

5a. Caso e probabilità

Erwin Schrödinger (1887-1961) il fisico austriaco fondatore della meccanica ondulatoria, premio Nobel nel 1933 con Paul Dirac, diceva: "...la ricerca in fisica ha mostrato, al di là di ogni dubbio, che l'elemento comune soggiacente alla coerenza che si osserva nella stragrande maggioranza dei fenomeni, la cui regolarità e invariabilità hanno consentito la formulazione del postulato di causalità, è il caso...".

Reciprocamente si può dire che sembra esservi un determinismo soggiacente ai sistemi caotici, che tende a emergere in seguito al comportamento "collettivo" di eventi tra loro indipendenti. L'esempio più semplice è quello della roulette. Non è possibile sapere in anticipo, al lancio della pallina, se essa si fermerà sul colore rosso o sul colore nero (a meno che la roulette sia truccata: ma qui si assume che non lo sia). Il risultato di un singolo evento è puramente casuale. Tuttavia se si lancia la pallina diciamo un miliardo di volte, possiamo avere la "certezza" che la metà delle volte essa si fermerà sul rosso e l'altra metà delle volte essa si fermerà sul nero.

In altri termini, quando ci si trova davanti a evento singolo quello che prevale è il *caso*; quando gli eventi sono molto numerosi, sembra esservi una *necessità* alla quale gli eventi finiscono con l'ubbidire. Questa è in estrema sintesi l'essenza della probabilità, ed è anche, detto per inciso, la chiave di lettura che la biologia moderna ha adottato per spiegare l'emergere spontaneo della *vita/necessità* dal *caos/caso* primordiale, come descritto da J. Monod [1].

Il sottile filo che lega la visione di Schrödinger (fisico) e di Monod (medico, anche lui premio Nobel) passa attraverso le scoperte dei fisici dei primi decenni di questo secolo, le cui conseguenze sono ancora oggi oggetto di approfondimento sia teorico sia sperimentale, e le cui conseguenze pratiche sono alla base dello sviluppo delle moderne tecnologie, che stanno aprendo la strada ad innovazioni di portata epocale (i calcolatori quantistici potrebbero essere ormai alle porte, mentre non è escluso che alcuni meccanismi, come quello che risiede alla base della memoria all'interno dei neuroni, siano realizzati a livello quantistico). Queste scoperte, che videro coinvolti Bohr, Einstein, lo stesso Schrödinger, e molti altri fisici, sono basate sull'osservazione che alcuni "strani" comportamenti della natura risultano descrivibili mediante leggi esprimibili solamente in termini probabilistici. L'argomento è di interesse fondamentale per comprendere fino in fondo come la probabilità sia uno strumento di conoscenza. L'unico scotto da pagare è quello di rinunciare alla "certezza", e di accettare una descrizione "probabilistica" degli eventi. Uno scotto pesante, che addirittura lo stesso Einstein inizialmente rifiutò, ma che con il passare dei decenni ha finito con l'essere progressivamente accettato.

Durante i primi millenni della cultura dell'uomo, e fino all'avvento della *scienza* moderna (in questo caso delle branche della matematica nota come *teoria della probabilità*), la soluzione al problema della previsione di eventi futuri è stata fornita dalla *magia*.

Si consideri un problema apparentemente banale, ma paradigmatico, come quello delle previsioni del tempo. Visto che vorrei fare un week-end al mare, ma vorrei evitare di trascorrerlo sotto la pioggia, e la domanda è: domani ploverà o no?

L'approccio magico, per rispondere a questa domanda, procede utilizzando un ragionamento analogico non basato su dati misurabili: il mago basa la previsione sulle sue capacità di "intuire" il tempo che farà domani.

L'approccio scientifico "deterministico", quello che pretende di avere previsioni "certe", si differenzia da quello magico per il fatto che la previsione non viene effettuata sulla base di una "intuizione", bensì sulla base di dati misurabili e di leggi/modelli in forma matematica. Si misura la temperatura, la pressione atmosferica, si elaborano modelli matematici della circolazione atmosferica, sulla base dei quali si prevede il tempo che farà domani. Tuttavia si scopre che la previsione, per quanti sforzi siano fatti in termini di numero dei dati misurati dai quali si parte, e di complessità dei modelli matematici utilizzati, non porta mai alla "certezza". E la visione scientifica deterministica, quella per intenderci della fisica di Newton, per la quale la scoperta di alcune delle leggi fondamentali che governano la natura (la legge di gravitazione) fa intendere il cosmo come un gigantesco orologio rigorosamente determinato nelle sue funzioni, deve lasciare il passo ad una visione scientifica probabilistica, e ad una interpretazione probabilistica dei problemi [in realtà, come ormai dovrebbe essere chiaro da quanto finora detto, lo sviluppo dell'approccio scientifico probabilistico non è dovuto alla meteorologia, bensì alla scoperta dei fisici: in particolare alla scoperta delle leggi che governano la natura a livello degli elementi fondamentali che la costituiscono (*atomi e quanti*)] [2].

Ecco quindi il significato profondo della frase di E. Schrödinger precedentemente citata. La "...coerenza che si osserva nella stragrande maggioranza dei fenomeni, la cui regolarità e invariabilità hanno consentito la formulazione del postulato di causalità...", ha portato a Newton e i primi scienziati a vedere il cosmo come un orologio perfettamente determinato. Data l'assoluta regolarità e apparente inviolabilità delle leggi che governano il moto dei corpi celesti, è "realmente" possibile prevedere con 72 anni di anticipo il ripresentarsi della cometa di Halley, e la presenza di Plutone può essere prevista dallo studio delle perturbazioni del pianeta Urano molti anni prima che Plutone venga effettivamente osservato, esattamente nella posizione prevista. A livello *macroscopico* il principio di causalità funziona, al punto da divenire un postulato: il che implica una dichiarazione di certezza "a priori" della sua validità. Tuttavia a partire dai primi del '900, la fisica scopre che le leggi che governano il comportamento degli elementi ultimi che costituiscono la materia/energia dell'universo, possono essere descritte solamente mediante formulazioni di tipo probabilistico. A livello *microscopico* (intendendo con ciò, come detto, atomi e quanti) "...l'elemento comune soggiacente...è il caso...". Ad esempio l'orbitale, che descrive il moto di un elettrone attorno al nucleo di un atomo, è una funzione d'onda che fornisce la probabilità di "trovare" l'elettrone.

Il percorso che ha portato dalla spiegazione magica della realtà alla spiegazione della realtà data dalle leggi della scienza "deterministica" applicabile al mondo macroscopico, prima, e alla spiegazione della realtà data dalle leggi della scienza "probabilistica" applicabile al mondo microscopico, poi, è come detto una delle avventure più straordinarie del pensiero umano. Ed è anche stato il percorso che ha portato allo sviluppo delle tecnologie che stanno alla base del mondo in cui viviamo. La *teoria dei quanti* è rigorosamente probabilistica: ma senza di essa, ad esempio, non esisterebbe la microelettronica, e non esisterebbe il PC su cui sto scrivendo.

Il rapporto tra l'approccio fornito dalla concezione magica e l'approccio fornito dalla concezione scientifica nei confronti del problema della previsione di eventi futuri, è illustrato qui di seguito:

<i>L'approccio</i>	<i>Lo strumento di previsione</i>	<i>Utilizzo di dati misurabili</i>	<i>Il livello cui si applica</i>	<i>La previsione</i>
Magia	Intuizione	No	Macroscopico	Apparentemente “certa”, se si accettano in modo fideistico previsioni del mago. Ma si può dimostrare che anche i migliori maghi sbagliano.
Scienza	Modello matematico deterministico	Si	Macroscopico	“Certa” in riferimento ad eventi come il moto degli astri nelle orbite determinate dalla legge di gravitazione, e a <i>quasi tutte</i> le leggi che governano il mondo macroscopico.
	Modello matematico probabilistico	Si	Macroscopico	“Probabilistica” in riferimento ad eventi complessi come la circolazione dell'atmosfera (previsioni del tempo).
		Si	Microscopico	“Probabilistica” in riferimento agli eventi che caratterizzano elementi ultimi che costituiscono la materia/energia (teoria atomica e teoria dei quanti).

Per meglio illustrare questi concetti, e le loro profonde implicazioni, bisogna ora necessariamente fare un passo indietro, riconsiderando il problema del lancio della moneta, e la domanda “al prossimo lancio uscirà testa o croce?”.

In merito a questa domanda, il rapporto tra concezione magica, visione deterministica e visione probabilistica è illustrato qui di seguito:

<i>La domanda</i>	<i>Lo strumento di previsione</i>	<i>La previsione</i>
Testa o croce?		
	La magia	Può sembrare che funzioni
	La risposta deterministica (conclusione “certa”)	Funziona solo se la moneta è truccata (in questo caso lanciando in un modo particolare la moneta è possibile ottenere “deterministicamente” (con certezza) un certo risultato.
	La risposta probabilistica (conclusione “probabile”)	Ci consente di affermare che, se il risultato di un singolo lancio è imprevedibile (legato al caso), a lungo andare metà delle volte uscirà testa e l'altra metà delle volte uscirà croce (necessità), e di esprimere quindi il risultato del lancio della moneta in termini di probabilità (la probabilità che in un dato lancio esca testa è identica alla probabilità che esca croce, ed è $p = 0,5$)

Per approfondire ulteriormente il significato insito nella rinuncia alla visione deterministica e il passaggio ad una risposta probabilistica, si consideri ora di nuovo la domanda “domani poverà o no?”.

Lo speaker che illustra le previsioni del tempo dice “domani generalmente soleggiato con possibilità di piovachi”. Si tratta di un modo colloquiale di esprimere una probabilità, diciamo (i valori effettivi di p sono ovviamente qui irrilevanti) del 90% ($p = 0,90$) che faccia bello e del 10% ($p = 0,10$) che piova. Lo speaker afferma in questo modo che, date condizioni meteorologiche quali

quelle odierne, e date 100 osservazioni del tempo che ha fatto l'indomani, si è osservato che 90 volte l'indomani ha fatto bello e che 10 volte l'indomani ha piovuto.

La mia domanda diventa allora “ Visto che vorrei fare un week-end al mare, ma vorrei evitare di trascorrerlo sotto la pioggia, mi piacerebbe tanto sapere: *ma domani è uno dei 90 giorni che farà bello o è uno dei 10 che giorni che piovverà?*”. Ebbene, come ormai dovrebbe essere chiaro, essendo la risposta di tipo probabilistico, la mia legittima pretesa di certezza non potrà mai essere soddisfatta. Il rapporto tra concezione magica, visione deterministica e visione probabilistica è ulteriormente sintetizzato qui di seguito:

<i>La domanda</i>	<i>Lo strumento di previsione</i>	<i>La previsione</i>
Domani pioverà?		
	Intuizione (<i>magia</i>)	Può sembrare che funzioni.
	Modello matematico “deterministico” (<i>conclusione “certa”</i>)	Non è possibile.
	Modello matematico “probabilistico” (<i>conclusione “probabile”</i>)	Ci consente di affermare che (ad esempio) domani c'è il 90% di probabilità che faccia bello e il 10% di <i>probabilità</i> che piovva, rinunciando peraltro alla <i>certezza</i> di sapere se domani sarà uno dei 90 giorni che fa bello o piuttosto uno dei 10 giorni che piovverà.

La famosa espressione attribuita ad A. Einstein “...*non posso credere che Dio giochi ai dadi...*” si riferisce proprio a questo. Alla difficoltà che si incontra nell'accettare che buona parte delle leggi di natura siano intrinsecamente probabilistiche. Eppure il paradosso del mentitore, il teorema di Gödel e l'epistemologia di Karl Popper ci confermano che deve essere così.

- [1] Monod J. *Il caso e la necessità. Saggio sulla filosofia naturale della biologia contemporanea*. EST Edizioni Scientifiche e Tecniche Mondadori, 1972.
 [2] Barrow JD. *Il mondo dentro il mondo*. Adelphi, 1991.