentata dalle sue leggi note. Tali comportamenti esistono di fatto in natura, ove si osserva una progressiva diversificazione delle strutture chimiche, bio-chimiche ed infine biologiche, ma anche la formazione di strutture fisiche assai ordinate (ad esempio la termodinamica di una stella) a partire da sistemi caotici (una nube di gas di idrogeno da cui essa si forma). Saremmo così di fronte all'emergenza di «ordine dal caso» (*Order out of Chaos*, sarà il titolo dato alla traduzione inglese de *La Nouvelle Alliance*). La termodinamica di non equilibrio riesce così a descrivere «isole di entropia decrescente», nelle quali si contengono le novità di un mondo in evoluzione, sullo sfondo di una legge globale di «entropia sempre crescente», che coinvolge invece l'universo nel suo insieme, spingendolo assai probabilmente verso uno stato di progressivo degrado termico ed energetico.

A motivo dell'esplicita risonanza filosofica datagli dallo stesso Prigogine, il precedente quadro scientifico è stato usato per porre in questione che il principale fattore di strutturazione (e di interpretazione) dell'universo fisico sia rappresentato dalle leggi di natura, assegnando piuttosto alla «emergenza dell'imprevedibile» il ruolo trainante. Più facilmente associate alla descrizione dei sistemi in equilibrio, alle soluzioni stabili, agli sviluppi predicibili, le leggi naturali rimanderebbero alla nozione di legame e di eterna ricorrenza, mentre l'idea di emergenza o di complessità rinvierebbe alla nozione di creatività o, perfino, di libertà. In sintonia con questo cambio di prospettiva — e riprendendo i termini di una tensione ormai classica — Prigogine sosterrà una supremazia del divenire sull'essere, del processo sulla sostanza, trascinando in tale confronto le grandi idee portanti della filosofia e delle religioni (cfr. Prigogine, 1986). Come cornici filosofiche maggiormente adeguate egli citerà l'opera di M. Heidegger, *Essere e tempo* (1927) e la filosofia del processo sviluppata da → Whitehead. Ma c'è qualcosa di più. La visione di una scienza la cui importanza e successo interpretativo vengono spostati dalle equazioni reversibili rispetto al tempo, tipiche delle leggi naturali tradizionalmente (ma anche riduttivamente!) intese, alla termodinamica dei fenomeni irreversibili, responsabili della vera novità e ricchezza nell'universo, tipicamente più vicini alla biologia, consentirebbe finalmente «una nuova alleanza» con il mondo dell'uomo e della vita. Una scienza meno determinista e liberata da un eccesso di legalismo fiscalista può dialogare più facilmente con le discipline umanistiche, sensibili alla libertà e alla creatività.

Sebbene la portata scientifica, ma anche la novità epistemologica, della termodinamica di non equilibrio siano fuori discussione, non condividiamo la maggior parte delle conseguenze «filosofiche» che Prigogine vuole trarne. Come accennato, esse derivano da una visione inconsapevolmente riduttiva non solo delle leggi naturali (identificate con il determinismo) o del principio di legalità (identificato con un fissismo che precluderebbe ogni novità), ma anche della scienza stessa nel suo insieme. La capacità di dialogo delle scienze con l'umanesimo e la filosofia si sono certamente accresciute con l'abbandono del meccanicismo, ma tale dialogo dipende da fattori ben più profondi e filosoficamente più fondanti (→ CULTURA, V-VI; UNITÀ DEL SAPERE) di quanto non dica la riscoperta, o semplicemente una migliore interpretazione scientifica, del comportamento aperto o «creativo» della natura.

La fenomenologia della termodinamica di non equilibrio non costituisce una negazione del valore delle leggi di natura e questo almeno per due motivi. In primo luogo perché qualunque sistema termodinamico, comunque rappresentato, non costituisce «la causa formale» dell'emergenza di una struttura ordinata e complessa, ma semplicemente il suo contesto materiale e cronologico previo: l'emergenza della novità è dovuta ad una «azione di natura»: se questa non ha la forma di una legge riproducibile (qual è infatti la legge con cui cade una pallina posta sulla sommità di una vetta?), ciò accade per la non-riproducibilità delle medesime condizioni al contorno (o condizioni iniziali) del sistema, non per l'assenza di un principio di legalità o di regolarità (la legge di gravità, che farà certamente cadere la pallina, anche se non sappiamo dove). In secondo luogo, in non pochi casi le fluttuazioni e le instabilità di un sistema, a partire dalle quali esso poi evolverà in modo imprevedibile, sono descrivibili da opportune leggi fisico-matematiche, come accade ad esempio per le instabilità della fluidodinamica. Come riprova, Prigogine continuerà inevitabilmente ad utilizzare anch'egli la nozione di legge, presentando il comportamento della natura come un sottile equilibrio fra caso e necessità, fra fluttuazioni e leggi deterministiche, fra rotture di simmetrie e leggi che propagano tali rotture.

4. *Alcuni aspetti in ambito biologico.* Per la → biologia, a differenza di quanto può essere accaduto in fisica, pensare alle leggi di natura in termini di "processi", piuttosto che di semplici regolarità, non rappresenta un cambio di visione. Sebbene in tale ambito si parli poco di «leggi», la loro esistenza pare a qualche livello evidente: il codice genetico contenuto nel DNA dei nuclei cellulari dà luogo a precisi sviluppi dell'individuo e non ad altri, i caratteri ereditari si trasmettono seguendo alcune regole del calcolo combinatorio, i viventi reagiscono anch'essi secondo un «principio di legalità» alle medesime interazioni con l'ambiente, ecc. Dal punto di vista storico, il dibattito circa la presenza di un eventuale "Legislatore" si è snodato lungo due tesi classiche, la cui opposizione ha dato e continua a dar luogo ad equivoci: da un lato l'utilizzo in chiave apologetica della forte organizzazione, complessità e finalismo mostrati dai viventi, dall'altro il tentativo di darne ragione in termini di casualità, selezione naturale, adattamento all'ambiente o altri fattori. Ci limiteremo qui a segnalare solo alcuni recenti sviluppi su come possa essere compresa la presenza di leggi in ambito biologico (per una recente rassegna sui principali aspetti interdisciplinari, cfr. R. Russell, W. Stoeger, F. Ayala, 1998)

Il contesto più frequente in cui si parlava in passato di legge biologica era la proposta darwiniana "classica" di un'evoluzione affidata alla «legge della selezione naturale», concepita come azione combinata di due fattori: mutazione genetica casuale, con relativa trasmissione ereditaria, e sopravvivenza delle specie le cui mutazioni causavano morfologie maggiormente idonee all'ambiente naturale del vivente. Conservando le nozioni di evoluzione di adattamento, la cui operatività è certamente fuori dubbio, tale visione è oggi fortemente discussa, sia perché la trasmissione ereditaria delle mutazioni subite non costituisce la regola, sia perché la principale origine delle mutazioni si è riconosciuta non più essere la "casualità", bensì l'azione dell'ambiente sui viventi (cfr. Kauffman, 1993).

Vanno oggi acquistando peso crescente in biologia due nuovi contesti che fanno riferimento implicito a principi di legalità. Il primo di essi è l'idea che esistano processi di "canalizzazione" o di "confluenza", mediante i quali dei principi di natura strutturale e termodinamica intrinseci nell'organizzazione molecolare o cellulare sembrano esplicitarsi lungo l'evoluzione dei viventi, non appena le circostanze lo rendano possibile (cfr. Webster e Goodwin, 1988). È come se l'evoluzione biologica non debba "aprirsi essa stessa una strada", ma semplicemente "seguire le forme del paesaggio" che già individuano questo cammino. Il secondo è la rivalutazione della "formalità specifica individuale" del vivente, sia esso una cellula o un organismo complesso, come unità e soggetto di funzioni non riduttivamente interpretabili come semplice somma o combinazione delle proprietà delle parti componenti. Tale comportamento indica in fondo la capacità di un organismo di conservare e sviluppare in modo coerente delle caratteristiche invariabili, come possono essere ad esempio l'omeostasi, simmetrie funzionali, l'immunità verso agenti esterni, ecc. È stata avanzata anche l'idea, comunemente nota sotto il nome di «ipotesi Gaia», che un simile comportamento sia in qualche modo applicabile, su scala planetaria, a tutta la biosfera nel suo insieme (cfr. J.E. Lovelock, *A New Look of Life on Earth*, Oxford 1979; *The Ages of Gaia. A Biography of our Living Earth*, London 1988). Non è forse senza interesse segnalare che ambedue i contesti furono teorizzati nella prima metà del XX secolo da → Teilhard de Chardin (cfr. L. Galleni, *How does the Teilhardian Vision of Evolution compare with Contemporary Theories?*, "Zygon" 30 (1995), pp. 23-43).

Da un punto di vista più tradizionale (cfr. G. Blandino, *Vita, ordine, caso*, Brescia 1967), il ricorso all'idea di legge e di regolarità ha sempre accompagnato la descrizione della fenomenologia della vita. Esiste una riconosciuta «regolarità funzionale dei viventi» grazie alla quale ogni parte è funzionale al bene del tutto ed il tutto difende la funzione della parte, secondo una logica che trascende l'individuo per aprirsi al bene della specie. Esiste una certa «costanza nell'esistenza», manifestata dalla riproduzione di medesime strutture, che provvedono ad una regolarità morfologica, funzionale, ma anche riproduttiva. Esiste anche, quasi in analogia con quanto accade con i principi variazionali della fisica-matematica, una sorta di «legge di semplicità», in base alla quale pare essere una legge, propria dei viventi, agire col minimo lavoro, con procedimenti semplici e sicuri, evitando inutile complicità.

V. Verso un'analisi ontologica delle leggi di natura: leggi scientifiche, leggi naturali e nozione metafisica di natura

Riprendere le domande poste da Paul Davies, «da dove hanno avuto origine le leggi naturali?» o, anche, «avrebbero potuto essere diverse?», implica spostare l'attenzione dal loro statuto epistemologico a quello ontologico. La necessità di accedere, presto o tardi, a questo livello veniva così espressa con sguardo storico da → Pierre Duhem: «La teoria fisica non ci dà mai la spiegazione

delle leggi sperimentali, non ci rivela in nessun caso le realtà che si nascondono dietro le apparenze sensibili. Ma più si perfeziona, più avvertiamo che l'ordine logico nel quale essa dispone le leggi sperimentali è il riflesso di un ordine ontologico; più dubitiamo che i rapporti che essa stabilisce tra i dati dell'osservazione corrispondono a rapporti tra le cose, più scopriamo che essa tende ad essere una classificazione naturale. [...] Tuttavia, se il fisico è incapace di motivare tale convinzione, non lo è meno a sottrarle la sua ragion d'essere» (*La teoria fisica*, tr. it. Bologna 1978, p. 31-32). Un altro epistemologo e scienziato, Henri Poincaré, si chiedeva, pur riconoscendo la convenzionalità delle leggi scientifiche, se nell'insieme potessero aver qualcosa di indipendente da quelle convenzioni, qualcosa che potesse considerarsi "invariante", per concludere poi che l'esistenza di invarianti era in fondo richiesta dal ruolo "traduttore" della scienza: le relazioni fra fatti scientifici — inevitabilmente espresse mediante convenzioni — esistono perché esistono delle leggi invarianti, che sono delle relazioni tra i fatti in sé e per sé, di cui le leggi scientifiche sono appunto una «traduzione» (cfr. *Il valore della scienza*, 1911, cap. X, § 4).

Siamo dunque condotti verso una necessaria distinzione fra «leggi naturali» e «leggi scientifiche». Le due espressioni non sono identiche (cfr. Artigas e Sanguineti, 1989, pp. 236-240). Noi possiamo maneggiare soltanto le seconde, ma non le prime. Le leggi scientifiche hanno una portata conoscitiva limitata e sono sempre soggette a revisione sperimentale; la loro conoscibilità ed intelligibilità rimanda ad un substrato "invariante", di carattere squisitamente meta-fisico, che in prima approssimazione sarebbe rappresentativo, appunto, delle «leggi di natura»; in modo più preciso, come vedremo, esso andrebbe ancorato alla «natura metafisica di un ente», cioè a quel principio operativo che esprime le proprietà formali e le possibilità di interazione attiva e passiva di un ente fisico, manifestativo della sua essenza.

Richard Feynman amava associare alle leggi sperimentali l'immagine di un ritmo musicale che collega fra loro i fenomeni. Ricollegandoci alla precedente distinzione, le leggi di natura sarebbero ciò che rende possibile la regolarità e la cadenza di quel "ritmo", e che permette alle leggi scientifiche di essere scoperte ed espresse con algoritmi matematici. Questi ultimi hanno un carattere necessariamente convenzionale, consentono una molteplicità di approcci e di formulazioni, la cui libertà è però limitata dalle risposte che si riceveranno «dalla natura», in base ad un metodo sperimentale aperto interattivamente sul reale. Così intese, le leggi di natura rappresentano, per le leggi scientifiche, una sorta di "asintoto". Ma si tratta di un asintoto "filosofico" piuttosto che matematico. La scienza, infatti, non può "dare ragione" delle leggi di natura: esse hanno un carattere di gratuità (*givenness*), sono qualcosa di dato o di ricevuto. Il loro perché ultimo sfugge al dominio della scienza, ma è proprio grazie alle leggi di natura che la scienza diviene possibile. Le leggi scientifiche descrivono il mondo senza poterlo "spiegare", mentre le leggi di natura danno ragione di come sia fatto il mondo, senza poterlo descrivere direttamente.

Un'epistemologia realista delle leggi naturali non implica che le espressioni matematiche che descrivono i processi fisici "siano lì, dentro le cose", né tantomeno che le regolarità o le simmetrie, grazie alle quali possiamo raggiungere la formulazione di una legge, costituiscano la struttura "reale e concreta" di quel fenomeno. Una visione realista delle leggi naturali afferma soltanto che il «principio di legalità», punto di partenza della strutturazione della conoscenza scientifica, sarebbe un principio che risponde alla natura delle cose, la sua validità conoscitiva non risulterebbe geneticamente compromessa dal problema dell'induzione e la sua esistenza sarebbe conseguenza di proprietà naturali stabili ed intelligibili, la cui ragione ultima è ricevuta dalla scienza come "data".

Riveste in proposito un certo interesse ricordare che per la metafisica ogni ente possiede una sua «natura». Nel suo *Commento al Libro II della Fisica di Aristotele*, → Tommaso d'Aquino definisce la «natura» come un principio operativo grazie al quale ogni ente, perché dotato di una specifica «essenza», agisce secondo ciò che è. La natura è un'inclinazione naturale (valga la ridondanza) che regola le modalità con cui quel determinato ente può interagire con quanto lo circonda. La natura è un principio di moto ma anche di quiete: essa fa cioè riferimento non solo alla regolarità delle interazioni, ma anche alla stabilità delle proprietà intrinseche (cfr. *In II Physicorum*, lec. 1, nn. 145-146; lec. 14, n. 267; cfr. anche *Summa theologiae*, I-II, q. 6, a. 5, ad 2^{um}). La «natura» risulta pertanto collegata alla «causalità formale» dell'ente, ma con interessanti collegamenti anche alla «causalità finale»: la Causa Prima, infatti, alla quale spetta l'essere e la progettualità di tutto ciò che esiste, è la ragione ultima del perché della specifica natura di ogni ente. Nel cosmo di Tommaso (che aggiungerà alla visione aristotelica la prospettiva teologica della creazione e l'importante intuizione filosofica dell'«atto di essere»), la finalità o il disegno globale dell'universo — e dunque indirettamente anche l'azione del Legislatore — non è qualcosa imposto al mondo fisico dall'esterno, ma il risultato dell'operare armonico di tutti gli enti creati secondo ciò che è loro proprio, operare che conduce ogni cosa verso il suo fine ultimo.

Alcuni autori hanno suggerito una certa convergenza fra la nozione metafisica di natura e le proprietà elementari o fondanti del reale fisico, nel senso che queste ultime, quando si accede ad un'analisi di maggiore profondità ontologica, dovranno a qualche livello poggiare sulla prima (cfr. R.J. Connell, *Matter and Becoming*, Chicago 1966; P. Durbin, *Philosophy of Science. An Introduction*, New York 1968; più recentemente, W.A. Wallace, *The Modeling of Nature*, Washington 1996). Noi stessi abbiamo proposto di estendere questa convergenza anche nei confronti delle «leggi di natura» (cfr. Tanzella-Nitti, 1997), cercando di mostrare il guadagno che ne deriverebbe, sia per dar ragione dell'intelligibilità delle leggi scientifiche, sia per comprendere in modo non conflittuale il rapporto fra azione divina (o progetto divino sul mondo) e fenomeni naturali. Quest'ultimo rapporto si può infatti ancorare a quello, assai stretto, fra causalità formale e causalità finale. Sebbene un certo finalismo abbia un valore regolativo nella formulazione delle scienze (→ MECCANICA, VI), il metodo scientifico guarda ordinariamente con sospetto l'idea di una causalità finale, mentre è invece costitutivamente aperto al riconoscimento di una causalità formale.

Riferendoci ai nuovi contesti sperimentali e teoretici sui quali le scienze contemporanee richiamano l'attenzione del filosofo (vedi *supra*, IV), si potrebbe anche facilmente notare che una distinzione fra leggi scientifiche e leggi naturali aiuta a comprendere perché la presenza di vere leggi di natura sia ancora compatibile con l'inconsueta fenomenologia della meccanica quantistica o con quella dei fenomeni complessi. Più problematico sembrerebbe invece armonizzare la nozione metafisica di natura con un quadro interpretativo, come quello di buona parte della scienza contemporanea, ove le proprietà sono sempre più comprese in termini di relazioni, di connessioni o di interazioni, e non come caratteristiche proprie degli enti in quanto tali. Ma, in realtà, la nozione metafisica di natura è nozione "aperta alla relazione" in quanto non denota solo un principio attivo di operazione, ma anche un principio passivo, la capacità specifica di ricevere nuove forme, di dare origine a specifiche interazioni (cfr. *Summa theologiae*, I-II, q. 6, a. 5, ad 2^{um}; *De spiritualibus creaturis*, a. 2, ad 8^{um}). Essa non si oppone pertanto alle nozioni di relazione, di emergenza o di processo, ma semplicemente ne regola le modalità operative, secondo un itinerario specifico e non casuale.

Il concetto di natura metafisica di un ente è nozione aperta alla molteplicità e alla ricchezza del mondo fenomenico, perché capace di indurre (e di ricevere) una quantità praticamente infinita di connessioni verso gli altri enti e nei confronti dell'ambiente nel suo insieme. È nozione relativa e non assoluta, principio di formalità operativa in un mondo di soggetti ove l'uno è funzione dell'altro: *in natura est alterum propter alterum, sicut et in arte* (*In II Physicorum*, lectio 13, n. 257). Nel "cosmo" ordinato che emerge dalla visione della metafisica tomista, i principi di legalità o di regolarità non indeboliscono il ruolo causale del tutto, né viene sottovalutata la valenza relazionale delle proprietà dei vari componenti, dovuta alla loro reciproca dipendenza. Ne viene soltanto sottolineata l'organicità e la sintonia con un progetto, il dirigersi verso un fine. In questo cosmo c'è posto non solo per la sostanza, ma anche per il processo: si richiede soltanto che i molteplici livelli di processo abbiano un soggetto ultimo di attribuzione, che non sia, a sua volta, ancora un processo.

VI. Per una teologia delle leggi naturali

1. *Il cosmo, luogo dell'alleanza fra Dio e l'uomo.* Il messaggio biblico presenta una natura governata da leggi. Queste sono volute dalla provvidenza di un'unico Creatore e ad esse obbediscono il mondo inanimato e quello dei viventi. La loro azione viene descritta con un linguaggio che non può considerarsi speculativo, ma narrativo, sapienziale, non di rado fortemente estetico, sebbene non manchino precise conseguenze metafisiche circa il rapporto fra Dio e la natura. Un mondo "creato" si manifesta con i caratteri della legalità, dell'ordine, della regolarità, perché effetto della Parola divina, una parola personale, intenzionale, intelligente, ma anche buona, provvidente e fedele: la parola sapiente di Dio ha creato e mantiene nell'essere ogni cosa, conducendo tutto l'universo verso il suo fine (cfr. *Sap* 8,1; 11,24-26; *Sal* 33,4-9; *Sal* 104,24-29). L'uomo, con l'assistenza della sapienza, divina può riconoscere le leggi di natura e comprenderne la verità che esse contengono (cfr. *Sap* 7,17-21). I principali contesti che richiamano la presenza di leggi sono quello dei fenomeni celesti (→ CIELO, III), il comportamento dei viventi, anche in relazione al loro *habitat*, ed infine quello della persona umana e della sua vita morale. Le pagine bibliche in proposito sono molteplici. Fra le più note, i capitoli iniziali del *Libro della Genesi*, i *Salmi* 19 e 104, i capitoli 36-39 del *Libro di Giobbe*, il capitolo 43 del *Siracide*. Spunti sulla "razionalità" del progetto creatore e sulla "legalità" del comportamento della natura sono presenti un po' ovunque nei *Libri sapienziali* (cfr. *Prv* 3,19-20 e 8,22-31; *Sir* 16,24-26; 42,15 - 43,33; *Sal* 119,89-91) e talvolta anche in quelli *profetici* (cfr. *Ger* 31,35-37).

La principale idea che emerge dalla lettura di questi passi è che la stabilità delle leggi naturali è immagine ed espressione della fedeltà di Dio, della verità della sua alleanza con l'uomo, di cui la creazione partecipa come tappa primordiale. È fedeltà di Dio a se stesso, alla verità e bontà del suo progetto, ma anche fedeltà verso l'uomo, perché le leggi non vengono rimosse, ma sono costantemente attive come segno del favore e dell'amore divini. La stabilità dei cieli è immagine dell'amore fedele di Dio verso il popolo che Egli si è scelto: «Così dice il Signore che ha fissato il sole come luce del giorno, la luna e le stelle come luce della notte, che solleva il mare e ne fa mugghiare le onde e il cui nome è Signore degli eserciti: "Quando verranno meno queste leggi dinanzi a me — dice il Signore — allora anche la progenie di Israele cesserà di essere un popolo davanti a me"» (Ger 31,35-36).

Nel contesto delle leggi naturali sembra difficile separare quanto impresso nella natura, da quanto impresso nel cuore dell'uomo: la «legge» per antonomasia è la legge morale inscritta da Dio nella coscienza umana, vivere la quale è manifestazione di saggezza e fonte di felicità. Le leggi di natura giocano a riguardo il ruolo di "accompagnare" e "favorire" la comprensione della legge morale da parte dell'uomo, ma anche quello di offrirne una certa "garanzia" di veridicità e di bontà, legando la verità provvidente della legge morale alla verità delle leggi di un cosmo che è sotto gli occhi di tutti. Esempio, al riguardo, il contenuto del Salmo 19.

Le leggi naturali hanno infine il compito di muovere l'uomo a dare gloria a Dio, di aiutarlo a riconoscere l'esistenza del Creatore attraverso l'ordine e la regolarità con cui è governato il creato. «Anche la luna, sempre puntuale nelle sue fasi, regola i mesi e determina il tempo [...]. Bellezza del cielo la gloria degli astri, ornamento splendente nelle altezze del Signore. Si comportano secondo gli ordini del Santo, non si stancano al loro posto di sentinelle. Osserva l'arcobaleno e benedici colui che l'ha fatto, è bellissimo nel suo splendore [...]. Nel glorificare il Signore esaltatelo quanto potete, perché ancora più alto sarà. Nell'innalzarlo moltiplicate la vostra forza, non stancatevi, perché mai finirete» (Sir 43,6.9-11.30). Pur non costituendo un loro oggetto primario, la riflessione teologica e la tradizione cristiana hanno raccolto questa eredità biblica, associando spesso un riferimento alle leggi naturali con l'idea di un "governo del mondo": «Chi si impegna nella ricerca scientifica e tecnica ammette, come presupposto del suo itinerario, che il mondo non è un *cháos*, ma un *kósmos*, ossia che c'è un ordine e delle leggi naturali, che si lasciano apprendere e pensare, e che hanno pertanto una certa affinità con lo spirito» (Giovanni Paolo II, *Discorso alla Pontificia Accademia delle Scienze*, 31.10.1992, *Insegnamenti*, XV,2 (1992), p. 465; di interesse storico anche Pio XII, *Discorso alla Pontificia Accademia delle Scienze*, 21.2.1943, *Discorsi e Radiomessaggi*, IV, pp. 383-395).

2. *Stabilità delle leggi di natura e fedeltà di Dio.* Se dovessimo dire a quale immagine di Dio corrisponde il richiamo biblico ad un Legislatore, dovremmo rispondere che i suoi tratti più forti non sono quelli di un architetto, né tanto meno di un orologiaio o un musicista, bensì quelli di un Creatore fedele. La nozione di «legge naturale» diviene, nella Sacra Scrittura, sinonimo di «fedeltà» e di «verità» (questi due concetti derivano dal medesimo termine eb. *'emet*) e, solo secondariamente, fa riferimento alle nozioni di razionalità o di ordine. Fedeltà non vuol dire determinismo, ma volontà e capacità di realizzare quanto si è promesso, ed attraverso vie che solo Dio conosce. Se il cristianesimo, sulla scorta della Rivelazione biblica, ha certamente favorito un clima di "fiducia" nell'esistenza di leggi di natura e nella razionalità del mondo, ciò non può tradursi, in termini epistemologici, in una piana affermazione di determinismo. La natura poggia sul carattere della stabilità, non sul *cháos* o sull'eterno cangiante divenire, perché Dio è «fedele», cioè «vero». Legalità e fedeltà, entrambe rivelano un ordinamento verso un fine. Dio "non riprende i suoi doni": il mondo che ha messo nelle mani degli uomini non sfugge totalmente alla loro "presa", perché è mondo altrettanto vero, reale, e dunque conoscibile. In quanto Creatore, Dio conserva la piena trascendenza sul mondo e la piena separazione da esso (Egli è «santo», eb. *qodes*, cioè «separato»); ma pure in quanto Creatore, egli fonda in modo immanente la verità e l'autonomia di tutte le cose, ed inclina il suo sguardo provvidente su ciò che ha amato da sempre e da sempre ha voluto così come è. L'immagine biblica di Dio non è quella di un Legislatore che imponga dall'esterno le sue leggi ad una natura che plasma in modo demiurgico. Queste non sono "esterne" al mondo, nella mente di Dio (come avrebbe voluto il platonismo), ma sono "consegnate alla verità di ciò che è creato", sebbene il progetto del mondo e della sua salvezza risieda certamente nella mente di Dio.

Il corretto rapporto fra Dio e le leggi di natura è ancorato a quello fra la sua trascendenza ed immanenza rispetto ad un mondo creato (→ CREAZIONE, IV). Dio opera attraverso le leggi, perché Egli è la ragione ultima della loro specificità ed esistenza, ma è anche al di là delle leggi, in quanto l'origine divina del loro piano progettuale non implica che il Creatore giunga ad identificarsi con

esse. A questo riguardo, una corretta "teologia delle leggi di natura" deve chiarire esplicitamente la sua equidistanza sia dal → deismo che dal → panteismo. Non va dimenticato che il deismo sette e ottocentesco pretendeva di essere una sorta di religione razionale e non era aperto, per definizione, alla nozione di Rivelazione; la nozione di Dio (o di *Logos*) alla quale le scienze, a partire dalla domanda sulle leggi di natura, paiono fare riferimento, per essere lecitamente utilizzata dalla teologia, deve essere riconosciuta "aperta" ad un'immagine rivelata di Dio. Analogamente, per evitare lo scoglio del pantesimo, occorre che il *Logos* percepito dalla riflessione filosofica delle scienze sia capace di rimandare "al di là delle leggi": se le leggi sono esse stesse "il divino", e la meraviglia dello scienziato si ferma ad uno stupore verso un "codice cosmico" fine a se stesso, la teologia cristiana non potrà che formulare un semplice giudizio di panteismo.

Infine, il chiarimento prima operato nei riguardi del determinismo può anche far comprendere l'ambiguità di quelle interpretazioni che ipotizzano un mondo senza leggi ed investigano il rapporto che intercorrerebbe fra Dio ed un mondo indeterminato (o indeterministico), sul piano filosofico quello fra Dio e il caso. Come la negazione di ogni legge in natura è stata utilizzata da alcuni come una mozione contro l'esistenza di Dio (Monod), così per altri il caso e l'indeterminazione rappresenterebbero lo spazio, o forse l'"azione", che permetterebbe l'intervento originale e creativo di Dio nel mondo (Peacocke, Bartholomew). Riteniamo che all'origine di tali letture vi sia sempre la difficoltà a saper cogliere la simultanea trascendenza ed immanenza di Dio all'interno di una metafisica della creazione centrata sulle proprietà filosofiche dell'«atto di essere». Nei confronti della nozione di Dio, le riflessioni della scienza sulle leggi di natura desiderano da una parte prevenire, e giustamente, il pericolo di ingerenza di un Dio "controllore", che programmi la natura o vi agisca con intromissione di piani. Dall'altra, la riflessione scientifica non manca di percepire positivamente, pena l'autoreferenzialità, il carattere incondizionato, indisponibile delle leggi di natura: «da dove vengono?» (Davies), «chi ha infuso la vita nelle equazioni, chi vi ha "soffiato il fuoco"?» (Hawking). Se esiste un Creatore, in un caso si esige la sua trascendenza dal mondo; nell'altro, si scorge la necessità che ne sostenga, come causa immanente, l'intima vita e la ragione ultima. La possibilità di una simultanea affermazione dei due poli, e la garanzia di poter comporre tale dialettica, verrà solo dall'immagine di Dio consegnata dalla Rivelazione giudeo-cristiana.

3. *L'ineluttabilità delle leggi naturali ed il problema del male fisico.* In prospettiva teologica, il tema delle leggi di natura coinvolge indirettamente il problema del male, quando la loro ineluttabilità diviene causa di danni, distruzione e morte. È il problema del «male fisico», così chiamato per distinguerlo dal male morale, termine che la teologia riserva al peccato. La possibilità di un'eventuale "sospensione" delle leggi di natura viene affrontata all'interno della teologia del → miracolo. Qui ci si chiede perché un Dio, Autore delle leggi di natura, ne permetta l'azione anche quando i loro effetti sono distruttivi per l'ambiente e per l'uomo. In altri termini, ci si domanda come tale situazione sia riconducibile ad una visione biblica delle leggi naturali, manifestazione della fedeltà-amore del Creatore.

Svolta la necessaria premessa che tutto quanto nel mondo abbia attinenza con la sofferenza e con il dolore partecipa del mistero dell'umanità e della morte di Gesù Cristo e della Sua capitalità sia sulla prima che sulla nuova creazione (→ GESÙ CRISTO, RIVELAZIONE E INCARNAZIONE DEL LOGOS, II, III.1), e dunque, in prospettiva teologica, sofferenza e dolore devono mantenere la disponibilità ad essere compresi compiutamente solo nell'orizzonte di quel mistero e non fuori di esso, si possono ugualmente suggerire alcune piste di riflessione. In primo luogo andrebbe ricordato che l'azione di leggi di natura che possono causare un male fisico (terremoti, inondazioni, crescita di cellule cancerose, patologie virali, ecc.) è la medesima che permette la stabilità e la conservazione del mondo, o la crescita e la riproduzione dei viventi. Senza queste fenomenologie fisiche (ad es. la gravità) o questi comportamenti biologici (ad es. processi chimici o biochimici), l'universo e la vita non potrebbero sussistere. Il fatto che tali cause, forze o processi non vengano rimossi da un Legislatore nella cui provvidenza si confida, può condurre a due conclusioni. Da una parte fa comprendere la "radicalità" del rapporto instaurato da Dio con la sua creazione; un rapporto in cui la fedeltà alle leggi create (che è, lo ricordiamo, fedeltà a Se stesso) ha un valore più grande, per il bene del mondo e dei suoi abitanti, di una loro eventuale e continua sospensione, trasformazione o alterazione. Dall'altra deve muovere a ritenere che il rapporto fra Dio e la natura creata, rapporto che "passa" attraverso l'umanità del Verbo incarnato, soggetta alla morte ma anche alla → resurrezione, preveda il modo, proprio alla luce di quel mistero, di dare significato e valore al dolore, alla sofferenza, alla caducità, in ragione di una trasfigurazione futura.

In secondo luogo, è lo stesso ordine e stabilità delle leggi naturali, la cui azione può divenire fonte di angoscia e di disperazione, a suscitare nell'uomo quei sentimenti di abbandono e di fiducia verso un Creatore, che aiutano a sperare in una trasfigurazione ed in un superamento del dolore in

termini di rinnovamento, di restaurazione e di giustizia. Non è senza interesse notare che proprio una delle pagine bibliche che trattano con maggior drammaticità e vivezza della sofferenza umana, quella del *Libro di Giobbe*, sia anche sede di uno dei richiami più belli alla fiducia, nonostante tutto, nella bontà del Creatore. Al protagonista che chiede ragione del perché del male fisico che lo ha duramente provato, fino a volerne sentenziare l'orribile ingiustizia, Dio chiede di uscire all'aperto e contemplare la bellezza della creazione, delle sue leggi, della sua armonia (cfr. i discorsi raccolti in *Gb* da 37,14 a 40,4): l'uomo non può "darsi ragione" del male fisico, ma la natura creata, retta da quelle stesse leggi che a volte possono causarlo, lo aiuta a comprendere che tale ragione esiste, nella volontà sapiente del suo Creatore.

Giuseppe Tanzella-Nitti

Vedi: AUTONOMIA; COMPLESSITÀ; CREAZIONE; DETERMINISMO/INTEDETERMINISMO; EPISTEMOLOGIA; FINALITÀ; NATURA; REALISMO; TEMPO.

Bibliografia:

Storia e filosofia della scienza: J. STUART MILL, *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive* (1843), Univ. of Toronto Press, Toronto 1973; E. BOUTROUX, *Dell'idea di legge naturale nella scienza e nella filosofia contemporanea* (1895, 1925²), Signorelli, Milano 1956; R. WESTFALL, *The Concept of Order*, Univ. of Washington Press, Seattle-London 1968; J. MARITAIN, *La filosofia della natura*, Morcelliana, Brescia 1974; P. DUHEM, *La teoria fisica* (1906), Il Mulino, Bologna 1978; R. THOM, *Stabilità e morfogenesi*, Einaudi, Torino 1980; N. CARTWRIGHT, *How the Laws of Physics Lie*, Oxford Univ. Press, Oxford 1983; D.M. ARMSTRONG, *What is a Law of Nature?*, Cambridge Univ. Press, Cambridge 1983; J.J. SANGUINETI, *La filosofia del cosmo in Tommaso d'Aquino*, Ares, Milano 1986; G.C. WEBSTER, B.C. GOODWIN, *Il problema della forma in biologia*, Armando, Roma 1988; M. ARTIGAS, J. SANGUINETI, *Filosofia della natura*, Le Monnier, Firenze 1989; M. ARTIGAS, *La intelegibilidad de la naturaleza*, Eunsa, Pamplona 1992; F. SELVAGGI, *Filosofia del mondo*, Pont. Univ. Gregoriana, Roma 1993, cap. 17: "Le leggi della natura", pp. 401-433; G. DEL RE, *Una chiave di lettura: l'essere e la verità come fondamenti della scienza*, in T. Torrance, *Senso del divino e scienza moderna*, LEV, Città del Vaticano 1992, pp. 5-37; M. CINI, *Un paradiso perduto. Dall'universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi*, Feltrinelli, Milano 1994; C.B. KAISER, *Creational Theology and the History of Physical Science: The Creationist Tradition from Basil to Bohr*, Brill, Leiden 1997.

Riflessioni del pensiero scientifico sulle leggi naturali: R. FEYNMAN, *La legge fisica*, Boringhieri, Torino 1971; I. PRIGOGINE, I. STENGERS, *La Nouvelle Alliance*, Gallimard, Paris 1979; R. THOM, *Stabilità e morfogenesi*, Einaudi, Torino 1980; F. DYSON, *Turbare l'universo*, Boringhieri, Torino 1981; C. VON WEIZSÄCKER, *Die Einheit der Natur*, Hanser, München 1981; G. NICOLIS, I. PRIGOGINE, *Le strutture dissipative. Auto organizzazine dei sistemi termodinamici di non equilibrio*, Sansoni, Firenze 1982; I. PRIGOGINE, *Dall'essere al divenire: tempo e complessità nelle scienze fisiche*, Einaudi, Torino 1986; J. POLKINGHORNE, *The Quantum World*, in "Physics, Philosophy and Theology. A Common Quest for Understanding", a cura di R. Russell, W.R. Stoeger, G.V. Coyne, LEV and Univ. of Notre Dame Press, Città del Vaticano 1988, pp. 333-342; G. ELLIS, *Major Themes in the Relation between Philosophy and Cosmology*, "Memorie della Società Astronomica Italiana" 62 (1991), pp. 553-605; J. BARROW, *Il mondo dentro il mondo*, Adelphi, Milano 1991; J. BARROW, *Teorie del tutto. La ricerca della spiegazione ultima*, Adelphi, Milano 1992; H. POINCARÉ, *Il valore della scienza* (1911), Dedalo, Bari 1992; R. RUSSELL, N. MURPHY, C. ISHAM (a cura di), *Quantum Cosmology and the Laws of Nature*, Vatican Observatory Publications and The Center for Theology and Natural Sciences, Città del Vaticano 1993; P. DAVIES, *The Intelligibility of Nature*, in ibidem, pp. 145-161; W.R. STOEGER, *Contemporary Physics and the Ontological Status of the Laws of Nature*, in ibidem, pp. 209-234; P. DAVIES, *La mente di Dio. Il senso della nostra vita nell'universo*, Mondadori, Milano 1993; S.A. KAUFFMANN, *The Origins of Order. Self-organization and Selection in Evolution*, Oxford Univ. Press, New York 1993; M. PLANCK, *La conoscenza del mondo fisico*, Bollati Boringhieri, Torino 1993; P. DAVIES, *Il cosmo intelligente. Le nuove scoperte sulla natura e l'ordine dell'universo*, Mondadori, Milano 1994; P. DAVIES, *Superforza*, Mondadori, Milano 1994; G. TANZELLA-NITTI, *The Aristotelian-thomistic Concept of Nature and the Contemporary Scientific Debate on the Meaning of Natural Laws*, "Acta Philosophica" 6 (1997), pp. 237-264; R. RUSSELL, W. STOEGER, F. AYALA (a cura di), *Evolutionary and Molecular Biology*, Vatican Observatory and

Center for Theology and Natural Sciences, Città del Vaticano - Berkeley 1998; J. BARROW, *Impossibilità. I limiti della scienza e la scienza dei limiti*, Rizzoli, Milano 1999.