

Einstein e l'etere

Ferma restando la necessità ancora oggi di definire fisicamente in dettaglio il *fluido cosmico*, per il quale anche la Cosmologia non scende nei particolari, storicamente la necessità di riempire i puri strati superiori dell'aria che riempivano lo spazio, che non poteva essere vuoto (inizialmente con la *quintessenza*, incorruttibile ed eterna rispetto agli altri quattro elementi che invece potevano trasformarsi uno nell'altro) è trattata già da Platone (circa 428-348) e Aristotele (384-322). Detto anche

«*pneuma* (πνεῦμα), secondi gli Stoici si trattava di una sostanza permeante l'universo, la cui principale funzione consisteva nell'assicurare la coesione del cosmo e la trasmissione delle azioni a distanza tra le sue diverse parti: in particolare esso permetteva la trasmissione della luce. Il *pneuma*, che spesso era scarsamente distinguibile dall'*etere* (αἰθήρ), svolgeva il suo ruolo grazie alla propagazione di un suo particolare moto locale, che vari autori chiamano *moto tensionale* [...] e a volte è descritto come un moto simultaneo in versi opposti [...]. L'idea fu trasmessa agli scienziati moderni da autori come Descartes (1596-1650, che usò il termine *etere*, che finì col prevalere) e Newton (1643-1727, che preferì *spiritus*, calco latino di πνεῦμα)¹.

Nel medioevo la quintessenza divenne quinto elemento e *quinta essentia*, acquisendo connotazioni teologiche; diventò poi parte della filosofia meccanicistica a partire da Cartesio (Descartes) e nel XVIII secolo fu descritto da Newton come mezzo per la trasmissione della gravità e per descrivere le proprietà della luce². Nel XIX secolo varie 'interpretazioni' di etere divennero funzionali alle spiegazioni delle teorie elettromagnetiche e ottiche (ondulatorie) ed emersero teorie che lo associarono allo spazio stesso. Albert Einstein (1879-1955) considerava solo l'idea di etere formulata da Hendrik Lorentz (1853-1928) che superava secondo lui tutte le altre interpretazioni, rappresentando però un sistema in riposo assoluto, quindi era di fatto incompatibile con la *relatività ristretta*, pertanto Einstein lo escluse dalla sua teoria, togliendolo di scena dal panorama interpretativo della fisica. Fu poi sperimentalmente dimostrato (in particolare da Michelson e Morley³) come non individuabile.

Lo stesso Einstein però, pochi mesi dopo la pubblicazione della *relatività generale*, reintrodusse nel 1916 un etere diverso, una sorta di «costituente geometrodinamico dello spazio-tempo che determina il comportamento inerziale e gravitazionale della materia»⁴, anzi ne introdusse tre diversi ma analoghi, uno per la *relatività ristretta*, uno per la *relatività generale* e uno per la teoria sull'unificazione delle forze gravitazionali ed elettromagnetiche sulla quale lavorò negli ultimi anni della sua vita (e che non portò a compimento).

¹ [Russo, 2020] pag. 25-26; naturalmente Russo cita anche le fonti dalle quali ha reperito le informazioni riportate

² Come osserva Max Jammer (1915-2010) nell'introduzione di [Kostro, 2000], le diverse concezioni di etere (soprattutto nel XIX secolo, quando ne coesistevano almeno 14 diversi concetti) convivevano e non erano l'evoluzione delle precedenti

³ Einstein dichiarò in *The meaning of Relativity* (Princeton University Press, N.Y. 1955, V edition) che quello di Michelson e Morley era stato «il più importante di tutti gli esperimenti nulli sulla deriva dell'etere»; Albert Abraham Michelson (1852-1931), Edward Williams Morley (1838-1923)

⁴ [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 7-8

«La distinzione fra i tre tipi di 'etere' trova la sua espressione matematica nelle diverse proprietà dei corrispondenti potenziali gravitazionali $g_{\mu\nu}$ del tensore metrico fondamentale: l'etere della teoria della *relatività ristretta* è caratterizzato dalla condizione $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu}$ dove l'ultimo termine è il tensore metrico di Minkowski⁵, l'etere della teoria Generale da $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$ della metrica di Riemann⁶, e l'etere della teoria unificata da $g_{\mu\nu} \neq g_{\nu\mu}$.»⁷ In epoche recenti ci sono stati diversi sviluppi di un etere associato alla metrica spaziotemporale, noti con il nome di "Einstein-aether theory"⁸, nell'ambito degli studi sulla violazione dell'invarianza di Lorentz per effetti di gravità quantistica.

A proposito del 'ripensamento' di Einstein in merito alle proprie prime posizioni sull'etere del XIX secolo si possono citare due significativi pensieri:

Deshalb war ich in 1905 der Ansicht, dass man von dem Äther in der Physik überhaupt nicht mehr sprechen dürfe. Dieses Urteil war aber zu radical, wie wir bei der folgenden Überlegungen über die allgemeine Relativitätstheorie sehen werden. Es bleibt vielmehr nach wie vor erlaubt, ein raumerfüllendes Medium anzunehmen als dessen Zustände man die elektromagnetische Felder (und wohl dann auch die Materie) ansehen kann.⁹

Es wäre richtiger gewesen, wenn ich in meinen früheren Publikationen mich darauf beschränkt hätte, die Nicht-Existenz des Äthers überhaupt zu vertreten. Denn ich sehe ein, dass man mit dem Worte Äther nichts anderes sagt, als dass der Raum als Träger physikalischen Qualitäten aufgefasst werden muss.¹⁰

L'etere come quello associato da Einstein alla *relatività ristretta* costituisce il substrato cosmico (ovvero la forma dominante di sostanza), *il campo*, al quale si riconosce la proprietà di possedere una *densità di energia*.

⁵ «Dato che nei sistemi di riferimento in cui $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu}$ il comportamento dei corpuscoli è quello dettato dal primo principio della dinamica newtoniana, cioè sono a riposo o si muovono su linee rette con velocità costante, Einstein chiamò l'etere della *relatività ristretta* "etere inerziale" e fece notare che aveva questa proprietà in comune con "l'etere della meccanica di Newton". Per via della sua piattezza l'etere inerziale è estendibile all'infinito. È anche rigido e assoluto, cioè la presenza della materia e dei suoi movimenti non esercita alcuna influenza sulla sua struttura.»; [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 225; Hermann Minkowski (1864-1909)

⁶ «Einstein lo identificò con il continuo spazio-temporale della stessa teoria e affermò che lo strumento più importante per descriverlo era il tensore metrico simmetrico g avente le componenti $g_{\mu\nu}$ funzioni continue di un sistema di coordinate arbitrariamente introdotte. Nel modello della Relatività Generale esso ha una metrica pseudo-riemanniana e può pertanto essere finito, per quanto riguarda la sua estensibilità, sebbene rimanga illimitato [...]. L'etere della Relatività Generale non è né rigido né assoluto. La presenza della materia con i suoi movimenti esercita sulla sua struttura una influenza che è variabile nel tempo. Quindi si può dire che l'intera struttura sia in qualche modo flessibile. Einstein chiamò questo tipo di etere "etere gravitazionale" (Gravitationsäther); [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 226; Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866)

⁷ [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 8

⁸ Ad esempio [Jacobson e Mattingly, 2004]

⁹ Albert Einstein, *Gründgedanken und Methoden der relativitätstheorie in ihrer Entwicklung dargestellt* (Manoscritto Morgan), citato e tradotto in [Kostro, 2000], edizione italiana pag. 12, 253: «[...] nel 1905 ero del parere che in generale non si potesse più parlare di etere in fisica. Questa opinione era però troppo radicale, come vedremo con le seguenti considerazioni sulla teoria di relatività generale. Resta permesso proprio come prima di accettare un mezzo che riempia lo spazio, nei cui stati si possano riconoscere i campi elettromagnetici (e quindi anche la stessa materia).»

¹⁰ Albert Einstein, *Lettera a H. Lorentz* (15/11/1919), citata e tradotta in [Kostro, 2000], edizione italiana pag. 12, 253: «Sarebbe stato più corretto se nelle mie prime pubblicazioni mi fossi limitato a sottolineare l'irrealità della velocità dell'etere, invece di sostenere la sua totale non esistenza. Ora comprendo che con la parola etere non si intende niente altro che la necessità di rappresentare lo spazio come portatore di proprietà fisiche.»

A proposito, si riporta la posizione di Einstein nelle parole di Jammer e dello stesso Einstein:

La vittoria sul concetto di spazio assoluto o su quello di sistema inerziale divenne possibile solo in quanto il concetto di oggetto materiale fu gradualmente sostituito, nel suo ruolo di concetto fondamentale della fisica, da quello di campo. Sotto l'influenza delle idee di Faraday e Maxwell si sviluppò la nozione che l'intera realtà fisica avrebbe potuto forse essere rappresentata come un campo le cui componenti dipendono dai quattro parametri spazio-temporali. Se le leggi di questo campo sono generalmente covarianti, non dipendono cioè da una particolare scelta di un sistema di coordinate, allora l'introduzione di uno spazio indipendente (assoluto) non è più necessaria. Ciò che, pertanto, costituisce il carattere spaziale della realtà, è semplicemente la natura quadridimensionale del campo. Non esiste allora alcuno spazio «vuoto» cioè non esiste alcuno spazio senza campo.¹¹

Possiamo ancora continuare a servirci della parola etere, ma soltanto allo scopo di designare le proprietà fisiche dello spazio. Nel processo di sviluppo della scienza la parola etere ha più volte cambiato significato. Attualmente non sta più a denotare un mezzo che sia in qualche modo costituito da particelle materiali. La sua storia non è però in alcun modo terminata e continua nella teoria della relatività.¹²

[...] non potremo fare a meno dell'etere, cioè di un continuo fornito di proprietà fisiche, perché la teoria della relatività generale, i cui punti di vista generali i fisici di certo terranno sempre ben fermi, esclude un'azione a distanza diretta. Ma ogni teoria di azione per contatto presuppone dei campi continui, dunque anche l'esistenza di un «etere».¹³

In *Campo e materia*, nel libro *L'evoluzione della Fisica*, Einstein e Leopold Infeld (1898-1968) sottolinearono che non poteva esistere alcuna differenza qualitativa fra campo e materia¹⁴:

La teoria della Relatività insegna che la materia rappresenta un enorme serbatoio di energia, e che energia significa materia. In questa situazione non possiamo separare qualitativamente materia e campo, perché la distinzione fra massa ed energia non è affatto qualitativa. [...] Non ha alcun senso considerare materia e campo come due qualità interamente diverse. Non possiamo immaginare alcun settore in cui campo e materia siano nettamente separati. [...] Dopo il riconoscimento dell'equivalenza fra massa ed energia la classificazione in materia e campo è qualcosa di artificiale e di non chiaramente definito. [...] *La materia c'è là dove esiste una grande concentrazione di energia, il campo esiste dove la concentrazione di energia è piccola*. Ma se le cose stanno così la distinzione fra materia e campo è quantitativa piuttosto che qualitativa.

Riportando le conclusioni di Ludwik Kostro:

Il "vuoto" non è più un vero vuoto ed è per questo che Einstein era del parere che dovesse essere chiamato "pieno" dato che costituisce un mezzo materiale, sui generis ma fondamentale, che

¹¹ [Jammer, 1954] edizione italiana pag. 11-12

¹² Albert Einstein, *L'evoluzione della fisica*, citato e tradotto in [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 252

¹³ Albert Einstein, *Über den Äther* (raccolta scritti scientifici di Albert Einstein, riferimento Schilpp 186, 1924), citato in [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 252

¹⁴ Citazione e traduzione del libro di Einstein e Infeld in [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 195, corsivo aggiunto

possiede una struttura reale assieme ad altre proprietà fisiche. Dal momento che il vuoto ha proprietà fisiche effettive e, come campo fondamentale, contiene una certa distribuzione di energia, abbiamo buone ragioni per chiamarlo "nuovo etere"¹⁵.

Letteratura e fonti

Jacobson e Mattingly, 2004 - Ted Jacobson e David Mattingly, *Einstein-Aether Waves* (Physical Review, D70:024003, 2004)

Jammer, 1954 - Max Jammer, *Storia del concetto di spazio* (Feltrinelli, Milano 1963); edizione originale *The History of Theories of Space in Physics* (Harvard University Press, Cambridge Mass., 1954)

Kostro, 2000 - Ludwik Kostro, *Einstein e l'etere* (edizioni Dedalo, Bari, 2001) edizione originale *Einstein and the Ether* (Apeiron, 2000)

Russo, 2020 - Lucio Russo, *Flussi e Riflussi. Indagine sull'origine di una teoria scientifica* (prima edizione Feltrinelli 2003, edizione completamente rivista Mondadori Educational spa, Milano 2020)

¹⁵ [Kostro, 2000] edizione italiana pag. 250