

## Riferimenti bibliografici

- Brasier C. (1992), "A champion thallus", *Nature*, 356, pp. 382-383.
- Giovanetti M., Citernesi A. S. (1993), "Time-course of appressorium formation on host plants by arbuscular mycorrhizal fungi", *Mycological Research*, 97, pp. 1140-1142.
- Giovanetti M., Sbrana C., Avio L., Citernesi A. S., Logi C. (1993), "Differential hyphal morphogenesis in arbuscular mycorrhizal fungi during pre-infection stages", *The New Phytologist*, 125, pp. 587-594.
- Giovanetti M., Gianinazzi-Pearson V. (1994), "Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi", *Mycological Research*, 98, pp. 705-715.
- Giovanetti M., Sbrana C., Logi C. (1994), "Early processes involved in host recognition by arbuscular mycorrhizal fungi", *The New Phytologist*, 127, pp. 703-709.
- Giovanetti M., Sbrana C., Citernesi A. S., Avio L. (1996), "Analysis of factors involved in fungal recognition responses to host-derived signals by arbuscular mycorrhizal fungi", *The New Phytologist*, 133, pp. 65-71.
- Grime J.P., Mackey J.M.L., Hillier S.H., Read D.J. (1987), "Floristic diversity in a model system using experimental microcosms", *Nature*, 328, pp. 420-422.
- Harley J.L., Smith S.E. (1983), *Mycorrhizal symbiosis*, Academic Press, London.
- Martins M.A. (1993), "The role of the external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi in the carbon transfer process between plants", *Mycological Research*, 97, pp. 807-810.
- O'Neill E.G., O'Neill R.V., Norby R.J., "Hierarchy theory as a guide to mycorrhizal research on large-scale problems", *Environmental Pollution*, 73, pp. 271-284.
- Pirozynski K.A. (1981), "Interactions between fungi and plants through the ages", *Canadian Journal of Botany*, 59, pp. 1824-1827.
- Read D.J. (1991a), "Mycorrhizas in ecosystems", *Experientia*, 47, pp. 376-391.
- Read D.J. (1991b), "Mycorrhizas in ecosystems - Nature's response to the 'Law of the Minimum'", in D.L. Hawksworth (a cura di) (1991), *Frontiers in Mycology*, C.A.B. International, U.K., pp. 101-130.
- Sanders F.E., Tinker P.B.H. (1973), "Phosphate inflow into mycorrhizal roots", *Pesticide Science*, 4, pp. 385-395.
- Simon H.A. (1962), "The architecture of complexity", *Proceedings American Philosophical Society*, 106, pp. 467-482.
- Simon L., Bousquet J., Levesque R.C., Lalonde M. (1993), "Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants", *Nature*, 363, pp. 67-69.
- Smith M.L., Bruhn J.N., Anderson J.B. (1992), "The fungus *Armillaria bulbosa* is among the largest and oldest living organisms", *Nature*, 356, pp. 428-431.
- Tisdale J.M., Oades J.M. (1979), "Stabilization of soil aggregates by the root system of rye grass", *Australian Journal of Soil Research*, 17, pp. 429-444.

## 10. L'informazione in meccanica quantistica

di Gennaro Auletta

L'applicazione del concetto di informazione in Meccanica Quantistica (MQ) ha prodotto i risultati teorici più interessanti di questo decennio nell'ambito di tale disciplina e alcune ricadute scientifiche e tecnologiche di significato generale. Qui di seguito ci limitiamo a segnalare brevemente e in forma non tecnica alcuni dei punti più interessanti.

### 1. Quantum Computation

Iniziamo dalla quantum computation (diremmo "l'informatica quantistica"). L'effetto quantistico che stupisce maggiormente chi si avvicina alla MQ è la *sovrapposizione*. Gli oggetti macroscopici si trovano (almeno all'apparenza) in stati che sono sempre "univoci". Ad esempio, se qualcuno intende entrare in una stanza dove ci sono due porte, lo farà o dall'una o dall'altra e mai da tutte e due insieme; un vaso occupa una certa posizione su un tavolo e mai contemporaneamente un'altra su un davanzale. A livello quantico, invece, vale che, se un sistema microscopico può essere in uno stato (ad esempio può passare attraverso una fenditura di un muro oppure può occupare una certa posizione nello spazio) o in un altro (può passare attraverso un'altra fenditura oppure può occupare un'altra posizione nello spazio), allora può trovarsi anche in qualsiasi combinazione (lineare) di entrambi (o più) stati. In altre parole è come se una singola particella occupasse diversi posti contemporaneamente o passasse attraverso più buchi allo stesso tempo - è quello che viene chiamato comunemente *comportamento ondulatorio*.

Questo effetto, che in sé potrebbe sembrare una limitazione, se non una mostruosità - e nel passato, anche recente, è stato spesso inteso in

entrambi i sensi – nelle nuove ricerche sull'informazione in MQ diventa invece fonte di prospettive inimmaginabili fino a poco fa (Bennett 1995). Infatti un computer "classico" (normale) si può trovare sempre in uno solo di due stati dicotomici della codificazione binaria (0 o 1: ad esempio, nel caso di una lettura di un testo, o legge 0 o legge 1). Ciò significa che il calcolo avviene passo dopo passo su un percorso in senso letterale lineare – cioè lungo una linea; nel caso classico stocastico c'è una ramificazione, ma si tratta di una questione marginale ai fini del nostro discorso. Invece, per il principio di sovrapposizione, un computer quantistico potrebbe imboccare innumerevoli percorsi di calcolo parallelamente, portando con sé una quantità di informazione enormemente più grande di quella processata di volta in volta da parte di un analogo classico.

Ad esempio, uno dei problemi più grandi del calcolo è quello della fattorizzazione in numeri primi. Purtroppo, classicamente non esiste un algoritmo tale che si possa trovare rapidamente la soluzione al problema (detto in altri termini, a parte il caso dei numeri già fattorizzati, il computer classico deve dividere il numero di partenza per tutti i numeri naturali, l'uno dopo l'altro, un'operazione che per grandi numeri può richiedere mesi, anni, etc.). Ora un teorema matematico equipara la ricerca dei fattori a quella dell'individuazione dei periodi di un'onda, e, come già sappiamo, le entità quantiche hanno un comportamento ondulatorio. Quindi in teoria, grazie a un'operazione matematica che si chiama "trasformata di Fourier", che ci permette di ottenere il periodo su un'onda quantica in sovrapposizione, potremmo ricavare in frazioni di secondo quanto classicamente richiede tempi enormemente più lunghi.

L'unico problema per la realizzazione di computer quantici è il fatto che i microsistemi, quando vengono a contatto con altri sistemi, soprattutto con sistemi molto grandi, perdono la sovrapposizione (un fenomeno chiamato "decoerenza") in tempi generalmente ben più brevi del calcolo stesso. Quindi, almeno allo stato attuale dei fatti, non si sa come "far durare" una macchina del genere. Tuttavia, gli straordinari e quotidiani progressi in questa disciplina lasciano sperare che si possa arrivare a una soluzione in un futuro non troppo lontano (forse qualche anno).

## 2. Crittografia e teleportation

Un altro fenomeno quantico che non ha alcun omologo in ambito classico è quello delle correlazioni non-locali. Sempre per il carattere es-

senzialmente ondulatorio delle entità quantiche, accade che, anche in assenza di interazione, sistemi quantici non sono necessariamente separabili, ma mantengono una forma di interdipendenza, le correlazioni per l'appunto (Bell 1966). Se due particelle vengono emesse da una fonte comune (ad esempio, attraverso il decadimento di un'altra particella), e cessano di interagire tra di loro, di modo che classicamente si tratterebbe di due sistemi fisici separati (senza alcuna interdipendenza), quanticamente si comportano ancora come se fossero un solo sistema. Questo fenomeno di non-separabilità, dimostrato ormai ampiamente in laboratorio e posto su granitiche basi teoriche, si vede molto bene nel caso in cui le due particelle si trovano in uno stato di singoletto – con ciò si intende che lo spin, cioè il momento magnetico intrinseco proprio di molte particelle, nell'una particella è orientato in una direzione (ad esempio "up") che risulta essere opposta all'orientamento dello spin (in questo caso "down") della gemella. Ora due particelle in stato di singoletto, se non disturbate, conservano sempre questa interdipendenza, per cui, anche se distanti miliardi di anni luce l'una dall'altra, se, in base a una misurazione, lo spin dell'una dovesse risultare "up", quello dell'altra sarà necessariamente "down". Questo stato di inseparabilità delle due particelle viene convenzionalmente chiamato "stato EPR", dalle iniziali (Einstein/Podolsky/Rosen) degli autori di un articolo che è all'origine di questo filone di ricerca (Einstein *et al.*, 1935).

Si badi tuttavia che questa inseparabilità dei sistemi quantici non permette una trasmissione istantanea dell'informazione, in quanto i risultati della misura in MQ sono del tutto imprevedibili a meno che non si intervenga distruggendo lo stato che i sistemi avevano prima della misurazione. Per cui siamo posti di fronte all'alternativa o di effettuare una misurazione che distrugge lo stato di singoletto, e quindi l'interdipendenza (e in questo caso non possiamo più utilizzarla per trasmettere informazione), oppure di effettuare una misurazione che preserva sì lo stato ma il cui risultato non ci può essere noto *a priori*, né a noi né ad un eventuale nostro partner con cui desideriamo comunicare e che si trova in prossimità dell'altro "capo del telefono", cioè della particella gemella – e, dato che non sappiamo se otterremo "up" o "down", non possiamo nemmeno scambiare informazione istantaneamente, perché ciò presupporrebbe una codificazione e risultati deterministici nella comunicazione: potremmo ad esempio dire al nostro partner lontano, "guarda se ottieni 'down', allora ti abbiamo voluto comunicare '0', mentre se ottieni 'up', allora ti abbiamo voluto comunicare '1'".

Tuttavia una cosa possiamo farla: possiamo riprodurre a distanza perfettamente e in tutta segretezza un certo messaggio, pur non potendolo effettuare istantaneamente (Bennett *et al.* 1993). Supponiamo che una persona (convenzionalmente chiamata "Alice") desideri inviare un messaggio a un'altra persona (convenzionalmente "Bob"), messaggio che noi identifichiamo con lo stato di una certa particella, chiamiamola "1". Ora a questo scopo Alice fa interagire la 1 con una coppia di particelle in stato EPR (chiamiamole "2" e "3"), delle quali la 2 la conserva con sé mentre la 3 l'aveva già consegnata in precedenza a Bob. Ora se Alice effettua una misura sul sistema globale che comprende la 1, la 2 e la 3, e dice pubblicamente a Bob il risultato (che non implica affatto la conoscenza specifica dello stato di una qualsiasi delle tre particelle separatamente), costui può riprodurre perfettamente lo stato della 1 (che era il messaggio da trasmettere) sulla 3 (cioè lo stato della 3 diventa identico allo stato della 1) proprio sfruttando le correlazioni. Si noti che, mentre quest'ultima operazione si può effettuare "istantaneamente", l'informazione che Alice dà a Bob corre necessariamente su canali "classici" (telefono, internet, o altro), i quali tutti rispettano il limite della velocità della luce. È per questo motivo che, anche se la trasmissione è perfetta, l'intero processo non può essere mai istantaneo.

Ma si è fatto accenno al fatto che il messaggio viene anche perfettamente "secretato". La disciplina che si sta occupando con grande successo (e dietro la quale ci sono interessi enormi, ovviamente anche e soprattutto di tipo militare) di questo problema è la "Crittografia quantica" (Ekert, 1991). Pur essendo la crittografia quantica una faccenda un po' diversa dalla teleportation, intuitivamente si può dire che nessuno è in grado di carpire il messaggio trasmesso da Alice a Bob perché nessuno ha la coppia 1-2 o la particella 3, se non appunto Alice e Bob stessi, e che quindi nessuno è in grado di sfruttare quell'informazione trasmessa pubblicamente da Alice a Bob (cioè il risultato della misurazione sul sistema 1-2-3) per ricavare il messaggio "1", che qui interessa. D'altra parte, se qualcuno tentasse di interferire, per esempio cercando di "leggere" direttamente il messaggio "1" o almeno la particella "3", perturberebbe subito il sistema globale, provocando due risultati: a) Bob non potrebbe più ricostruire il messaggio 1, b) Alice e Bob capirebbero subito che ha interferito un terzo incomodo. Quindi al massimo l'incomodo impedirebbe la comunicazione, ma non riuscirebbe ad ottenere alcuna informazione positiva oltre a quella pubblicamente nota.

### 3. La misurazione senza interazione

Uno dei dogmi tradizionali della fisica è che non è possibile effettuare un'osservazione senza interferire o disturbare in qualche misura l'oggetto. Detto in altri termini: non ci può essere alcuna acquisizione di informazione senza una forma di interazione fisica. Questo assunto è stato formulato dal premio Nobel Dennis Gabor nei seguenti termini: non ci può essere alcuna osservazione senza che almeno un fotone non colpisca l'oggetto osservato (Kwiat *et al.*, 1997).

La MQ ha recentemente demolito del tutto questo dogma, teorizzando e poi realizzando per l'appunto misurazioni senza interazione. L'idea fondamentale è la seguente (Elitzur, Vaidmann, 1993). Si utilizza un apparecchio chiamato "interferometro", il quale (almeno nella versione Mach/Zehnder, che qui ci interessa) divide un fascio in entrata di fotoni (attraverso un "beam-splitter"), di modo che una componente continua il percorso in linea retta e l'altra viene deviata ad angolo retto. Poi, grazie a uno specchio, la componente deviata viene indirizzata su un percorso parallelo (chiamiamolo "1") a quello seguito dalla componente trasmessa e non deviata (chiamiamolo percorso "2"). Alla fine, grazie ad altri specchi e a un altro "beam splitter", le due componenti vengono rifuse e riseparate per andare, quindi, secondo due percorsi nuovamente ortogonali, a finire in due detectors (chiamiamoli "A" e "B"). La geometria dell'interferometro è tale che uno dei due detectors (diciamo "A") normalmente non riceve alcun fotone (riceve ciò che si chiama "interferenza distruttiva", cioè le valli o le bande oscure di un'onda), mentre l'altro riceve l'interferenza costruttiva (i picchi o le bande luminose). Ora, supponiamo di voler sapere se c'è un ostacolo sul percorso 1, e, a tale scopo inviamo un fotone alla volta nell'interferometro. Sappiamo che, per la sovrapposizione provocata dal primo separatore di fascio, il fotone non si troverà localizzato su un certo percorso ma si troverà in una combinazione di entrambi (1 e 2). È chiaro che, se c'è un ostacolo sul percorso 1, il fotone avrà il 50% di probabilità di venire assorbito dallo stesso, cosicché né il detector A né il detector B clickeranno nel 50% dei casi. Ma nell'altro 50% dei casi, e sempre supponendo che ci sia l'ostacolo, il fotone avrà imboccato il percorso 2 senza più sovrapposizione (impedita proprio dalla presenza dell'ostacolo sul percorso 1). Ora nel 25% dei casi finirà nel detector B e nel 25% dei casi nel detector A, a cui non sarebbe mai giunto senza la presenza dell'ostacolo. Quindi se il detector A clicca (e lo farà nel 25% dei casi), sappiamo con certezza che c'è un



ostacolo sul percorso  $I$  anche se nessun fotone lo ha "urtato". In recenti esperimenti, grazie a dispositivi un po' più complessi, questa probabilità è stata enormemente elevata (fino al 90% e oltre), come d'altra parte si iniziano a concepire esperimenti con fasci di molti fotoni paralleli in modo da non limitarsi solo a rilevare rozzamente un oggetto ma da poterlo anche "fotografare", associando un fotone a ogni pixel della "fotografia" (Kwiat *et al.*, 1995).

È evidente che la misurazione senza interazione, oltre all'enorme interesse teorico, apre possibilità tecnologiche prima impensabili e molto utili. Si potranno in sostanza "fotografare" materiali particolarmente delicati o comunque sensibili alla luce senza alterarli (antichi papiri e materiali fotosensibili in genere o parti organiche particolarmente delicate o nascoste), oppure si potrà "vedere nel buio" (non sfruttando l'infrarosso, ma in totale assenza di fotoni).

#### 4. Fondamenti della MQ

Ma l'informazione quantica sta anche rivoluzionando l'analisi dei fondamenti concettuali e matematici della disciplina. In pratica non c'è problema tradizionale che non possa essere tradotto in termini di teoria dell'informazione, e ci sono molti problemi fondamentali che ricevono nuova luce dall'impiego degli strumenti di questa.

Qui di seguito mi limito ad alcuni brevissimi esempi. Il primo, su cui mi dilungo un po' di più per la sua enorme importanza teorica, è il problema della misurazione.

È chiaro che la misurazione, come già abbiamo visto in precedenza, è essenzialmente un problema di acquisizione dell'informazione circa un sistema-oggetto. Basti qui dire che questo problema teorico, che non era stato risolto fino all'inizio degli anni Ottanta, ha potuto essere posto su basi teoriche del tutto nuove grazie alla teorizzazione (la teoria della decoerenza) di un incremento di entropia che si produrrebbe se i sistemi quantici da misurare vengono considerati come sistemi "aperti" (cioè in comunicazione con l'ambiente) e non chiusi, come si faceva tradizionalmente (Zurek, 1982). L'interpretazione tradizionale, cosiddetta "standard" (che, anche se non del tutto correttamente, possiamo qui considerare una variante di quella di Copenhagen), dovuta in particolare a von Neumann, postulava un salto – inspiegabile in MQ – che si produrrebbe nel corso di una misurazione da una sovrapposizione di valori possibili dell'indicatore

di un apparato di misura a un singolo valore (tecnicamente chiamato "autostato") della variabile (meglio: "osservabile") dell'apparato accoppiata alla variabile misurata. Ora, grazie alla nuova impostazione, le cose possono essere risolte in modo molto più soddisfacente. Infatti, come si è detto, misurare significa ricavare informazione. Un sistema quantico in uno stato che viene chiamato puro – che comprende la sovrapposizione rispetto all'osservabile misurato – ha un'entropia, cioè una misura del disordine energetico oppure dell'informazione potenziale, evanescente (diciamo zero). In sostanza si tratta di stati altamente ordinati ma da cui non si può ricavare alcuna informazione utile in quanto consistono di correlazioni (abbiamo già visto quelle EPR, ma qui il termine si usa nel senso più generale di distribuzioni di probabilità non fattorizzabili, cioè non indipendenti). In pratica, come si è detto, se si considera la posizione spaziale del sistema e c'è sovrapposizione, nessuna traiettoria è determinata e indipendente dall'altra, il che non ci dà alcuna informazione utile. Ora, collegando il sistema-oggetto e l'apparato di misura all'ambiente (il che avviene di fatto in qualsiasi misurazione reale), otteniamo un aumento di entropia in quanto il sistema "scarica" nell'ambiente le correlazioni, che rappresentano l'informazione inutile. Dopo questo passaggio resta ciò che si chiama tecnicamente una "miscela statistica" di autostati dell'osservabile misurato e del relativo osservabile dell'apparato, cioè un insieme di valori possibili accoppiati *determinati*, dove ogni coppia di valori è *separata* da un'altra. In principio si tratta della stessa situazione di un dado da gioco classico, dove la distribuzione di probabilità è tale che la probabilità di ottenere un "cinque" non "interferisce" con quella di ottenere un "sette", anche se *a priori* non si può sapere cosa si otterrà. Quindi il sistema è ora più disordinato ma contiene anche informazione potenziale utile, che si può effettivamente ricavare con una misurazione. Tale descrizione è la conferma di un fondamentale assunto filosofico: che conoscere è separare.

Molto interessanti sono anche le novità per un principio così basilare per la MQ come il principio di indeterminazione (Maassen, Uffink, 1988). Tradizionalmente esso si faceva risalire (grazie anche alle analisi di chi lo ha formulato, cioè Heisenberg) a una perturbazione di un osservabile, ad esempio la posizione, grazie alla misurazione più o meno esatta del valore di un altro osservabile, ad essa "coniugato", ad esempio la velocità (sarebbe meglio parlare di "impulso"). Quindi si sarebbe trattato essenzialmente di un fenomeno di interazione fisica. Se le cose stessero così, il principio non avrebbe alcuna applicazione nella misurazione senza interazione (e invece ce l'ha), oppure in quella classe di misura-

zioni con minima perturbazione chiamate "Quantum non-demolition measurements" (ed anche qui ce l'ha). Quindi si è visto che il principio formula in realtà delle condizioni generali che tutte le variabili (o osservabili) della MQ debbono rispettare, condizioni che per l'appunto si formulano in tutta generalità in termini informativi (e così si chiamano le nuove formulazioni del principio).

Strettamente legata a quest'ultimo punto è la complementarità tra comportamento particellare e comportamento ondulatorio (Englert, 1996): questi due comportamenti non vengono più interpretati (come si faceva tradizionalmente) come due "poli" tali da produrre una secca alternativa sì/no, ma come due estremi di una ricca gamma di comportamenti intermedi che possono essere interpretati come maggiore o minore acquisizione di informazione circa la posizione della entità quantica (cioè di maggiore o minore localizzazione), e quindi di maggiore o minore corpuscolarità o ondulatorietà (Zeilinger, 1986).

Un altro punto di estremo interesse è legato alla problematica degli stati EPR. Dato che abbiamo detto che (ad esempio ma non necessariamente) una coppia di particelle in stato EPR non è separabile, mentre una coppia di "particelle classiche" lo è, sorge legittima la domanda se c'è modo di misurare il grado di separazione. Questo modo c'è ed è appunto esprimibile in termini di informazione (Schumacher, 1991).

## 5. Alcune brevi considerazioni scientifiche e filosofiche

Qual'è la più importante novità scientifica che ci apporta l'approccio "informativo"? Implicitamente l'ho già detto parlando della quantum computation: ci insegna a non "subire" le stranezze del mondo quantico ma a sfruttare per ridisegnare i confini di una scienza che si presenta come una generalizzazione della meccanica classica. Infatti Bohr (e la scuola di Copenhagen con lui) hanno teorizzato (Postulato quantico) l'esistenza di una specificità del mondo quantistico che lo distinguerebbe del tutto da quello macroscopico: l'impossibilità del continuo (per alcuni aspetti) e l'esistenza di salti. Ora questa frattura tra meccanica classica e quantistica deriva interamente da due postulati, assunti dalla prima e universalmente riconosciuti all'epoca di Bohr.

Secondo il primo di essi, due variabili (chiamate "canoniche coniugate"), che in QM sono collegate da una relazione di indeterminazione, diciamo posizione e velocità (ma sarebbe meglio parlare di "impulso"), in

meccanica classica avrebbero entrambe un valore determinato allo stesso tempo. Questa assunzione è chiaramente del tutto arbitraria se si tiene conto del fatto che la velocità non si misura mai in un punto ma sempre in un intervallo di spazio, e quindi con una posizione in parte indeterminata, come, reciprocamente, misurando la posizione in un punto determinato ci sfugge del tutto la dinamica dell'oggetto e quindi la sua velocità (Landberg, 1988). Lo stesso Bohr aveva segnalato l'impossibilità di misurare al tempo stesso posizione e velocità anche in meccanica classica (Bohr, 1949), il che è però ovviamente una condizione meno restrittiva e tutto sommato controllabile nel quadro della meccanica classica. In conclusione la meccanica classica appare come un caso-limite della MQ laddove si assume una indeterminazione zero di una coppia di variabili coniugate – come la geometria euclidea è il caso limite di un'infinita gamma di geometrie non-euclidee laddove si assume un piano a curvatura zero (piatto).

L'altro postulato è che l'errore nel corso di una misurazione possa essere ridotto tendenzialmente a zero. Non c'è alcun motivo di supporre qualcosa del genere – e, infatti, recenti sviluppi della meccanica classica fanno a meno di questo postulato. Aumentando il livello di precisione delle misure e quindi analizzando in dettagli sempre più fini la realtà che ci circonda, si provoca anche un accrescimento di perturbazione. Cosicché una maggiore precisione si paga anche con un incremento di opacità, che alla lunga si traduce in imprecisione.

D'altra parte, la transizione morbida tra comportamento particellare e ondulatorio permette di superare anche quella concezione secondo cui la MQ sarebbe caratterizzata da un'alternativa sì/no e quindi da salti altrimenti inspiegabili. In effetti, almeno in alcuni casi, i salti quantici possono essere concepiti come conseguenza del passaggio dei sistemi quantici attraverso un doppio filtro: il primo permette il passaggio di tutti i sistemi approssimativamente di un certo tipo (e questo corrisponde alla transizione morbida), mentre il secondo pone la secca alternativa sì/no, costringendo una parte di essi ad "appiattirsi" sul sì e un'altra ad "appiattirsi" sul no (Auletta, 1997). Tecnicamente nel primo caso facciamo uso di "effetti" e nel secondo caso di "proiettori".

## Riferimenti bibliografici

- Auletta G. (1998), *Foundations and interpretation of quantum mechanics. A treatise* (di prossima pubblicazione).
- Bell J.S. (1966), "On the problem of hidden variables in quantum mechanics", *Review of Modern Physics*, 38, pp. 447-52.
- Bennett C.H. (1995), "Quantum information and computation", *Physics Today* 48, pp. 24-30.
- Bennett C.H. et al. (1993), "Teleporting an unknown quantum state via dual classical and EPR channels", *Physical Review Letters*, 70, pp. 1895-99.
- Bohr N. (1949), "Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics", in Schilpp A. (a cura di), (1949; 1988, III ed.), *Albert Einstein. Philosopher-scientist*, Open Court, La Salle (Illinois).
- Cini M. (1983), "Quantum theory of measurement without wave packet collapse", *Nuovo Cimento*, 73b.
- Einstein A. et al. (1935), "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?", *Physical Review*, 47, pp. 777-80.
- Ekert A.K. (1991), "Quantum cryptography based on Bell's theorem", *Physical Review Letters*, 67, pp. 661-63.
- Elitzur A.C., Vaidmann, L. (1993), "Quantum mechanical interaction-free measurements", *Foundation of Physics*, 23, pp. 987-97.
- Englert B. (1996), "Fringe visibility and which-way information: An inequality", *Physical Review Letters*, 77, pp. 2154-57.
- Kwiat P. et al. (1995), "Interaction-free measurement", *Physical Review Letters*, 74, pp. 4763-66.
- Kwiat P. et al. (1997), "Vedere nel buio con la meccanica quantistica", *Le Scienze* (febbraio).
- Landsberg P.T. (1988), "Why quantum mechanics?", *Foundations of Physics*, 18, pp. 969-82.
- Maassen, H., Uffink, J.B.M. (1988), "Generalized entropic uncertainty relations", *Physical Review Letters*, 60, pp. 1103-106.
- Schumacher B.W. (1991), "Information and quantum nonseparability", *Physical Review*, A44, pp. 7047-52.
- Zeilinger A. (1986), "Complementarity in neutron interferometry", *Physica*, 137B, pp. 235-44.
- Zurek, W.H. (1982), "Environment-induced superselection rules", *Physical Review*, D26, pp. 1862-80.

## 11. Metafore e realtà: il caso del concetto di informazione

di Elena Gagliasso

### 1. La giustificazione dei concetti

I nomi e le cose. L'invenzione, la convenzione, la denominazione e la realtà. Su questo tema due criteri attraversano, non tanto l'epistemologia come nasce agli inizi del secolo, per regolamentare e definire il metodo scientifico, ma l'intera storia del pensiero dell'Occidente.

La felice coincidenza dei saperi prerinascimentali tra il nome e la cosa s'incrina di pari passo con l'incrinarsi dell'idea di un Creatore, creatore ad un tempo delle cose e del loro nome naturale e scompare il legame biunivoco che iscriveva nella cosa la sua stessa nominabilità, e dunque la sua predicabilità e conoscenza (Foucault, 1967).

Al suo posto, con la nuova scienza, si apre una rete di relazioni problematiche. Tra la realtà e la sua conoscibilità sorge la figura terza di un soggetto, che implicitamente sostituendosi all'Autore divino si fa, se non ancora autore esso stesso di tutto il reale (anche se questo si delinea presto come l'altra tensione che pervaderà il conoscere come ri-produzione incessante, ri-creazione artificiale), quantomeno legiferatore e costruttore dei concetti che tendono a rispecchiare esattamente la natura delle cose.

La riflessione epistemologica parte proprio dalla constatazione di queste reti di relazioni nominali. L'attenzione al modo in cui sono giustificabili e alle regole di giustificazione dei concetti come termini teorici, imposta la prima fase, astratta e formale, della filosofia della scienza, fino al crinale rappresentato da Wittgenstein. Wittgenstein sposta la domanda sul "senso" dei concetti scientifici. "Dei nomi, di ciò che designa gli oggetti empirici non è possibile dare alcuna definizione, ma solo chiarificazioni" (Wittgenstein, 1989, p. 29).

Fintantoché il concetto scientifico interessa unicamente come simbo-