

Silvia Salese

## **LO STRAORDINARIO MONDO DEI QUANTI – FATTI E MISFATTI**

*La scienza ha promesso all'uomo potere... ma, come spesso succede quando la gente viene sedotta da simili promesse, il prezzo è la schiavitù e l'impotenza. Il potere non è nulla se non è potere di scelta.*

Joseph Weizenbaum,  
Computer Power and Human Reason.

Per prima cosa vorremmo pregare il lettore che si avvicina per la prima volta alla fisica quantistica, di non scoraggiarsi. Di non pensare, ad un certo punto, "bhè, non ci capisco niente, e tanto queste cose non mi possono riguardare", perché non è così: il mondo dei quanti ci riguarda come forse nessuna scoperta scientifica ha mai fatto, e se solo più persone lo prendessero in considerazione, assisteremmo alla più straordinaria rivoluzione che mai sia stata vista negli ultimi secoli.

Al lettore che invece si è già interessato alla meccanica delle particelle subatomiche, e che certamente si ritrova un po' sconcertato da quanto ha studiato, consigliamo di passare direttamente alla seconda parte dell'articolo, non certo per trovare delle risposte (che, qualora ci fossero, non potrebbero che far sorridere..), quanto per condividere con noi l'imbarazzante situazione in cui tutti, a questo punto, ci troviamo.

### **1. STORIA DI CAMBIAMENTI, INDETERMINAZIONI E INCERTEZZE SCIENTIFICHE**

#### **1.1. LA STRANA NATURA DELL'ATOMO**

Tutto è cominciato più di cento anni fa, quando Max Planck si mise in testa di risolvere il problema del cosiddetto corpo nero.

Viene definito "corpo nero" qualsiasi oggetto capace di assorbire tutte le radiazioni elettromagnetiche che riceve emettendone altrettante. Il problema legato a questa loro proprietà è che, in accordo con i canoni della fisica classica, ci si aspettava che ad un certo punto, riscaldando il metallo a

temperature sempre più elevate, esso emettesse radiazioni ad intensità sempre maggiori, fino a raggiungere la catastrofe ultravioletta (un'emissione di enormi quantità di energia nelle frequenze più elevate dello spettro).

Tuttavia, non si verificava alcuna catastrofe: le osservazioni del corpo nero riscaldato mostravano che le radiazioni da esso emesse raggiungevano un massimo di intensità ad una data frequenza, e che, invece di provocare la catastrofe, tendeva a zero a frequenze ancora più elevate.

Nel 1900 Planck risolse l'enigma, suggerendo che le radiazioni non potevano essere emesse ad un ritmo arbitrario, ma solo in quantità ben determinate, e cioè sotto forma di multipli interi di un'unità fondamentale di energia: il quanto.

Precisamente, visto che ogni quanto possedeva una certa quantità di energia tanto maggiore quanto più elevata era la frequenza delle onde, ad una frequenza sufficientemente alta l'emissione di un singolo quanto avrebbe richiesto una quantità di energia più grande di quella disponibile. Per questo motivo ad alte frequenze la radiazione si riduceva e quindi il corpo perdeva energia a un ritmo finito: per le onde radio, che hanno una bassa frequenza, il quanto sarà infatti molto piccolo, mentre per la luce visibile sarà molto più grande e ancora di più per la luce ultravioletta.

Questo spiega dunque l'effetto osservato del corpo nero: visto che la radiazione ultravioletta deve essere emessa per multipli del suo quanto, che abbiamo visto essere però molto grande, l'energia disponibile si distribuisce allora su quanti più accessibili, cioè a frequenze maggiori, evitando dunque la catastrofe ultravioletta.

Bernstein per chiarire questa situazione, scrive:

per capire come mai ciò costituisca un problema, [...] supponiamo di avere a che fare, anziché con la radiazione, con la birra e pensiamo a come funziona la compravendita della birra. Non c'è ragione di supporre che una legge di natura ci impedisca di comprarne o venderne una quantità qualsiasi [...], e non c'è niente che ci impedisca di usare un trentaduesimo di

litro o anche un fratto radice due di litro, se ne abbiamo voglia. Ora, è proprio questa libertà che Planck dovette abbandonare per derivare la sua formula; in altre parole, fu costretto a supporre che la sua birra (la radiazione) potesse essere "comprata" o "venduta" solo in multipli interi di un'unità fondamentale di energia: quella che ha poi preso il nome di "quanto di energia".

Nel 1913 Niels Bohr chiarì la configurazione degli atomi dei quali, secondo la descrizione che ne aveva dato Rutherford, non si spiegava come mai possedessero solo alcune frequenze caratteristiche, e non tutte le frequenze possibili. Da cosa dipendeva, in pratica, la loro identità atomica?

Bohr mise in luce che gli elettroni di un atomo non potessero ruotare attorno al nucleo su orbite qualsiasi, ma solo su strati che stanno a distanze ben determinate dal nucleo, e precisamente su orbite dal valore quantizzato la cui azione, quindi, è uguale ad un multiplo intero della costante di Planck.

Il modello di Bohr rese perfettamente chiaro il funzionamento dell'atomo sul quale egli lavorò, quello di idrogeno, caratterizzato dal fatto di possedere un solo elettrone. Ciò che risultò mancante al suo modello atomico, fu la possibilità di definire il funzionamento di atomi con più di un elettrone e la spiegazione di alcune caratteristiche qualitative che mostrava lo spettro dello stesso idrogeno.

Per risolvere in maniera definitiva il problema della struttura dell'atomo, negli anni '20 Bohr fondò a Copenaghen un Istituto di Fisica Teorica nel quale lavorarono fisici che sarebbero presto passati alla storia; tra i nomi di maggior spicco di questo gruppo internazionale c'erano il francese De Broglie, gli austriaci Schrödinger e Pauli, il tedesco Heisenberg e l'anglosassone Dirac.

Fu così che prese vita la prima formulazione della meccanica quantistica.

## 1.2. CONTRO-SENSI

Fu Louis Victor De Broglie, nel 1924, il primo a pensare alla natura essenzialmente dualistica delle particelle subatomiche, ed in particolare che una radiazione

elettromagnetica potesse avere manifestazioni sia ondulatorie che corpuscolari.

Alla luce dei suoi studi, Erwin Schrödinger rivide i postulati del modello atomico di Bohr, per cui l'elettrone non poteva più essere pensato come una particella che ruota attorno al nucleo come un pianeta attorno al Sole, ma per forza come una specie di onda vibrante che "abbraccia" il nucleo, una sorta di "nuvola elettronica".

Questa "nuvola" è composta da particelle dal duplice aspetto, che, a seconda di come vengono osservate, appaiono a volte come particelle, altre come onde. Tale natura duale è propria anche della luce (i fotoni), la quale può assumere la forma di onde elettromagnetiche o di particelle.

Nel 1927 Werner Heisenberg descrisse matematicamente il comportamento delle particelle atomiche. I risultati a cui pervenne misero in luce una costante incertezza che permeava ogni tentativo di determinare simultaneamente la posizione della particella e la sua quantità di moto, il che significa che quanto più ci si avvicinava a conoscerne la posizione, tanto più ci si allontanava dal conoscerne la velocità. Questo effetto venne chiamato principio di indeterminazione.

La nota equazione d'onda con la quale Schrödinger tradusse in forma matematica la sua teoria, descriveva l'intera gamma delle possibilità che potevano verificarsi al sistema osservato (in questo caso, della vibrazione dell'elettrone) prima di interagire con l'osservatore. L'equazione, in definitiva, mostra ad esempio tutte le posizioni che l'elettrone potrebbe assumere prima che venga effettuata la misurazione. Quale posizione verrà osservata dalla sperimentazione, non sarà in alcun modo prevedibile.

Nel 1926 Max Born infatti, non solo dimostrò come il formalismo di Heisenberg e quello di Schrodinger fossero equivalenti, ma soprattutto come, per quanto fosse corretta, l'equazione d'onda di Schrodinger non potesse essere interpretata come una funzione classica, in quanto l'onda che egli associava agli elettroni e a ogni particella quantistica non è un'onda fisica, come

quella del mare o della luce, ma un'onda di probabilità.

La funzione d'onda non poteva rappresentare la distribuzione della materia che costituisce l'elettrone secondo Born, ma solamente dare una misura della probabilità di trovare l'elettrone in un punto dello spazio e del tempo. Queste "onde di probabilità" determinano la non prevedibilità certa di un evento atomico, per cui possiamo solo dire quanto sia probabile che esso avvenga. In pratica, stata questa la fine delle certezze.

Niels Bohr, che diede un contributo fondamentale a questi studi, chiamò coppie complementari le grandezze che non possono essere misurate simultaneamente, quelle per cui, concentrandosi su una, si perde di vista l'altra. Entrambi gli aspetti sono necessari per comprendere la realtà, ma tuttavia questi non sono da considerarsi come proprietà intrinseche della natura ma delle nostre interazioni con essa.

Il punto cruciale di questo modello, che va a costituire quella nota come l'interpretazione di Copenhagen della meccanica quantistica, è che dunque si può conoscere dove si trova l'oggetto meccanico solo se effettuiamo la misura, solo se ne facciamo esperienza, altrimenti potremmo averne solo un'informazione statistica in merito: ciò che è osservabile può essere predetto solo in modo probabilistico.

Oltretutto, sempre secondo tale interpretazione, si presenta concettualmente sbagliata l'idea che l'oggetto abbia comunque una posizione oggettiva indipendentemente dal fatto che noi lo osserviamo, perché prima della misura la particella non si trova in una posizione definita e non possiede nemmeno uno stato oggettivo!

Purtroppo lo smacco non si ferma qui. Un'ulteriore particolarità delle leggi quantistiche infatti, predetta dall'equazione di Schrodinger, risiede nel fatto che misurazioni identiche nelle modalità non daranno mai lo stesso risultato; gli esiti ottenuti, quando sommati, produrranno le stesse distribuzioni di probabilità.

Contro questi sconcertanti presupposti iniziò a battersi Einstein, che rimase convinto che

la realtà fisica fosse invece una realtà continua e rigorosamente causale, considerando quella quantistica una teoria precisa ma provvisoria.

Più volte infatti Einstein avversò la teoria quantistica e le sue predizioni probabilistiche; la divergenza filosofica che ne faceva da sfondo è ben esemplificata da quanto scritto da lui a James Frank [citato in Barrow, 1988]:

Io posso ancora capire, alla peggio, che il Buon Dio possa avere creato un mondo in cui non vi siano leggi naturali – cioè un caos. Ma che vi debbano essere delle leggi statistiche con delle soluzioni definite, per esempio leggi che forzano il Buon Dio a gettare i dadi per ciascun singolo caso, questo lo trovo estremamente spiacevole.

Eppure, a distanza di anni e alla luce degli sviluppi della nuova fisica, pare che la stessa immagine di realtà fosse destinata a incontrare un profondo mutamento. E, insieme a questa, forse, le regole stesse del famoso "gioco dei dadi".

### 1.3. INTERFERENZE

Una conseguenza importante di questo stato di cose è la possibilità di osservare quella che è nota come interferenza fra due insiemi di onde o di particella, ben esemplificato dall'esperimento della "doppia fenditura" presentato per la prima volta da Richard Feynman nelle sue lezioni tenute a Cal Tech nel 1962.

Parafrasando l'esperimento, se immaginiamo di sparare con un fucile attraverso uno schermo dotato di una fenditura verticale (e di non avere una mira che ci consenta di colpire sempre lo stesso punto!), osserveremo naturalmente sulla parete dietro lo schermo i segni dei punti di impatto delle nostre pallottole allineate con la fenditura dello schermo stesso; è intuitivo che, nel caso ci fossero due fenditure, troveremmo due tracce simili alla prima.

Se al posto di un fucile usassimo invece un emettitore di particelle e sparassimo un fotone alla volta, potremmo osservare su un particolare schermo il punto in cui questo lo ha colpito e, nel caso in cui ripetessimo

l'azione, otterremmo sul muro una traccia del tutto simile ottenuta sparando pallottole.

Le cose cambierebbero molto però nel caso in cui aprissimo anche la seconda fenditura; la parete, in questo caso, non mostrerà zone colpite da un corpuscolo, ma una figura che disegna uno schema di interferenza d'onda, tipico della manifestazione "ondulatoria" della nostra particella.

Il fotone, infatti, non passerà attraverso una o l'altra apertura, ma da entrambe mostrando la sua natura ondulatoria, e reagendo quindi in modo diverso a seconda delle condizioni poste da chi la osserva.

Tutto ciò non può che avere un impatto molto profondo sulla concezione della realtà e del ruolo che noi stessi abbiamo nel farne esperienza: cos'è "veramente" una particella? Come può essere "entrambe" le cose? Cosa accade quando nessuno osserva cosa passa tra le due fenditure? Come fa la particella a "sapere" se una o due fenditure sono aperte?

Queste e molte altre domande avrebbero spinto gli studiosi di tutto il mondo ad interrogarsi non solo sulla natura fisica, ma anche sulla matrice filosofica sottostante a quanto osservato nell'universo subatomico, e sul ruolo della coscienza in tutto questo.

#### **1.4. COME SE NON BASTASSE.. IL MODELLO QUANTO-RELATIVISTICO**

Come nello studio di altissime velocità sia necessario prendere in considerazione la teoria della relatività, allo stesso modo la meccanica quantistica è imprescindibile per un corretto approccio con i quanti della scala di Planck. Come può essere facilmente intuibile, entrambi i criteri vengono tirati in ballo qualora si prendesse in considerazione la fisica subatomica ad alte velocità: questa sfera di studio venne denominata meccanica quanto-relativistica.

Assunto di base è che ad ogni tipo di particella sia associato un diverso tipo di campo, e di conseguenza la loro nascita e morte non sono nient'altro che il frutto dell'interazione tra campi diversi. La materia viene intesa, in questo modo, come una momentanea manifestazione dell'interazione tra campi.

Il primo passo avanti verso questo modello fu compiuto nel 1928 da Dirac, il quale adattò l'equazione di Schrödinger a condizioni relativistiche. L'aspetto più importante di questa equazione è che essa prevedeva l'esistenza, per ogni tipo di particella, di una corrispondente antiparticella con le medesime caratteristiche e proprietà della particella ma con opposta carica elettrica.

La prima antiparticella scoperta, quella dell'elettrone, venne chiamata in seguito positrone; venne osservato che quando essa veniva a contatto con l'elettrone, ad alte velocità, le due si annichilivano a vicenda trasformandosi in pura energia, in questo caso in un fotone ad altissima energia (raggi gamma); al contrario un fotone poteva dare origine ad una coppia di elettrone-positrone.

Scrive Fritjof Capra:

*La creazione di particelle materiali da energia pura è certamente l'effetto più spettacolare della teoria della relatività"; inoltre "tutto il problema della divisibilità della materia apparve in una nuova luce [Capra, 1975].*

Ancora più insolita è stata la dimostrazione dell'esistenza di particelle virtuali o "fantasmi", che esistono e che dipendono dal processo di indeterminazione di Heisenberg, non rilevabili perché la loro esistenza è così breve da non poter essere messa in evidenza ma che, grazie alla loro fitta presenza, permettono di ricavare e misurare in modo preciso la forza cui danno luogo (la forza repulsiva tra elettroni, ad esempio, è proprio generata da questo continuo scambio di fotoni virtuali).

Da tutto questo ne deriva il fatto che in ogni sistema fisico in cui è valida la teoria quanto-relativistica (come nel nucleo atomico o in quello che intendiamo come "spazio vuoto") sono presenti in realtà una moltitudine di movimenti di particelle e antiparticelle che interagiscono, si annichiliscono e si ricostruiscono a vicenda, "senza rispettare assolutamente le legge della conservazione dell'energia.

Sul finire degli anni '40 Richard Feynman mise in accordo la teoria di Maxwell

sull'elettromagnetismo con i nuovi principi della meccanica quantistica in una teoria che descrive e unifica tutti i fenomeni del mondo fisico al di fuori della gravità e della radioattività. La teoria è nota come QED (Quantum Electrodynamics).

Questa teoria mette in ballo sia le scoperte della meccanica quantistica che quelle della teoria della relatività, descrivendo il comportamento in ambito quantorelativistico dell'interazione elettromagnetica, ovvero il comportamento di un fotone con il suo ambiente; tale rapporto dovrebbe, intuitivamente, dare alla luce ad un campo "vuoto", ma in realtà il quadro che viene osservato è quello di un campo che può assumere la forma di quanti, e cioè di particelle, grazie allo scambio di quanti "virtuali": un campo in continua attività .

Semplificando, la situazione che emerge è quella in cui la materia altro non sia che una "perturbazione" del campo, la sua manifestazione corpuscolare in un determinato punto; il vuoto diventa allora un vuoto dinamico da cui scaturisce il pieno.

## 2. IL NUOVO PARADIGMA

Anche dopo aver completato la formulazione matematica della meccanica quantistica, il rospo per i fisici fu difficile da digerire. L'effetto di queste scoperte sulla visione della realtà ribaltava completamente i canoni di interpretazione classici, e costringeva ad una totale rimessa in discussione del modo di sperimentare il mondo.

Descriveva così la situazione Heisenberg:

*Ricordo delle discussioni con Bohr che si prolungavano per molte ore fino a notte piena e che ci condussero quasi ad uno stato di disperazione; e quando al termine della discussione me ne andavo da solo a fare una passeggiata nel parco vicino, continuavo sempre a ripropormi il problema: è possibile che la natura sia così assurda come ci appariva in quegli esperimenti atomici? [Heisenberg, citato in Capra, 1982].*

Diversamente dalla concezione meccanicistica e cartesiana del mondo, che considerava i fenomeni fisici alla stregua di

componenti di un grosso orologio (e quindi prevedibili, materiali, determinabili), quella della nuova fisica può essere definita ecologica, olistica e sistemica. Il risultato è che l'universo, da quel momento, cominciò ad essere designato come un tutto indivisibile, dinamico, le cui parti sono intrinsecamente interconnesse e possono essere intese come strutture di un processo cosmico.

La scoperta della natura complementare della materia e del ruolo fondamentale dell'aspetto probabilistico ad essa legata (secondo il principio di indeterminazione), ha scardinato la visione classica di oggetti solidi ed immutabili, in quanto a livello subatomico gli oggetti materiali si dissolvono in modelli di probabilità simili a onde, profondamente interconnesse con tutto ciò che esiste.

Ne consegue l'assoluta mancanza di senso nella frammentazione in unità minime i fenomeni e gli oggetti fisici, inseguendo l'illusione di poterne così conoscere la natura essenziale. A livello infinitesimo, la realtà svanisce sotto i nostri stessi occhi, così come le distinzioni, le separazioni, i confini che utilizziamo per dividere le cose.

L'elettrone, tanto per intendersi, non ha proprietà indipendenti dalla propria mente, così come non ci sono scissioni oggettivamente fondate.

Il più grosso colpo al "buon senso" fu inferto infatti proprio dall'osservazione della natura corpuscolare e ondulatoria della particelle subatomiche, dal loro comportamento "intelligente" rispetto alle condizioni poste dall'osservatore, dal principio di indeterminazione, colpi che avrebbero spinto (e di fatto, spingono ancora) chiunque venisse a contatto con questo bizzarro mondo a chiedersi che cosa dunque, alla fine dei conti, potesse essere considerato oggettivo e cosa invece soggettivo.

La più grande scoperta e innovazione nel mondo scientifico, riguarda proprio il fatto di aver mostrato come la realtà si adegui alle condizioni poste da chi ne prende parte, per cui la vecchia idea di un mondo che esiste in uno stato definito, totalmente incurante di chi ne fa esperienza, è crollata definitivamente.



Grazie a queste scoperte divenne un imperativo nella scienza considerare sempre lo sperimentatore insieme all'esperimento cui egli stesso ha dato luogo; non esiste in definitiva una realtà da analizzare "al di là di un vetro": l'osservazione stessa la determina, la "crea", come vuole l'interpretazione della scuola di Copenhagen, con buona pace di un'intera cultura basata sul meccanicismo, sul determinismo e sull'oggettivismo.

A questo punto la questione dell'oggettività prende una direzione del tutto inusuale rispetto al paradigma classico. La nostra cultura ha fino ad ora sempre riconosciuto "reale" tutto ciò che, ognuno di noi, riconosce come tale, in accordo ancora con i criteri dettati da Cartesio nel XVII secolo. Le proprietà "sensibili" degli oggetti, quelle cioè in qualche modo dipendenti dalle differenti visioni che si possono avere di esse, sono rimaste le grandi escluse da tutto ciò che rientrava in una vera e propria investigazione scientifica, e quindi nei canoni di ciò che potesse, inconfutabilmente, dirsi "vero".

La meccanica quantistica ha avuto il grosso merito di ricordare che ciò che viene sperimentato come oggettivo è pur sempre il frutto di una percezione, e che il fatto che ognuno di noi possa ritenersi d'accordo su proprietà come il peso, la velocità e la forza di un oggetto, ad esempio, non autorizza a ritenere di aver compreso la realtà dello stato fondamentale dell'oggetto stesso.

In altre parole, la mente di chi percepisce la realtà in cui vive non è affatto al di fuori di essa, ma, anzi, vi partecipa, la crea, la modifica, danza con essa.

Il micromondo della fisica particellare è assolutamente contestuale; in esso, concetti complementari come posizione e quantità di moto, natura ondulatoria e corpuscolare, non possono essere conosciuti simultaneamente per via dei nostri limiti sensoriali.

Si noti che l'apertura a queste nuove scoperte ad un orientamento generale del pensiero nella nostra cultura, non significherebbe andare incontro ad una ricostruzione ex novo di ciò che attualmente abbiamo raggiunto, né squalificare ciò che

fino ad ora è stato possibile fare grazie alla scienza classica.

Si tratterebbe solo di rinunciare ai monumentali palazzi di certezze sui quali abbiamo costruito le nostre vite e rimettersi un pò in gioco, chiedendosi, innanzi tutto, dove stiamo andando di questo passo e se fino ad ora ne sia valsa realmente la pena.

L'elementarismo legato allo studio della natura, così come dell'essere umano, ha concorso a creare una visione globale di separazione rinforzata in vari modi dagli esponenti di maggior rilievo delle varie discipline scientifiche, che condividevano con lo spirito del tempo una visione settoriale e frammentaria dell'universo.

È nostra convinzione, come quella della gran parte degli studiosi ai quali ci riferiamo (e in accordo con l'eco di quella che sembra presentarsi come una cultura emergente), che questo stato di cose abbia portato ad una concezione desolante della vita e di noi stessi come genere umano, con tutte le conseguenze sul piano sociale, etico ed ecologico molte, troppe volte insoddisfacente.

Certo, rinunciare alle proprie sicurezze non è facile, specie quando ci abbiamo creduto fino a ieri. Eppure senza la flessibilità e la predisposizione a mettersi in discussione, non solo non si va da nessuna parte, ma si rischia anche di cadere nella trappola dell'autodistruzione: la vita è un continuo cambiamento, e sta a noi modificare noi stessi in sua funzione, se non altro per motivi di sopravvivenza.

Credere che la nostra "potente" società, ben promossa dai pizzi e merletti della scienza classica, possa arrivare a modificare l'esistenza in nostra funzione, è una grossa, pericolosa illusione.

La fisica quantistica ci ricorda la relatività del mondo manifesto e che, in definitiva, tutto è ancora una volta un'approssimazione sensoriale. Il suo messaggio dunque potrebbe, se non altro, servire a prendersi un pò meno sul serio...

## **BIBLIOGRAFIA**

Barrow J. D., *Il mondo dentro il mondo*, Milano, Adelphi, 1991.

Bernstein J., *L'uomo senza frontiere - Vita e scoperte di Albert Einstein*, Milano, Il Saggiatore, 2000.

Bohr N., *I quanti e la vita*, Torino, Boringhieri, 1965.

Bohr, N., *Mutamenti nelle basi della scienza*, Torino, Boringhieri, 1978.

Bryan R. A., *What Can Elementary Particles Tell Us About the World in Which We Live?*, *Journal of Scientific Exploration*, Vol. 14, No. 2, 2000.

Capra F., *Il tao della fisica*, 1982.

Capra F., *Il punto di svolta – Scienza, società e cultura emergente*, Feltrinelli, Milano, 1984.

Coppola, Fabrizio, *Il segreto dell'universo*, Pisa, Saggi dell'Istituto Scientia, 2002.

Heisenberg W., *Natura e fisica moderna*, Milano, Garzanti, 1957.

Heisenberg W., *Fisica e Filosofia – La rivoluzione nella scienza moderna*, Milano, Il Saggiatore, 1998.

Kuhn T. S., *La tensione essenziale – cambiamenti e continuità nella scienza*, Torino, Einaudi, 1985.

Schrödinger E., *L'immagine del mondo*, raccolta di scritti, Torino, Bollati Boringhieri, 1987.

Segrè E., *Personaggi e scoperte nella fisica classica – dalla caduta dei gravi alle onde elettromagnetiche*, Milano, Mondadori, 1983.

Zukav G., *La danza dei maestri Wu Li*, Milano, Corbaccio, 1995.