

I precedenti nel pensiero antico del concetto di etere della fisica moderna

Lucio Russo

1. Aristotele

Il moderno termine *etere* è una traslitterazione della parola greca αἰθήρ, presente già nei poemi omerici. Il termine greco, che originariamente poteva significare cielo, aria, fumo..., finì con l'essere usato soprattutto per l'aria particolarmente tenue e tersa, o anche per una sostanza non direttamente accessibile, che si pensava fosse dotata più dell'aria di queste qualità. L'etere appare in vari filosofi presocratici con significati che sembrano oscillanti. Empedocle lo nomina più volte, in qualche caso apparentemente nel senso di aria (in particolare parlando della respirazione¹) e in altre occasioni per indicare una sostanza specifica, che tuttavia non affianca mai la terra, l'acqua, l'aria e il fuoco come ulteriore elemento. Per Parmenide l'etere forma un sottile strato a immediato contatto con il cielo.² Anassagora, secondo il parere di Aristotele, aveva peccato di imprecisione, chiamando *etere* il fuoco,³ e questa critica sembra confermare che il significato del termine non fosse ancora ben consolidato ai suoi tempi. Platone, che usa il termine molto raramente, sembra dargli anch'egli diversi significati: in un caso intende per etere la parte più pura dell'aria⁴, e un'altra volta un elemento più tenue, situato nelle regioni superiori, che ha con l'aria la stessa relazione che l'aria ha con l'acqua⁵.

Un punto di partenza del percorso che ha portato al concetto di etere della fisica dell'età moderna può essere individuato nelle opere di Aristotele, nella cui cosmologia l'etere riveste (probabilmente per la prima volta) un ruolo ben definito.

Aristotele descrive e “dimostra” le proprietà fondamentali dell'etere nel *De caelo*, dedicandogli tre capitoli del primo libro dell'opera.⁶ L'etere vi è concepito come il quinto corpo semplice (oltre terra, acqua, aria e fuoco), o meglio come il “primo corpo”, caratterizzato dall'aver come proprio moto naturale il moto circolare e dall'essere, a differenza degli altri quattro corpi, incorruttibile, immutabile e impassibile. Il suo luogo naturale è l'ultimo cielo, al quale conferisce l'immutabilità e il caratteristico moto di rotazione, eterno e costante.

¹ Empedocle, fr. B100 (Diels).

² Parmenide, fr. A37 (Diels).

³ Aristotele, *De caelo*, 270b, 24.

⁴ Platone, *Timaeus*, 58D.

⁵ Platone, *Phaedo*, 111 A-B.

⁶ Aristotele, *De caelo*, I, capp. 2, 3, 4 (268b, 14 - 271a, 33).

L'esposizione aristotelica lascia aperti diversi problemi: ad esempio non è chiaro il ruolo relativo dell'etere e del *primo motore* (in quanto l'origine del moto dei cieli è attribuito, in opere diverse, all'uno o all'altro) come non lo è l'eventuale presenza dell'etere nei cieli inferiori. Non affronteremo tali problemi, anche perché, volendo rintracciare i precedenti antichi del concetto di etere della scienza moderna, i passi in cui Aristotele definisce il ruolo dell'etere nella sua cosmologia hanno un interesse piuttosto limitato. Ben più interessanti, dal nostro punto di vista, sono le dimostrazioni di Aristotele dell'impossibilità del vuoto e le concezioni da lui esposte sulla propagazione della luce.

Aristotele fornisce varie dimostrazioni dell'impossibilità del vuoto nel IV libro della *Fisica*. Uno degli argomenti principali si basa sulla considerazione che nel "vuoto", inteso come totale assenza di proprietà, non possono esservi differenze tra luoghi.⁷ Come conseguenza di quest'assoluta omogeneità, un corpo in moto nel vuoto non potrebbe scegliere alcun luogo particolare in cui fermarsi. Lo spazio aristotelico, concepito come costituito necessariamente da luoghi tra loro diversi, non può quindi sussistere in assenza di qualsiasi tipo di realtà fisica, ma richiede un supporto concreto. Aristotele non parla esplicitamente in questa sede di etere, ma le sue dimostrazioni dell'inesistenza del vuoto possono essere lette come dimostrazioni dell'esistenza di una sostanza che riempie il cosmo, con la funzione di offrire la possibilità di determinazioni spaziali. Si tratta di una funzione che in parte anticipa un aspetto delle teorie ottocentesche dell'etere.

Le dimostrazioni di Aristotele dell'impossibilità del vuoto sono state spesso considerate un tipico esempio della pretesa della filosofia aristotelica di fornire dimostrazioni a priori su questioni risolubili solo con esperimenti. La scienza moderna sarebbe nata grazie al coraggioso abbandono dei tradizionali argomenti a priori da parte dei fondatori del metodo sperimentale. Si deve però osservare che il "vuoto" negato da Aristotele è stato rifiutato non solo dai fisici dell'Ottocento che credevano nell'esistenza dell'etere, ma anche dai fisici successivi che, usando il termine "vuoto" per realtà ricche di proprietà di varia natura (come lo spazio vuoto della cosmologia, dotato di proprietà metriche, o lo stato "vuoto" della teoria dei campi), hanno condiviso nella sostanza, anche se non nella terminologia, l'idea aristotelica che sia contraddittorio accettare l'esistenza di un nulla assoluto.

Un'altra importante funzione dell'etere, anch'essa non indicata esplicitamente da Aristotele, è implicita nella sua concezione della luce, esposta in particolare nel *De anima* e nel *De sensu et sensibilibus*. Secondo Aristotele, che rifiuta le teorie corpuscolari proposte dagli atomisti, la luce non è una sostanza, ma un modo di essere del mezzo trasparente (*διαφανές*).⁸ La trasformazione (*ἀλλοίωσις*) del mezzo trasparente dallo stato oscuro allo stato luminoso non avviene grazie ad un trasporto di materia, ma è paragonabile a quella dell'acqua in ghiaccio. A differenza di quest'ultima, che può richiedere tempo per propagarsi a tutto il mezzo, la trasformazione da oscuro a luminoso è però istantanea.⁹

È chiaro, quindi, che per Aristotele la luce può trasmettersi solo attraversando un mezzo capace di subire trasformazioni. Poiché vediamo la luce che proviene dalle stelle, dobbiamo pensare che un tale mezzo trasparente occupi tutto lo spazio contenuto tra la Terra e il cielo delle stelle fisse.

⁷ Aristotele, *Physica*, 215a.

⁸ Aristotele, *De anima*, 418b, 9ss.

⁹ Aristotele, *De sensu et sensibilibus*, 446b, 25 ss.

L'etere di Aristotele si trova nell'ultimo cielo e non è quindi da lui identificato con il mezzo trasparente (διαφανές) che, secondo le affermazioni contenute nel *De anima* e nel *De sensu*, assicura la propagazione della luce dalle stelle a noi, e neppure con la sostanza che, data l'impossibilità del vuoto, deve necessariamente riempire il cosmo. Tali identificazioni furono tuttavia effettuate dopo Aristotele e grazie ad esse le idee aristoteliche che abbiamo trovato nei *Physica*, nel *De anima* e nel *De sensu* finirono con l'influenzare i successivi sviluppi del concetto di etere più della cosmologia esposta nel *De caelo*.

2. Etere e pneuma nel pensiero stoico

La funzione di generare il moto circolare del cielo, assegnatagli da Aristotele, continuò ad essere riconosciuta all'etere dagli Stoici¹⁰, per i quali però l'etere occupa tutta la regione compresa tra l'aria e la sfera delle stelle fisse.¹¹ All'esterno di tale sfera (cioè all'esterno del cosmo) si estende il vuoto infinito¹², al quale, come sappiamo da Cleomede, era assegnata una forma di realtà.¹³ Gli aristotelici, fedeli all'idea dell'impossibilità del vuoto, criticarono l'idea che il cosmo potesse essere immobile nel vuoto infinito¹⁴, ma, se si prescinde da questa polemica sulle eventuali realtà presenti al di là della sfera delle stelle, vi fu un sostanziale consenso degli Stoici non solo all'idea aristotelica dell'assenza di vuoto nello spazio cosmico, ma anche all'argomento che nel vuoto non sarebbero possibili determinazioni spaziali.¹⁵

Secondo molte fonti, è però il pneuma, e non l'etere, a riempire il cosmo della fisica stoica.¹⁶

In realtà il concetto di *etere* (αἰθήρ) finì con il sovrapporsi, almeno parzialmente, a quello di *pneuma* (πνεῦμα), che nella filosofia della natura degli Stoici riveste particolare importanza.¹⁷ La sovrapposizione, o, quanto meno, la stretta connessione, tra i concetti di etere e di pneuma è esplicitamente affermata da Stobeo¹⁸.

La circostanza che sia l'etere sia il pneuma siano considerati una *quinta* entità, che si aggiunge ai tradizionali quattro elementi¹⁹, senza che nessuno proponga di elevarne il numero a sei, conferma l'impressione che si tratti di termini e concetti alternativi, in concorrenza tra loro, e non di realtà concepite come diverse e coesistenti.

Nel pensiero stoico il cosmo è simile a un organismo: in entrambi i casi un mezzo continuo, grazie alla sua tensione (τόνος), assicura lo scambio delle informazioni tra le diverse parti e la coesione (ἔξις) del tutto. Il pneuma (che in contesti fisiologici non è mai sostituito dall'etere), oltre a costituire l'unità centrale, detta "egemonico" (ἡγεμονικόν), dell'organismo, che ne dirige tutte le funzioni, si estende fino alla

¹⁰ H. von Arnim, *Stoicorum Veterum Fragmenta*, Leipzig 1903-1905; edizione italiana: *Stoici antichi. Tutti i frammenti*, Milano 1998 (d'ora in poi SVF), II, 527, 571, 642.

¹¹ SVF, II, 527.

¹² SVF, II, 535, 536, 539, 542.

¹³ Cleomede, *Caelestia*, I, 1, 104-129 (ed. Todd).

¹⁴ Cleomede, *Caelestia*, I, 1, 81-97 (ed. Todd). Cfr. anche SVF, II, 552, 553.

¹⁵ SVF, II, 557.

¹⁶ SVF, I, 533; II, 543, 546.

¹⁷ Sulla fisica degli Stoici è ancora utile S. Sambursky, *Physics of the Stoics*, London 1959; repr. Princeton 1987.

¹⁸ SVF, II, 471.

¹⁹ SVF, II, 416, 417.

periferia, trasmettendo le informazioni, attraverso i nervi, dagli organi di senso all'egemonico e da questo ai muscoli.²⁰

La sostanza continua che, analogamente,²¹ riempie il cosmo e ne costituisce l'“egemonico”, assicurando la coesione del tutto e le interazioni tra le diverse parti, è detta a volte pneuma e a volte etere²². Alcuni autori discutono esplicitamente se la coesione del cosmo debba essere attribuita al pneuma o all'etere.²³ Qualunque sia il nome di questa sostanza ovunque diffusa, una delle funzioni riconosciutele è quella di trasmettere la luce. Cleomede, che preferisce parlare di pneuma, ne sintetizza le proprietà scrivendo:

Essendo queste le caratteristiche del vuoto, esso non si trova affatto nel cosmo, come d'altra parte è evidente dalle osservazioni. Se, infatti, la sostanza dell'universo non fosse ovunque omogenea, non potrebbe neppure per sua natura stare insieme e guidare il cosmo, né le parti di questo avrebbero reciproca *simpatia* (συμπάθεια). Inoltre, se il cosmo non fosse tenuto insieme da una sola tensione (τοννο") e un solo pneuma, diffuso in modo uguale in tutto l'essere, non ci sarebbe per noi neanche la possibilità di vedere e di udire: infatti l'esistenza tra le cose di spazi vuoti impedirebbe le sensazioni.²⁴

Il termine greco συμπάθεια (qui tradotto, secondo la tradizione, con il termine *simpatia* che ne è stato derivato) caratterizza la relazione esistente tra due enti che partecipano ad una sorte comune grazie ad una reciproca influenza. Esso è usato, ad esempio, a proposito di corde tese o altri oggetti che entrano in risonanza vibrando all'unisono (come accadeva ai risonatori di bronzo usati per migliorare l'acustica dei teatri).

Newton, accogliendo ancora entrambi i ruoli, cosmologico e fisiologico, del pneuma (che indica usando il calco latino *spiritus*), concluderà i *Philosophiae naturalis Principia mathematica* con considerazioni sul sottilissimo spirito che assicurerebbe sia le interazioni tra gli astri, sia la comunicazione, attraverso i nervi, tra le diverse parti dell'organismo.

3. La propagazione della luce nella scienza ellenistica

Il primo accenno ad una teoria ondulatoria della luce è stato da qualcuno individuato in un brano di Giovanni Filopono, della prima età bizantina. Commentando il *De anima* di Aristotele, e in particolare le affermazioni sulla luce che abbiamo già ricordato, Filopono scrive:

Come, se qualcuno muove l'estremità di una lunga corda tesa, tutta la corda immediatamente [ἀχρόνωσ] si mette in moto, per la continuità delle sue parti, seguendo il primo movimento, così bisogna

²⁰ SVF, II, 826-848.

²¹ L'analoga è a volte notata esplicitamente: ad esempio Galeno osserva che le modifiche dell'“aria” che permettono la trasmissione della luce sono analoghe a quelle del pneuma che permettono la comunicazione tra occhio e cervello (*De placitis Hippocratis et Platonis*, 641, ed. Müller).

²² SVF, II, 642-644.

²³ Cfr., ad esempio, Clemente Alessandrino, *Stromata*, V, 8.

²⁴ Τοιοῦτον δὲ ὑπάρχον τὸ κενὸν ἐν μὲν κόσμῳ οὐδ' ὅλως ἔστι. Δῆλον δὲ ἐκ τῶν φαινομένων. Εἰ γὰρ μὴ δι' ὅλου συμφυῆς ὑπῆρχεν ἡ τῶν ὄλων οὐσία, οὐτ' ἂν ὑπὸ φύσεως οἷόν τ' ἦν συνέχεσθαι καὶ διοικεῖσθαι τὸν κόσμον, οὔτε τῶν μερῶν αὐτοῦ συμπάθειά τις ἂν ἦν πρὸς ἄλληλα, οὔτε, μὴ ὑφ' ἐνὸς τόπου συνεχόμενου αὐτοῦ καὶ τοῦ πνεύματος μὴ δι' ὅλου ὄντος συμφυοῦς, οἷόν τ' ἂν ἦν ἡμῖν ὄραν ἢ ἀκούειν. Μεταξὺ γὰρ ὄντων κενωμάτων ἐνεποδίζοντο ἂν ὑπ' αὐτῶν αἰ αἰσθήσεις. (SVF, II, 546).

pensare che accada per l'azione della luce, grazie al suo propagarsi, dall'uno all'altro, a tutti i corpi del cosmo.²⁵

Il confronto, qui proposto, tra la propagazione della luce e il moto di una corda tesa (che in tutti i moderni libri di meccanica fornisce il prototipo dei fenomeni “ondulatori”) non può mancare di impressionare chi ricerchi le origini della teoria ondulatoria della luce. Ciononostante Giovanni Filopono ha scarsi titoli per essere considerato l'iniziatore dell'ottica ondulatoria.

Se per “teoria ondulatoria” si intende una teoria con qualche seria analogia con l'omonima teoria moderna, Filopono ne sembra lontano, non per ciò che afferma sulla luce, ma per la sua affermazione sulle vibrazioni della corda. Il moto della corda tesa, che a noi suggerisce istantaneamente il concetto di “onda”, è, infatti, da lui creduto propagarsi istantaneamente; le eventuali “onde” da lui considerate mancherebbero quindi di un requisito importante per essere considerate tali: una velocità di propagazione finita.

Nel pensiero ellenistico il concetto di “onda”, con velocità di propagazione finita, era stato tuttavia ben presente. Le onde sull'acqua si propagano, infatti, con una velocità ovviamente finita e diversi autori, riportando idee ellenistiche, affermano che la propagazione del suono avviene attraverso onde sferiche, analoghe (anche se con una dimensione in più) alle onde circolari che si possono facilmente provocare sulla superficie dell'acqua di uno stagno²⁶. D'altra parte la finitezza della velocità del suono era anch'essa ben nota²⁷ e probabilmente aveva anche contribuito a rafforzare l'analogia tra i due tipi di onde. Possiamo quindi affermare che l'antica acustica era stata certamente “ondulatoria”. Purché, naturalmente, con l'aggettivo “ondulatorio” non si intenda necessariamente la teoria matematica moderna basata sull'equazione delle onde, ma ci si riferisca semplicemente all'idea (originata dall'analogia con le onde sull'acqua, sulla quale è ancora basata la nostra terminologia) della propagazione, con velocità finita, di moti locali di un mezzo continuo, in assenza di trasporto di materia a lunga distanza.

Purtroppo le testimonianze sulle teorie ellenistiche relative alla propagazione della luce sono scarse e tarde. Alcuni autori attribuiscono agli Stoici l'opinione che la luce si propaghi attraverso la tensione del pneuma.²⁸ Secondo Alessandro di Afrodisia e Aezio sia la tensione del pneuma che quella dell'aria avrebbero un ruolo nella teoria stoica della visione.²⁹ Diogene Laerzio e Galeno, riportando affermazioni analoghe alle precedenti, aggiungono che la luce si propaga come attraverso una canna.³⁰ Il pneuma assicura la comunicazione tra le diverse parti degli organismi e dell'universo (e quindi, in particolare, la trasmissione della luce) grazie ad un suo caratteristico moto,

²⁵ και ὡσπερ εἰ σχοίνου τις μακρᾶς καὶ διατεταμένης τὸ ἄκρον κινήσειε, πᾶσα ἢ σχοῖνος ἀχρόνως συγκινεῖται διὰ τὴν τῶν μορίων συνέχειαν, τοῦ προτέρου κινουμένου τὸ ἐχόμενον, οὕτω δεῖ νοεῖν καὶ ἐπὶ τῆς τοῦ φωτὸς ἐνεργείας γίνεσθαι, διὰ τὸ πάντα ἐφεξῆς τὰ τοῦ κόσμου σώματα ἀλλήλων ἄπτεσθαι. (Giovanni Filopono, in *Arist. De anima comm.*, 330, 15-19).

²⁶ Cfr. Diogene Laerzio, *Vitae philosophorum*, VII, 158; SVF II, 425.

²⁷ Cfr., ad esempio, Sesto Empirico, *Adversus mathematicos*, V, 69 (dove, tra le osservazioni che provano la velocità finita del suono, si ricorda che, quando un boscaiolo abbatte un albero, il rumore è udito dopo che si è visto cadere l'albero).

²⁸ SVF II, 863.

²⁹ Cfr. SVF II, 864, 866.

³⁰ SVF II, 865, 867.

che vari autori chiamano *moto tensionale* (τονική κίνησις)³¹ ed è a volte descritto come un moto simultaneo in versi opposti (εἰς τὸ ἐναντίον ἅμα κίνησις).³²

L'idea, diffusa, che la luce si propaghi attraverso i moti di un mezzo in tensione allude abbastanza chiaramente ad un'analogia tra luce e fenomeni acustici.

D'altra parte chi, come gli Stoici, respingeva la teoria corpuscolare della luce (che risaliva a Democrito ed era stata accettata dagli Epicurei) avrebbe potuto difficilmente evitare di ricorrere alla facile analogia con i fenomeni acustici, che era suggerita sia dall'ovvia corrispondenza tra i sensi della vista e dell'udito, sia dal tradizionale legame tra etere e aria (risalente all'origine stessa del concetto di etere).³³

Non abbiamo fonti che, estendendo l'analogia tra acustica e ottica, affermino che la propagazione della luce dovuta al moto tensionale del pneuma avviene con velocità finita. Si deve ricordare, però, che già Aristotele, sostenendo l'istantaneità della propagazione della luce, aveva dovuto polemizzare contro l'opinione opposta di Empedocle, secondo il quale siamo ingannati dalla grande velocità della luce, che ci fa apparire istantanea la sua propagazione.³⁴

In definitiva, l'idea qualitativa che la propagazione della luce, analogamente a quella del suono, potesse avvenire grazie alle vibrazioni di un mezzo continuo è attestata ben prima dell'epoca di Filopono. D'altra parte non abbiamo fonti che ci autorizzino ad ipotizzare l'esistenza di un'antica teoria ondulatoria della luce simile a quella moderna, né dal punto di vista della descrizione matematica, né dal punto di vista sperimentale. In particolare non sappiamo che la teoria corpuscolare fosse stata criticata (come avvenne nell'età moderna) sulla base dell'osservazione di fenomeni considerati con essa incompatibili.

L'etere, o il pneuma, assicurava anche la coesione (ἔξις) del cosmo³⁵. L'interazione tra astri diversi, che noi chiamiamo gravitazionale, è attestata da varie fonti e sembra essere nata in relazione al fenomeno delle maree e in particolare al ruolo svolto in tale fenomeno dalla Luna³⁶. È quindi particolarmente interessante un passo di Aezio, riportato da Stobeo e dallo pseudo-Plutarco, in cui, attribuendo l'idea a Seleuco di Babilonia, si attribuisce la causa delle maree al pneuma contenuto tra la Terra e la Luna, che sarebbe teso contemporaneamente in entrambi i versi (ἀντιπερισπωμένος): una precisazione che ricorda le caratteristiche che la fisica stoica assegnava al *moto tensionale* del pneuma.³⁷

4. Etere antico e scienza moderna

Lo studio dei rapporti tra scienza antica e scienza moderna presenta il rischio di leggere gli antichi testi o testimonianze col senno di poi, retrodatando indebitamente concezioni a noi familiari sulla base di appigli terminologici o altri argomenti di scarsa consistenza. D'altra parte non bisogna dimenticare che le antiche opere hanno costituito

³¹ Cfr. SVF, II, 450-454.

³² Alessandro di Afrodisia, *De mixtione*, 224, 24; cfr. anche SVF II, 471.

³³ L'analogia tra etere e aria è spesso citata. Cfr., ad esempio, Cicerone, *De natura deorum*, II, 66.

³⁴ Aristotele, *De anima*, I, c.; Giovanni Filopono, in *Arist. De anima comm.*, 344, 34 – 345, 2.

³⁵ SVF II, 447.

³⁶ Cfr. L. Russo, *The astronomy of Hipparchus and his time: a study based on pre-Ptolemaic sources*, *Vistas in Astronomy*, 38, 207-248, 1994.

³⁷ Cfr. H. Diels, *Doxographi graeci*, Berlin 1879, 383a, 17-25, 383b, 26-34. Considerazioni analoghe sono in Cicerone (*De divinatione*, II, 34; *De natura deorum*, II 19).

importanti fonti degli scienziati della prima età moderna, ai quali hanno fornito molto più di un repertorio di termini greci. Nel nostro caso la scienza antica ha fornito a quella moderna, insieme al termine *etere* (che finì col prevalere, nell'uso moderno, sui suoi rivali *pneuma* e *spirito*), l'idea che un mezzo continuo, omogeneamente diffuso, capace di propagare un caratteristico "moto tensionale" attraverso una successione continua di contatti tra le proprie parti, potesse assicurare sia la possibilità stessa di determinazioni spaziali, sia la trasmissione della luce e le altre interazioni tra corpi lontani, senza alcuna necessità né di interazioni a distanza né di emissioni di particelle. Queste idee furono trasmesse dalle antiche fonti, attraverso scienziati come Descartes, Boyle e Newton, ai fisici moderni, fornendo loro un'indicazione su una possibile direzione qualitativa in cui sviluppare le nuove teorie e un elemento della cornice generale in cui inquadrarle.