

---

# L'insostenibile leggerezza della pseudoscienza.

**Paolo Ciafaloni**    INFN & Dipartimento "Ennio De Giorgi" - Lecce

---

**L**a Scienza non si limita a spiegare un singolo fenomeno, bensì tenta di inquadrare il più gran numero possibile di fenomeni diversi in un quadro unitario (detto anche Teoria). In effetti, un singolo fenomeno può essere spiegato letteralmente in infiniti modi diversi, ma pochissime di queste spiegazioni possono essere considerate scientifiche. Nel contesto scientifico sono importanti le connessioni fra osservabili, cioè le relazioni fra i diversi tipi di fenomeni che emergono nell'ambito di una descrizione unitaria. In presenza di fenomeni nuovi e/o nuovi modelli teorici, la prima cosa che una comunità scientifica fa è di capire le relazioni fra nuovi risultati e risultati acquisiti. E' tipico invece della pseudoscienza limitarsi a 'spiegare' il singolo fenomeno con spiegazioni appositamente costruite (*ad hoc*).

In questo articolo racconto una storia realmente accaduta che vede come protagonisti i neutrini. I neutrini sono particelle elementari (cioè, in buona sostanza, indivisibili) particolarmente elu-

sive. In effetti, mentre particelle cariche come ad esempio l'elettrone lasciano tracce negli apparati sperimentali, i neutrini non lasciano tracce e possono essere rivelati solo quando, occasionalmente, interagiscono con la materia producendo altri tipi di particelle che possono, a loro volta, essere rilevati. Un esempio è raffigurato in Fig. 1. Nella figura vediamo alcune delle tracce prodotte da particelle elementari, e osserviamo subito qualcosa di molto strano. Le tracce delle particelle partono da un unico punto e sembrano provenire dal nulla! Inoltre, da dove viene l'energia che le particelle hanno acquisito? Nel considerare un processo fisico simile a questo, W. Pauli nel 1931 giunse a ipotizzare che esistesse una particella invisibile, le cui tracce non si possono rivelare, ma che è in grado di produrre il getto di particelle visualizzato in figura, provenendo da sinistra in questo particolare caso. L'unica alternativa, ragionava lui, sarebbe ammettere che la conservazione dell'energia può essere violata in alcuni casi. Le due ipotesi, esistenza di una particella invisibile (che Pauli e Fermi chiamarono neutrino) oppure violazione della conservazione dell'energia, sono entrambe logicamente coerenti. Ma la seconda è meno plausibile della prima. Un'affermazione come "in alcuni casi l'energia si conserva e in altri no" equivale a rinunciare

ad avere una chiave interpretativa della realtà. Quest'affermazione è talmente vaga che non può essere confutata; non è possibile, cioè, immaginare un esperimento che possa stabilire in maniera inequivocabile che tale affermazione sia falsa, a causa dell'estrema adattabilità dell'affermazione stessa. Al contrario, postulare l'esistenza del neutrino, cioè di una particella con precise proprietà di interazione con la materia, permette di fare predizioni<sup>1</sup> per nuovi esperimenti. Nel 1956 Cowan e Reines confermarono l'ipotesi di Pauli ed oggi sappiamo che i neutrini interagiscono con la materia solo tramite le interazioni deboli, che sono appunto le più deboli fra le quattro interazioni fondamentali note. Per questo motivo i neutrini, poiché interagiscono solo sporadicamente con la materia, possono attraversare indisturbati tutta la Terra. Nell'esperimento di cui ci stiamo occupando, i neutrini vengono prodotti al CERN di Ginevra e rivelati al Gran Sasso dopo un viaggio di 732 km (vedi Fig. 2). Il neutrino che produce il getto di particelle in Figura 1 è proprio il primo ad essere stato rivelato da OPERA il 2 ottobre 2007 dopo un viaggio da Ginevra al tunnel del Gran Sasso.

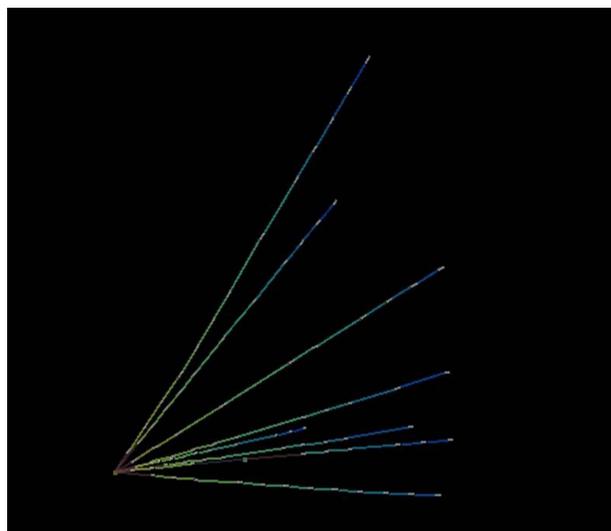
Il 23 settembre 2011, nell'affollato Auditorium del CERN di Ginevra, venivano presentati alcuni risultati della collaborazione scientifica internazionale OPERA. Nella diapositiva n. 53 del seminario [1] (disponibile al [sito](#)) compare una frase che potenzialmente avrebbe potuto creare una rivoluzione nel mondo della fisica:

*Le misure indicano una velocità dei neutrini superiore a quella della luce.*

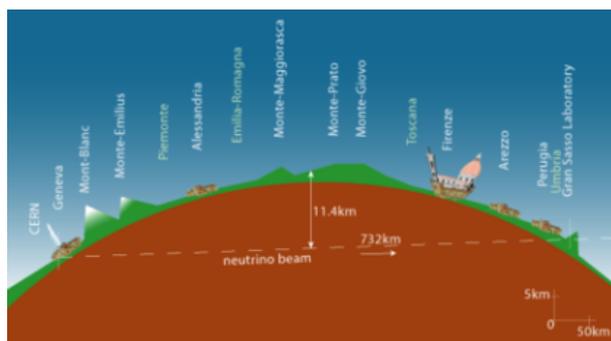
Più precisamente, i dati sembravano indicare che la velocità dei neutrini fosse superiore a quella della luce di circa 7 chilometri al secondo.

I risultati di OPERA sui neutrini superluminali si sono alla fine rivelati essere frutto di errori sperimentali, e la stessa collaborazione ha pubblicato un articolo nel quale le velocità misurate dei neutrini appaiono essere inferiori alla velocità della luce [2]. Tuttavia è istruttivo tornare indietro di qualche anno e chiedersi: che cosa succederebbe se dessimo per buono il risultato iniziale di OPERA? Che implicazioni avrebbe il

<sup>1</sup>La parola 'predizione' in questo contesto non indica necessariamente qualcosa che riguardi il futuro. Piuttosto, essa stabilisce che 'se si prepara un dato esperimento in maniera tale che siano soddisfatte una serie di condizioni, allora l'esito sarà questo e quest'altro'.



**Figura 1:** Un getto di particelle che viaggiano da sinistra verso destra viene generato e rivelato all'interno dell'esperimento OPERA. Tale evento, il primo osservato da OPERA, viene interpretato come l'interazione con la materia di un neutrino proveniente dal CERN, a circa 730 chilometri di distanza.



**Figura 2:** L'esperimento CNGS, che sta per "CERN Neutrino Beam to Gran Sasso", nel quale un fascio di neutrini (Neutrino Beam) originati al CERN di Ginevra, viene puntato verso l'esperimento OPERA al Gran Sasso.

fatto che i neutrini possano viaggiare a velocità superiori a quella della luce? Questo è il tipo di domande che un fisico si pone subito dopo un risultato sperimentale che sembra aprire le porte a nuovi tipi di teorie, oppure dopo aver ottenuto, attraverso calcoli matematici, nuove implicazioni di una data teoria<sup>2</sup>. In effetti, le prime cose che ci

<sup>2</sup>La parola 'teoria' nel contesto scientifico assume un significato leggermente diverso da quello del linguaggio comune. Una teoria è un insieme interconnesso di ipotesi ed enunciati che hanno lo scopo di spiegare fenomeni naturali. Non è detto quindi che una teoria sia altamente speculativa, o solo una vaga 'ipotesi': può essere il quadro descrittivo migliore che abbiamo al momento.

si chiedono sono Questo risultato è compatibile con i risultati sperimentali noti?, Questi calcoli matematici sono oppure no in accordo con altri calcoli noti svolti da altri scienziati?. Le risposte non devono essere necessariamente positive, ma eventuali discrepanze con risultati noti devono essere evidenziate e messe in rilievo.

Nel caso dei neutrini di OPERA ci si scontra immediatamente con un fatto: sappiamo già che i neutrini viaggiano alla velocità della luce. Il 23 Febbraio 1987 diversi osservatori astronomici sulla Terra registrarono segnali dell'esplosione di una Supernova in una Galassia denominata "Grande Nube di Magellano", ad una distanza circa 168.000 anni-luce dalla Terra (un anno-luce è la distanza percorsa dalla luce in un anno, e corrisponde a circa diecimila miliardi di chilometri). Il punto cruciale per quello che interessa qui è che i neutrini e la luce (fotoni) creati in quell'evento, a meno di piccole differenze temporali dovute al momento di emissione, arrivarono contemporaneamente sulla Terra. Questo significa che i neutrini e la luce hanno viaggiato alla stessa velocità. Se invece i neutrini provenienti da SN1987A avessero viaggiato alla velocità dei neutrini del Gran Sasso sarebbero arrivati circa quattro anni prima. È possibile riconciliare questo fatto con la conclusione di OPERA che i neutrini sono, invece, più veloci della luce? È possibile, anche se non facile. Si può ad esempio osservare che i neutrini generati dalla Supernova sono molto meno energetici di quelli del fascio del CERN. La velocità dei neutrini potrebbe dipendere dalla loro energia ed essere vicina alla velocità della luce per le energie tipiche di emissione da Supernova, ma significativamente superiore per i neutrini di OPERA. Una tale dipendenza contrasta con quanto previsto dalla teoria della relatività di Einstein, che potrebbe dunque non essere valida per i neutrini.

L'affermazione "Se i neutrini viaggiano più veloce della luce, allora è necessario modificare la Teoria della Relatività di Einstein" potrebbe sembrare innocua: è una conseguenza della teoria della relatività il fatto che nessun corpo né segnale possa viaggiare più veloce della luce. Tuttavia, quando alla fine di ottobre 2011 scrissi un [articolo](#) [3] (vedi anche il [successivo](#)) [4] sul blog di divulgazione scientifica [Science 2.0](#) [5], venni attaccato sia sul piano scientifico che su quello personale.

I vari attacchi risultavano, sia a me che ad altri colleghi cui feci leggere gli articoli ed i commenti, totalmente privi di senso dal punto di vista scientifico. Perché successe questo? A mio parere, perché non è molto diffusa la comprensione di quello che significhi una discussione scientifica. Quando interviene un risultato sperimentale nuovo, oppure si propone un nuovo modello teorico per l'interpretazione dei fenomeni naturali, c'è una cosa che ogni scienziato tipicamente fa: cerca di capire le *implicazioni* del nuovo risultato, e le sue *connessioni* con altri risultati sperimentali noti e con altre teorie accettate dalla comunità. Come ho evidenziato nel mio precedente articolo su Ithaca [6], lo scopo finale è quello di trovare un quadro descrittivo che sia il più possibile unificante, universale e semplice, inglobando i nuovi risultati. Lo sforzo da fare diventa allora grande, ed è per questo motivo che, ad esempio, i fisici difficilmente abbandonano i quadri descrittivi esistenti come il Modello Standard delle particelle elementari. Per adottare un nuovo quadro descrittivo occorre che quest'ultimo sia compatibile con i risultati noti e consolidati, e che abbia qualcosa in più: descriva nuovi fenomeni e/o sia più semplice, più unificante. Il nuovo quadro deve essere *predittivo*, cioè fornire spiegazioni per i fenomeni nuovi e predire nuovi tipi di fenomeni, nuove *connessioni* fra esperimenti diversi. Tutto questo non ha nulla a che vedere con il presunto conservatorismo di cui spesso l'"establishment" scientifico viene accusato su Internet. Anzi, gli scienziati sono i primi a mettere continuamente alla prova le teorie esistenti per scoprire, tramite osservazioni ed esperimenti, possibili "falle" in quanto già si conosce.

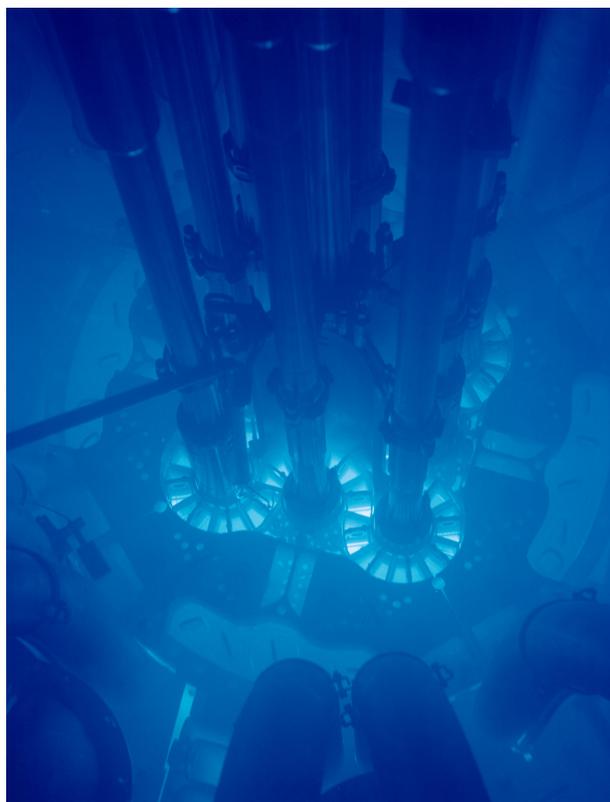
Tornando ai neutrini, anche se gli scienziati non prendono l'ipotesi di una modifica della teoria della relatività a cuor leggero, tale possibilità non è esclusa; proviamo a procedere su questa linea. A questo punto sorge la domanda seguente.

*L'ipotesi che la teoria della relatività sia violata e che la velocità dei neutrini cambi con l'energia in modo compatibile sia con i dati di OPERA che con quelli di SN1987A implica contraddizioni con altri fatti sperimentali noti?*

Nel tentativo di risposta a questa domanda risiedono le vere difficoltà interpretative del risultato sperimentale. Fra i vari articoli con i quali

i fisici del settore hanno provato a rispondere a questa domanda, ne segnalo due che ritengo particolarmente interessanti. Nel primo [7] si sfrutta il fatto che le interazioni deboli mettono in comunicazione il neutrino con un signore molto noto: l'elettrone. Gli autori fanno notare che l'anomalia misurata nella velocità del neutrino altererebbe anche le proprietà dell'elettrone in una misura incompatibile con i risultati noti e stabiliti di numerosi esperimenti. Nel secondo articolo, autori A. G. Cohen e S. L. Glashow [8], si fa uso di un'analogia con l'effetto Čerenkov, che crea una caratteristica luce azzurra osservata tipicamente nei reattori nucleari. Questa luce è creata da una particella, ad esempio un elettrone, che viaggia in un mezzo a velocità superiore a quella della luce nel mezzo stesso, perdendo energia per irraggiamento. L'effetto Čerenkov è legato alle interazioni elettromagnetiche dell'elettrone con il fotone; se i neutrini viaggiassero più veloce della luce dovrebbero perdere energia per un effetto simile, legato questa volta alle interazioni deboli. Gli stessi dati di OPERA ci dicono che questa perdita di energia non avviene: i risultati di OPERA, secondo Cohen e Glashow, sono quindi contraddittori.

Ci si potrebbe chiedere se i due articoli citati, e altri che seguono la stessa linea di pensiero, dimostrino che i neutrini non possono viaggiare più veloci della luce. Non è così, anzi un'affermazione del genere non si può dimostrare. In primo luogo, i due articoli raggiungono conclusioni quantitative. Se l'anomalia della velocità dei neutrini fosse molto più piccola di 7 km/s, non si evidenzerebbe alcuna contraddizione. In secondo luogo, una singola osservazione può sempre essere spiegata in diversi modi. Però mi pare che le possibili spiegazioni alternative che sono finora venute in mente ai fisici assomiglino molto alla soluzione scartata da Pauli nel 1931: sono poco plausibili. Ad esempio, è possibile ipotizzare che l'energia non si conserva e/o che gli eventi registrati al CERN e quelli registrati da OPERA non hanno alcun nesso causale. Ma questo tipo di spiegazione è sterile, cioè non conduce ad alcuna predizione nuova e si esaurisce in se stessa, essendo appunto, creata ad hoc. Noi come scienziati dobbiamo preoccuparci di fornire un quadro descrittivo unitario della realtà. E, come ho segnalato, qui nascono le difficoltà: non



**Figura 3:** Luce Čerenkov, dal caratteristico colore blu, all'interno di un reattore nucleare. In questo caso la luce è prodotta da elettroni che emettono radiazione luminosa, cioè fotoni. Nel caso di OPERA, i neutrini dovrebbero emettere coppie elettrone-positrone perdendo energia.

è possibile alterare una parte del quadro senza modificarne un'altra parte, a causa dell'insieme di vincoli, fatti e ragionamenti logici che formano il quadro stesso. È necessario, invece, cercare un nuovo quadro interpretativo complessivo, e occorre crearne uno nuovo senza incorrere in contraddizioni.

Per contrasto, quale potrebbe essere un atteggiamento non scientifico, o pseudo scientifico, nei confronti dei neutrini superluminali? Un tipico approccio che non viene considerato scientifico è quello di cercare spiegazioni ad hoc, cioè valide solo per il fenomeno, il risultato preso in considerazione. Il punto è che di spiegazioni valide per un solo fenomeno preso a sé ne esistono letteralmente infinite, ed è impossibile discernere quale possa essere quella giusta. All'epoca col mio compagno di ufficio Giampaolo Co' ci divertivamo a trovare le spiegazioni più fantasiose nonché impossibili da dimostrare o falsificare. Una delle più ingegnose era: un alieno dispettoso e invisibile si diverte a tirare neutrini vicino al

Gran Sasso. Di nuovo, questa spiegazione non è logicamente esclusa. Però sfugge clamorosamente a qualsiasi inserimento in un contesto più ampio (oltre ad essere francamente improbabile), ed è quindi non scientifica. Alla ricerca di una spiegazione un po' più valida dal punto di vista scientifico, si potrebbe argomentare che forse per i neutrini non vale la conservazione dell'energia che è una legge nota essere universalmente valida in tutti i contesti conosciuti. In questo caso infatti, ad esempio cadrebbe la critica mossa in [8], che è basata appunto sulla validità di tale legge. Ma si tratterebbe di una spiegazione *ad hoc*, e come tale sterile: dando uno status particolare ai neutrini in particolari condizioni sperimentali quali quelle di OPERA, non consentirebbe di trovare connessioni con altre osservazioni e fenomeni. In sostanza, si tratterebbe di una non-spiegazione.

È interessante osservare gli sviluppi successivi della storia dei neutrini superluminali. Malgrado le difficoltà interpretative dei primi risultati di OPERA che ho segnalato, sarebbe antiscientifico semplicemente 'cancellare' tali risultati come errati e proseguire non tenendone conto. Invece, è necessario che persone diverse da quelle che ottengono il risultato 'eclatante' tentino di ripetere l'esperimento e si confrontino coi risultati precedenti; il tutto nella atmosfera pubblica e aperta che è caratteristica della comunità scientifica. Nel marzo del 2012 la collaborazione ICARUS pubblicava risultati indipendenti sulla velocità dei neutrini [9], stavolta in accordo col limite della velocità della luce e quindi con la teoria della Relatività. Infine, nel luglio del 2012 la stessa collaborazione OPERA pubblicava risultati aggiornati [2] compatibili con il limite della velocità della luce. Gli eclatanti risultati iniziali erano, in fin dei conti, dovuti ad un problema con le apparecchiature utilizzate per la misura, e questo chiude la storia dei neutrini superluminali.

Questa storia è un tipico esempio di come procede la Scienza. Acquisire nuovi risultati scientifici non significa non fare errori. Al contrario, è il processo di confronto e discussione pubblica all'interno della comunità utilizzando il metodo scientifico che consente, alla fine, di discriminare le idee buone da quelle cattive e i risultati validi da quelli che validi non sono.

- [1] <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=155620>
- [2] T. Adam *et al.* [OPERA Collaboration], JHEP textbf 1210 (2012) 093 doi:10.1007/JHEP10(2012)093 [arXiv:1109.4897 [hep-ex]].
- [3] [http://www.science20.com/third\\_millennium\\_physics/faster\\_light\\_neutrinos\\_and\\_relativity-84111](http://www.science20.com/third_millennium_physics/faster_light_neutrinos_and_relativity-84111)
- [4] [http://www.science20.com/third\\_millennium\\_physics/faster\\_light\\_neutrinos\\_and\\_relativity\\_ii\\_million\\_dollar\\_bet-84340](http://www.science20.com/third_millennium_physics/faster_light_neutrinos_and_relativity_ii_million_dollar_bet-84340)
- [5] <http://www.science20.com>
- [6] [http://ithaca.unisalento.it/nr-5\\_2015/articolo\\_Iip\\_05.pdf](http://ithaca.unisalento.it/nr-5_2015/articolo_Iip_05.pdf)
- [7] G. F. Giudice, S. Sibiryakov and A. Strumia, Nucl. Phys. B textbf 861 (2012) 1 [arXiv:1109.5682 [hep-ph]].
- [8] A. G. Cohen and S. L. Glashow, Phys. Rev. Lett. textbf 107 (2011) 181803 [arXiv:1109.6562 [hep-ph]].
- [9] M. Antonello *et al.* [ICARUS Collaboration], Phys. Lett. B textbf 713 (2012) 17 doi:10.1016/j.physletb.2012.05.033 [arXiv:1203.3433 [hep-ex]].



**Paolo Ciafaloni:** un ricercatore in fisica teorica presso l'INFN e l'Università del Salento; vive ad Arnesano in provincia di Lecce. Laureato a Pisa nel 1991, si occupa di fisica delle particelle e di cosmologia.

