
Comitato per la Edizione Nazionale delle Opere di

FEDERIGO ENRIQUES

ENRIQUES, FEDERIGO

La relatività del movimento nell'antica Grecia

in I fondamenti della relatività einsteiniana, Koppf, A. ed., Hoepli, Milano, 1923, pp. 385-400. (ed. it. a cura di R. Contu e T. Bembo, prefazione di G. Armellini)



L'utilizzo di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali.

Il presente testo è stato digitalizzato nell'ambito del progetto "Edizione nazionale delle opere di Federigo Enriques"

promosso dal

Ministero per i Beni e le attività Culturali

Area 4 – Area Archivi e Biblioteche

Direzione Generale per i Beni Librari e gli Istituti Culturali

LA RELATIVITÀ DEL MOVIMENTO NELL'ANTICA GRECIA (1).

1. — Oggi che le idee di EINSTEIN stanno rinnovando le basi della teoria meccanica dell'universo, è interessante studiare lo sviluppo storico della grande controversia a cui ha dato luogo il concetto del movimento. Il relativismo di DESCARTES, di fronte a cui trionfò provvisoriamente, con NEWTON, la concezione del movimento assoluto, non è un'idea nuova che si affacci nel rinascimento scientifico, ma — al pari di tutte le grandi idee di quel fortunato periodo — trae le sue origini dall'antica Grecia. Pure queste origini sono ancora nascoste dietro il velo di una tradizione che le vedute dei novatori dipinge come assurdi e contraddizioni. Rimuovere il velo e ricostruire nella sua chiara luce il pensiero dei filosofi che concepirono dapprima la relatività del movimento, è lo scopo che prefiggiamo alla presente ricerca.

2. — Giova illustrare anzitutto lo stato dell'opinione scientifica dei Greci per riguardo al concetto della relatività in genere, quale si affaccia fin dagli inizi della speculazione ionica.

ANASSIMANDRO di Mileto (610-545 (*) a. C.) ci è chiaramente indicato da ARISTOTELE come autore di una teoria per cui la Terra sta isolata nello spazio e si trova così in equilibrio perchè, l'alto e il basso essendo puramente relativi, non vi sarebbe ragione che dovesse cadere in una direzione piuttosto che in un'altra.

Riferisce precisamente ARISTOTELE (*De Coelo*, II, 13): « Ci sono alcuni che dicono che essa (la Terra) sta ferma per la simmetria (*διὰ τὴν ὁμοίτητα*) come fra gli antichi ANASSIMANDRO.

(1) *Periodico di Matematiche*, marzo 1921.

(*) Le date che qui vengono indicate senza discussione sono soltanto probabili, e mirano solo ad un orientamento cronologico approssimativo del lettore.

Poichè ciò che è posto nel mezzo e si trova similmente rispetto agli estremi non può muoversi piuttosto verso l'alto che verso il basso o verso le parti: e insieme è impossibile che il movimento avvenga in direzioni opposte, dimodochè necessariamente sta fermo ».

Vero è che ARISTOTELE non ha compreso il valore di questo magnifico argomento, e — secondo il suo costume — lo prende a dileggio, invocando il celebre paragone dell'uomo affamato e assetato che posto ad uguale distanza da cibi e bevande dovrebbe morire di fame e di sete; ma tale atteggiamento del critico è ben fuori dal diminuire il valore della sua testimonianza.

Ora l'argomento di ANASSIMANDRO getta una viva luce sulla scienza che l'antico filosofo aveva raggiunto: noi lo troviamo in possesso di quel principio che altri grandi antichi dovevano adoperare a loro volta, e che — nel mondo moderno — fu espressamente formulato dal LEIBNIZ come *principio di ragion sufficiente*; d'altra parte lo vediamo elevarsi al concepimento astratto della relatività della direzione « alto e basso ». Per renderci conto di quel che dovesse significare per gli spiriti contemporanei una tale scoperta, basta riflettere quale accoglienza hanno ricevuta in tempi più vicini a noi, idee somiglianti, venute a scuotere le menti dalla certezza ingenua dell'apparenza sensibile: quando per esempio, nel medio evo, si riaffacciò la veduta degli antipodi (che ebbe ad essere condannata come eretica), ovvero quando il sistema astronomico di COPERNICO dette motivo alla persecuzione di GALILEO.

Ma la mente mobile dei Greci non poteva fermarsi ad una scoperta isolata. La loro indole filosofica li portava naturalmente ad estendere a tutti i campi dello scibile, il principio riconosciuto in un campo particolare. Così appunto troviamo gli immediati successori di ANASSIMANDRO imbevuti dell'idea della relatività: citiamo soltanto SENOFANE di Colofone (545-470 a. C.) che primo rilevò la concezione relativa che gli uomini si fanno degli Dei a somiglianza di loro stessi, ed ERACLITO d'Efeso (535-475) i cui frammenti, pur nella oscurità di un linguaggio che *accenna* ad imitazioni degli oracoli, ci mostrano tuttavia una vigorosa concezione relativistica del mondo.

Non è qui il luogo per soffermarsi ad indagare più da vicino i rapporti che tutto questo sviluppo d'idee ha col concetto primitivo di ANASSIMANDRO e con altri principii dello stesso filo-

sofo. Ma, convien dire che l'argomento di ANASSIMANDRO sull'equilibrio della Terra viene attribuito dai dossografi ⁽¹⁾ anche a PARMENIDE d'Elea (n. circa il 540 o il 510 a. C.) che TEOFRASTO ci indica come il primo sostenitore della sfericità della Terra, da FAVORINO fatta risalire a PITAGORA ⁽²⁾. Comunque, il legame fra PARMENIDE ed ANASSIMANDRO si deve ritenere strettissimo, attraverso la doppia influenza di PITAGORA — importatore della cultura ionica nelle colonie greche della Sicilia e dell'Italia meridionale — e di SENOFANE, che la tradizione mette a capo della scuola d'Elea, di cui PARMENIDE fu maestro.

3. — Altra volta ⁽³⁾ ho accennato alle dottrine geometriche di PARMENIDE, che ritengo essenziali per spiegare la filosofia di questo razionalista metafisico, che PLATONE ci descrive colle parole d'OMERO, augusto e terribile nella sua grandezza (*Teeteto*, 183 e); e più avanti avrò pure da ritornare su questo aspetto della filosofia eleatica. Ma ora voglio mostrare in PARMENIDE l'autore del concetto della relatività del movimento. Prima di ciò convien dire in qual modo le sue vedute sul movimento vengono comunemente esposte secondo la tradizione.

Quando qualche giornalista vuol mettere in ridicolo taluno che — per seguire idee preconcepite — non si perita a negare le cose più evidenti del senso comune, assai volentieri richiama l'antico maestro d'Elea: « non per nulla PARMENIDE negava il movimento! ». Ma certo il nostro filosofo non sarebbe stato turbato da cotali dileggi. Egli, che — nella austera coscienza del suo razionalismo matematico — inseguiva la divina Verità, poco curando le opinioni dei mortali che errano lontano dalla vera fede, sapeva troppo bene che i suoi argomenti paradossali suonavano sfida al senso comune, per meravigliarsi delle grida del volgo. Sembra anzi che l'uso di siffatti argomenti, così caratteristico degli ELEATI, fosse ricercato da loro, non soltanto per ridurre all'assurdo le tesi avversarie, ma anche per richiamare l'attenzione del pubblico sopra verità astratte ed ardue che, attraverso questo modo litigioso di esposizione, venivano più largamente diffuse nel mondo scientifico.

(1) Cfr. *Aetii Flacita*, III, 15, 7 in DIELS, *Dox. Graeci*, pag. 380.

(2) Cfr. DIOC. LAERZIO, VIII, 48 (DIELS, *Dox. Graeci*, pag. 492, 17).

(3) *Sul procedimento di riduzione all'assurdo*. Bollettino della « *Mathesis* », aprile 1919.

Comunque, se la negazione del movimento fu effettivamente pronunziata da PARMENIDE, è — più che lecito — doveroso domandarsi quale sia esattamente il significato di una tale negazione nella mente del filosofo, onorato da tutta l'antichità, e se per avventura essa costituisca l'aspetto paradossale di una verità più profonda, in cui altri non riuscì a cogliere se non l'assurdo apparente. Rifiutare l'accettazione di un simile presupposto, sotto il pretesto che modi di pensare oggi assolutamente impossibili, debbono ammettersi come naturali e plausibili nell'infanzia del pensiero umano, sarebbe rinunciare al solo criterio che ci è dato per ricostruire la storia della scienza antica, e — direi anche — la storia in generale; giacchè, in tanto possiamo sperare di comprendere l'uomo del passato, in quanto lo riteniamo simile a noi stessi, almeno per la ragione, fatta pure la debita differenza della cultura: ed evidentemente, nessuno — pur disposto a concedere all'orgoglio della nostra epoca — pretenderà che il fenomeno del moto costituisca una scoperta moderna.

La tradizione che ci indica PARMENIDE negatore del movimento si riattacca ad antichi ed autorevoli testimoni. Già PLATONE (*Teet.*, 180 e) discorre di quanti dimostrarono che « all'universo conviene il nome di immobile » e dei principii che i Melissi ed i Parmenidi sostengono « che tutte le cose sono l'uno, e che questo rimane lo stesso nello stesso, non avendo luogo in cui muoversi (*αὐτὸ ἐν αὐτῷ, οὐκ ἔχον χρόνον ἐν ᾧ κινεῖται*) ». Non si trova tuttavia, nel seguito del dialogo, una vera discussione delle idee di PARMENIDE qui accennate, ma piuttosto una timida riserva (183 e) e là dove SOCRATE dice: « Se bene io abbia pudore a discorrere in modo volgare di MELISSO e degli altri, i quali pongono il tutto come uno ed immobile, pure il solo PARMENIDE m'incute più pudore di tutti gli altri... Temo che noi non comprendiamo le cose dette da lui, e che per la maggior parte ci sfugga il vero significato delle sue parole... ».

Questa riserva, preludente a un mutamento d'indirizzo del discorso, potrebbe forse interpretarsi nel senso che la discussione, condotta — nel dialogo platonico — come polemica antieracleita, sul terreno formale dell'invariabilità delle idee, si allontani consapevolmente dal contenuto fisico della dottrina che PARMENIDE aveva in vista. Comunque, il riferimento di PLATONE vale a stabilire che PARMENIDE, non negava il movimento dei corpi, ma

il movimento del mondo, cioè dell'universo in cui si unificano tutte le cose, che solo egli considera razionalmente *esistente*: infatti la dottrina parmenidea porta che l'*esistente* (o l'ente) — ciò che noi diremmo la materia estesa — riempie di sè tutto il mondo, indivisibile, continuo, limitato a guisa di sfera ⁽¹⁾, non lasciando alcun vuoto che permetta di distinguere una molteplicità di enti. Su questo punto sono concordi tutte le testimonianze ⁽²⁾, e — come vedremo — anche le stesse parole del filosofo. Ma il confronto dei testi indica che il motivo addotto per spiegare l'immobilità dell'universo (che — tutto essendo pieno, — non ha posto in cui muoversi) si riferisca, non già a PARMENIDE, ma a MELISSO (*), il quale concepiva l'ente (il mondo) non più come limitato bensì come infinito: infatti ritroviamo la detta affermazione nei frammenti del filosofo di Samo ⁽³⁾.

Qual'era invece il fondamento proprio del giudizio di PARMENIDE?

Fortunatamente la critica filologica ha potuto ricostruire assai larghi frammenti del poema dell'Eleate, sicchè possiamo appoggiarci con fiducia alle sue stesse parole.

Dopo avere insistito su ciò, che quanto esiste (la materia estesa) forma un tutto unico — ente o mondo — perchè non vi è alcun vuoto atto a separare diversi enti, PARMENIDE così dice del mondo ⁽¹⁾:

« Ora esse è immobile nei limiti dei saldi legami... »

Lo stesso e nello stesso rimanendo è in quiete rispetto a se stesso, e in tal guisa è anche immobile ».

Abbiamo tradotto con particolar cura gli ultimi versi che sono decisivi per la nostra tesi:

ταύτων τ'έν ταύταις τε μένον καθ'έκαστό τε κείται
χούτως ἔμπεδον αὖθι μένει.....

(1) Cfr. p. es. i versi 22-26 e 42-43 del *Frag. 8* in DIELS, *Fragmente der Vorsokratiker* (Bd. I, 3^a ed., pagg. 156-57).

(2) Cfr. p. es. *Aetia Placita*, I, 24, 1 (DIELS, *Dox.*, pag. 320) e PLUT., *Strom.*, 5 (ibidem, pag. 580).

(*) Melisso di Samo (comandante della flotta vincitrice degli Ateniesi nel 441/0) si riattacca per le dottrine alla scuola d'Elea, ed è ritenuto da PLATONE e ARISTOTELE come un pensatore di second'ordine.

(3) Cfr. DIELS, *Die Fragmente der Vorsokratiker*; MELISSO, 7, 7 (3^a ed., Vol. I, pag. 189).

(4) *Fr. 8. v. 26-30* in DIELS, *Fragmente*, op. cit., pag. 156.

rilevando il significato di relazione della particella *κατά*, che sembra trascurato di solito dai traduttori.

A nostro avviso abbiamo qui la chiara spiegazione del concetto dell'autore: « Il movimento del mondo non può essere definito in relazione a qualcosa fuori di esso, perchè fuori del mondo (che è l'ente unico) non vi è nulla. E poichè, d'altronde, il mondo è in quiete relativamente a se stesso, in *sensu assoluto* esso deve ritenersi immobile ».

Se, come crediamo, queste parole esprimono soltanto la traduzione in linguaggio moderno del pensiero parmenideo, la tesi della « negazione del moto » significa in realtà la « negazione del moto assoluto » e l'applicazione all'universo (ritenuto come limitato) del concetto della relatività del moto.

Che cosa importi una siffatta interpretazione — specialmente nei riguardi del problema astronomico del movimento della Terra — esamineremo fra poco. Qui vogliamo subito indicare una conferma che ci viene suggerita da alcuni testi di SIMPLICIO. Questi — spiegando la tesi di MELISSO, con evidente parafrasi delle sue stesse parole — reca un passo che il MULLACH ebbe già ad attribuire come frammento allo stesso MELISSO, ma che — se pur non è tale, siccome opina il DIELS — illustra bene i motivi più profondi della dottrina eleatica, poichè difficilmente potrebbe essere stato inventato dal commentatore. Ecco il passo:

(SIMPLICIO, *Phys.*, 103, 13 [1]):

εἰ δὲ τοῦτο, μὴ κινεῖσθαι, οὐχ ὅτι μὴ δυνατόν διὰ πλήρους κινεῖσθαι, ὡς ἐπὶ τῶν σωμάτων λέγομεν, ἀλλ'ὅτι πᾶν τὸ ὄν οὔτε εἰς ὃν δύναται κινήθῃναι (οὐ γὰρ ἔστι τι παρ'αὐτὸ) οὔτε εἰς τὸ μὴ ὄν· οὐ γὰρ ἔστι τὸ μὴ ὄν.

Cioè:

« Così essendo, non si muove; non già che non sia possibile movimento nel pieno, come lo diciamo pei corpi, ma perchè tutto l'ente non può muoversi, nè verso l'ente (poichè non vi è nulla fuori di esso) nè verso il non-ente, poichè non vi è non-ente ».

4. — PARMENIDE ha posto soltanto l'immobilità (in senso assoluto) del mondo; ai suoi successori, e particolarmente al

(1) Cfr. DIELS, *Fragmente* « Paraphrase des Fragments », 7 (linea 23), op. cit., pag. 189 nota.

suo prediletto discepolo ZENONE d'Elea (di 25 anni più giovane) si suole attribuire una negazione più radicale del movimento di tutte le cose. Si richiamano a tale proposito i famosi argomenti di cui ci parla ARISTOTELE in *Phys.*, VI, 9 (ed. Didot). Riferiamoli e spieghiamoli brevemente.

« Vi sono, sul movimento, quattro λόγοι di ZENONE, la cui soluzione presenta delle difficoltà. Il primo dice che non vi è movimento perchè il mobile deve percorrere prima la metà della distanza per giungere al termine. Il secondo è quello che vien detto "l'Achille": consiste in ciò, che il più lento non verrà mai raggiunto nella corsa del più rapido, perchè bisogna che questo arrivi prima al punto da cui quello è partito, dimodochè il più lento avrà sempre qualche vantaggio ».

PAUL TANNERY⁽¹⁾ ha avuto l'idea geniale di scopiire in tali argomenti una riduzione all'assurdo dell'ipotesi monadica posta a base della geometria pitagorica: se il punto è concepito come una monade avente una qualche estensione, si deduce che la somma di un numero infinito di segmenti è necessariamente infinita e quindi le deduzioni di ZENONE diventano rigorosamente esatte. Questa veduta si accorda con quanto possiamo argomentare sulla più antica dottrina dello spazio nella scuola di PITAGORA. Appare qui una concezione empirica che assimila il punto al granellino di sabbia, e consente di ritenere le figure quali « somme di punti », edificando su tale supposto la teoria della misura; per modo che la scoperta dell'incommensurabile (suggerita dalla relazione fra i quadrati dei lati del triangolo rettangolo isoscele) dovette condurre, nella stessa scuola, ad una crisi dei principii.

Il TANNERY confronta gli anzidetti argomenti di ZENONE con ciò che SIMPLICIO riferisce sulla polemica dell'Eleate « contro la pluralità degli enti »; e dimostra — a mio avviso in maniera irrefutabile — che il significato di codesta polemica era appunto questo, di « negare che le cose possano essere collezioni di punti, perchè, il punto essendo privo d'estensione, aggiungendolo o togliendolo non si riesce ad aumentare o diminuire una qualsiasi grandezza » (*).

La spiegazione del TANNERY non viene menomata, anzi

(1) *Pour l'histoire de la science hellène*. Parigi, 1887.

(*) A conferma vale anche l'interpretazione dello stesso ARISTOTELE: *cir. p. es. Met.*, II, 4 (28).

integrata, dall'osservazione dello ZEUTHEN⁽¹⁾ che il primo argomento di ZENONE porge la divisione del numero 1 in infinite parti corrispondenti ai termini della progressione geometrica:

$$1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots,$$

e che il secondo indica la scoperta della somma di una progressione geometrica qualsiasi; infatti ad una tale progressione conduce precisamente l'Achille, e il problema di determinare sulla retta il punto d'incontro di due mobili aventi velocità uniforme, si risolve coi mezzi offerti dalla geometria pitagorica del tempo, equivalenti alle nostre equazioni di primo grado. Pongasi, p. es., che Achille dia ad una tartaruga il vantaggio di 100 m. e si muova con velocità 10 volte maggiore; lo spazio percorso dalla tartaruga fino al punto d'incontro verrà dato da

$$10x = x + 100,$$

cioè

$$x = \frac{100}{9} = 11, \text{ III} \dots,$$

essendo 100, 10, 1, 0,1, 0,01... i successivi intervalli che separano Achille dalle posizioni occupate dal suo competitore.

Anzi appare di qui tutto il valore positivo della critica di ZENONE, che prelude a quei metodi d'analisi infinitesimale di cui — poco più tardi — DEMOCRITO dovette far uso per la scoperta del volume della piramide (riferitaci da ARCHIMEDE) e a cui EUDOSSO di Cnido ha dato forma rigorosa col metodo di esaustione e colla teoria dei rapporti incommensurabili (libro V di EUCLIDE). Ed è degno di nota che il principio di EUDOSSO posto a base del metodo d'esaustione, riproduca precisamente il postulato che si rileva dalla dicotomia di ZENONE: «dividendo una grandezza successivamente per 2, per 4 ecc., si giunge ad una parte più piccola di qualsiasi grandezza assegnata»⁽²⁾.

Sotto una forma poco diversa lo stesso postulato compare in ARCHIMEDE (da cui, di solito, viene impropriamente designato); questi⁽³⁾ assume come lemma per la quadratura della parabola

(1) *Histoire des Mathématiques*, trad. francese. Paris, 1902, § 6, pag. 54.

(2) Cfr. EUCLIDE, *Elementi*, L. 5^o, def. 4, e L. 10^o, prop. 1 (vedi ZEUTHEN, op. cit., § 20, pag. 137).

(3) Opere ed. Heiberg, t. II, pag. 276. Cfr. LORIA, *Le scienze esatte nell'antica Grecia*, Hoepli, 1914, pag. 143.

che « dati due spazi diseguali l'eccesso del maggiore sul minore, addizionato a se stesso un certo numero di volte può sorpassare un dato spazio finito ».

Alla spiegazione sopra riferita del TANNERY, crediamo sia soltanto da aggiungere la veduta che la polemica antipitagorica contro la concezione monadica dello spazio s'inizî già — in una forma meno matematica — con PARMENIDE: come accennammo nel citato articolo « Sul procedimento di riduzione all'assurdo ». Ma, qualunque cosa si pensi intorno a ciò, è sufficiente qui aver fissato il senso dei due primi argomenti di ZENONE sul moto: che non è già di negare il moto, ma di ridurre all'assurdo la concezione monadica dello spazio.

5. — Che cosa diremo ora del terzo e del quarto argomento di ZENONE?

Il terzo argomento è quello della freccia: in ogni istante essa occupa una posizione determinata, ma occupare una posizione per un dato istante significa essere in quiete per quell'istante, dunque la freccia — essendo in quiete ad ogni istante — non si muove.

ARISTOTELE stesso ci dice (l. c.) che la deduzione risulta dal prendere il tempo come somma d'istanti; l'argomento mira dunque a mostrare che anche il tempo, come lo spazio, è un continuo, non concepibile quale somma di elementi indivisibili.

Secondo il TANNERY ⁽¹⁾, ZENONE risponderrebbe in tal guisa ad un avversario che oppugnasse i due primi argomenti, adducendo che ad ogni posizione successiva del punto mobile corrisponda un istante; così come il quarto argomento — che menzioneremo tra poco — dovrebbe refutare l'ipotesi che ogni istante corrisponda invece al passaggio del mobile da una posizione ad una posizione successiva.

Ma qui confessiamo di non comprendere! Infatti il valore dei due primi argomenti ci appare indipendente da ogni considerazione del tempo; basta considerare la serie infinita degli intervalli da percorrere: se l'intervallo ha una lunghezza minima, la somma risulta necessariamente infinita. E si è già avvertito che il principio di cui si fa uso è quello stesso che EUOSSO e poi ARCHIMEDE ebbero a postulare ponendolo a base del metodo d'esauzione, dico il principio negante l'infinitesimo attuale, che di solito si enuncia oggi nella forma: « date due grandezze, vi è

(1) Op. cit., Ch. X, 8.

sempre un multiplo della minore che supera la maggiore ». Perciò il tentativo del TANNERY di collegare il terzo e quarto argomento di ZENONE ai primi due, ci sembra una sottigliezza fuori di luogo. È invece naturalissimo che alla dimostrazione della continuità dello spazio, l'Eleate faccia seguire quella della continuità del tempo, quale ci è porta dal terzo argomento.

Il quarto argomento offre qualche nuova difficoltà; anzitutto perchè esso ci è stato tramandato in una forma oscura e forse incompleta. Il TANNERY lo ricostruisce come segue:

« Sono date tre file parallele di punti materiali ($\delta\psi\kappa\omicron\iota$), a , b , c ; la prima fila si muove — con una certa velocità — ad es. verso destra, la seconda fila sta ferma, la terza si muove con velocità uguale a quella della prima ma in senso inverso, cioè da destra a sinistra. Allora la velocità di un punto a si può misurare dal tempo che esso impiega a percorrere l'intervallo fra due punti successivi della seconda o della terza fila; ma mentre un a passa da un b al successivo, esso passa da un c a quello che lo segue di due posti; così la velocità misurata nel secondo modo è doppia di quella misurata nel primo modo: dunque la velocità di a è doppia di se stessa! ».

ARISTOTELE (l. c.) commentando questo argomento, dice: « Vi è paralogismo in ciò che esso postula che grandezze uguali, animate da una stessa velocità, passino nello stesso tempo lungo una medesima grandezza, sia in movimento, sia in quiete ».

E, a sua volta, il TANNERY così critica ARISTOTELE: « ARISTOTE a méconnu le premier le caractère de cet argument; il a cru à un paralogisme de ZÉNON et l'a accusé d'ignorer la différence entre un mouvement relatif et un mouvement absolu. Tout doit, au contraire, nous porter à croire que ZÉNON était incapable d'un pareil erreur... ».

Ma si può dir questo un errore? Se ZENONE — applicando ai singoli corpi il principio relativistico che PARMENIDE ebbe ad affacciare per il mondo — negava il concetto del movimento assoluto, è assai naturale che la sua critica si traducesse in paradossi come quello sopra riferito: a chi ritenga la « velocità » un carattere del movimento in sè, ZENONE fa vedere che essa ha pure un significato relativo!

Comunque, la testimonianza di ARISTOTELE sta in favore della nostra interpretazione: la dottrina eleatica sul moto implicava in realtà il riconoscimento critico che ogni moto è defi-

nito soltanto in relazione a qualcosa. È probabile che gli ELEATI non sieno andati oltre questa veduta critica, che essi traducevano negando la razionalità del moto, ossia facendo immobile quel sostrato naturale delle apparenze sensibili che risponde — secondo la loro filosofia — alla verità razionale (*ἀληθεια*). Non risulta infatti che abbiano svolto comunque le conseguenze del principio, nel campo della conoscenza empirica (*ἐμπειρία*). In ogni caso non vi è da fermarsi sopra gli aspetti paradossali che la dottrina poteva assumere, ai loro stessi occhi: si tratta invero di uno dei concetti più delicati e repugnanti al senso comune, tantochè la difficoltà — lungi dall'esser vinta — sembra tuttora insuperabile alla gran massa degli spiriti, non criticamente educati.

Quando, nei *Problemi della Scienza* (1) ebbi a discutere a fondo il problema, constatai — non senza meraviglia — le profonde radici che ha ancora, nella rappresentazione dei fisici, il concetto del moto assoluto. E, del resto, che altro si trova agli inizi dei migliori trattati scolastici, se non proprio questa distinzione, affatto inesplicabile, fra quiete e moto in senso relativo e in senso assoluto?

6. — Ma se, veramente, nella scuola eleatica (verso la metà del V sec. a. C.) fu affacciato e svolto il principio della relatività del moto, dobbiamo riconoscere l'influsso di tali discussioni nelle dottrine astronomiche e meccaniche dei filosofi che seguono dappresso a codesta scuola, e manifestano di averne meditato gl'insegnamenti. Così accade infatti; sicchè una luminosa conferma delle nostre vedute vien portata dall'esame dei sistemi cosmologici di ANASSAGORA e d'EMPEDOCLE, degli atomisti, e soprattutto dei nuovi pitagorici: FILOLAO, ICETA, ECFANTO ecc.

Diremo in breve che cosa apprendiamo da tale esame.

Anzitutto per ANASSAGORA ed EMPEDOCLE non vi è riferimento che ce li descriva contrastanti all'opinione volgare di una Terra immobile, intorno a cui ruota il mondo da oriente ad occidente. Anzi si possono addurre in questo senso, testimonianze positive: vedasi p. es., per ANASSAGORA, *Hippolyti Philos.*, 8, 1 e 22 (2), *Aetii Placita*, II, 16 (3) e per EMPEDOCLE, *Plutarchi Stromat.* 10, 7 (4).

(1) Bologna, Zanichelli, 1906 (2ª ed., 1908).

(2) In DIELS, *Dox.*, pag. 562.

(3) *Ibidem*, pag. 345.

(4) *Ibidem*, pag. 582.

Ma, d'altra parte, si cerchi di ricostruire il concetto cosmogonico di ANASSAGORA, attraverso i suoi propri frammenti: il mondo ha avuto origine da un impulso primitivo del *noos* (il *Deus ex machina* del filosofo) che ha animato un moto progressivo di rotazione, e questa rotazione si va estendendo a regioni sempre più lontane dello spazio, che acquistano una velocità crescente.

Non è difficile farsi un'immagine di questo processo, ove si pensi — per esempio — ad un movimento rotatorio di un fluido viscoso: vediamo allora il vortice trascinare progressivamente nel moto una porzione del fluido sempre più lontana dal centro, la quale — se pure acquisti una velocità superiore — avrà tuttavia una velocità angolare decrescente.

A questo modo possiamo concepire la rotazione della Terra (posta al centro del vortice cosmico) trascinare con sè, da occidente ad oriente, prima la luna, poi il sole e finalmente le stelle, ove pure il movimento si estenda fino a queste, e non si raggiunga invece con esse la regione dello spazio che è tuttora in quiete: se, per semplicità, adottiamo quest'ipotesi (che è d'altronde indifferente) la Terra compierebbe un giro in un giorno, la Luna in un mese, il Sole in un anno. Qui apparirebbe ANASSAGORA far uso della nozione della *forza centrifuga*, ove considera gli astri come pietre, staccate dalla Terra per la forza del moto rivolutivo, e divenute poi incandescenti nell'etere igneo circostante (1).

Ma come accordare la visione che si affaccia in tal guisa del movimento della Terra, colle testimonianze in cui si parla di una Terra immobile? Giacchè anche il riferimento di AETIUS in cui ravvisiamo la nozione della forza centrifuga, parla espressamente del moto rivolutivo *dell'etere* che avrebbe strappato le pietre alla Terra, e non affatto del moto della Terra.

Crediamo che la contraddizione si concilii supponendo che ANASSAGORA (su cui è evidente l'influenza eleatica) abbia adottato — nel più largo senso — il concetto relativistico del movimento. Così essendo, doveva riuscire a lui indifferente, parlare della Terra immobile intorno a cui si rivolge il mondo, ovvero della Terra che ruota intorno a se stessa trascinando nella sua rivoluzione una parte contigua dell'etere circostante; ed è naturale ch'ei dovesse usare il linguaggio conforme alle apparenze, ogni qualvolta descriveva i fenomeni celesti, mentre il primo lin-

(1) *Aetii Placita*, II, 13 in DIELS, *Dox.*, pag. 341.

guaggio rispondeva meglio alle esigenze di una descrizione cosmogonica. Se si ammette questo, è degno di nota che anche la nozione della forza centrifuga (evidentemente suggeritagli da esperienze elementari) venga interpretata di ANASSAGORA come un fenomeno di moto relativo.

Qualchecosa di analogo troviamo in EMPEDOCLE, il quale spiega l'equilibrio della Terra come un effetto del movimento rotatorio del mondo circostante (*): se si considera il fenomeno in modo puramente relativo, si trova qui un accenno alla « permanenza degli assi di rotazione », che probabilmente l'AGRIGENTINO aveva avuto luogo di avvertire coll'osservazione del movimento della trottola (**) o delle ruote ecc.

7. — All'opposto di ANASSAGORA e di EMPEDOCLE, gli atomisti (LEUCIPPO e DEMOCRITO) respingono la negazione del vuoto della scuola eleatica, ammettendo che la materia estesa, non costituisca affatto un tutto continuo, ma si frantumi in una moltitudine di atomi (fisicamente) indivisibili, di varia grandezza e forma. Gli atomi si muovono nel vuoto, e la supposizione del vuoto sembra anzi adottata proprio allo scopo di render possibile il concetto del movimento.

Ma in che senso deve interpretarsi questa possibilità? L'interpretazione più probabile è — a nostro avviso — quella più significativa: gli atomisti (a somiglianza dei moderni inventori dell'« etere ») postulano che il vuoto sia « qualchecosa » (1), perchè si possa definire il movimento *rispetto* ad esso, riaffermando così il concetto del moto assoluto. È la posizione di GALILEO e di NEWTON di fronte a DES CARTES, ed è lecito congetturare che esigenze consimili — se pure meno chiaramente espresse — spieghino anche l'atteggiamento degli atomisti greci. Senza sistema di riferimento diveniva infatti impossibile una rappresentazione dei movimenti degli atomi: non aveva senso p. es. di chiedere se essi si muovessero naturalmente di moto rettilineo, venendo deviati solo dagli urti reciproci; ed invece c'è motivo di ritenere

(*) Cfr. ARISTOTELE, *De Coelo*, II, 13 (14). SIMPLICIO, 236 a 25 (ed. Heiberg, pag. 326-27), avverte, nel suo commento, che la medesima veduta appartiene anche ad ANASSAGORA.

(**) La trottola ($\beta\acute{\iota}\upsilon\beta\eta\tilde{\nu}$) trovasi menzionata da ARISTOFANE (*Uccelli*, v. 1461), e anche da PLATONE (*Rep.* 436 d.).

(1) Cfr. p. es., DEMOCRITO, *Frag.*, 156 in DIELS, 3ª ed., Bd II, pag. 91.

che DEMOCRITO sia giunto a questa veduta, precorrendo di due mil'anni il principio d'inerzia di GALILEO.

Qui occorre avvertire che il sistema di DEMOCRITO ha ricevuto un'interpretazione geocentrica ed antropocentrica attraverso EPICURO, che descrive una pioggia d'atomi cadenti per effetto del loro peso (ed anche deviati talvolta accidentalmente dalla verticale!). Nulla era più lontano dalla mente geometrica universale del filosofo d'Abdera. Testimoni degni di fede ci avvertono che egli non riteneva il peso come proprietà primitiva degli atomi; e da questi e dalle critiche di ARISTOTELE⁽¹⁾ il sistema democriteo balza fuori luminoso nelle sue grandi linee: gli atomi si muovono in tutte le direzioni, ed i loro urti danno origine ai fenomeni. A differenza dei moderni, che da ipotesi somiglianti han cercato di derivare la spiegazione di taluni ordini particolari di fenomeni (vedasi p. es. la teoria cinetica dei gas), DEMOCRITO cerca in esse una spiegazione del mondo.

Ma non è qui il luogo per parlare incidentalmente delle dottrine del più grande filosofo teorico della Grecia. Ritorniamo invece all'affermazione che il vuoto porgeva agli atomisti il sistema di riferimento per la definizione del moto. A giustificare tale affermazione citeremo un passo in cui ARISTOTELE (*Phys.*, IV, 6 (4)), — criticando LEUCIPPO e DEMOCRITO — dice che, secondo loro, senza vuoto « non vi sarebbe moto κατά τόπον »: traduco « rispetto al luogo ». Vero è che ARISTOTELE continua « ... non sembra infatti esserci moto se non vi sia vuoto, poichè ciò che è pieno non può ricevere qualcosa, se la ricevesse vi sarebbero due corpi in uno... ». Ma questo commento non può distruggere il significato delle parole che verosimilmente lo Stagirita ha riportato dagli stessi autori criticati.

Che sia possibile il moto nel pieno, ARISTOTELE stesso lo spiega (op. cit., IV, 7, (6)) notando che il pieno si può muovere in se stesso per avvicendamento di parti, quale si ha per esempio nella rotazione dei solidi e dei liquidi; ma questa teoria dell'impulsione circolare^(*) non si può supporre davvero una scoperta di ARISTOTELE o di PLATONE, sfuggita all'acume dei filosofi-geometri che li hanno preceduti. Per affermarlo non occorre nep-

(1) Specie in *Phys.*, IV, 8 (2) e (7), VIII, 9 (1), 10 (1).

(*) περίωσις di PLATONE, ἀντιπερίστασις di ARISTOTELE, περίστασις degli STOICI.

pure riconoscere che, in realtà, nel mondo di ANASSAGORA e di EMPEDOCLE tutto avviene per moti di codesto genere; infatti l'esempio del movimento di rotazione d'una ruota o d'una sfera in se stessa, s'impone da sè ad ogni pensatore, sicchè è assurdo ammettere che possa essere sfuggito a PARMENIDE e a LEUCIPPO!

8. — Poichè abbiamo ammesso che LEUCIPPO e DEMOCRITO — mediante l'ipotesi dell'esistenza del vuoto — accordassero un senso assoluto al movimento, si affaccia per essi la domanda, che era indifferente per ANASSAGORA, se attribuissero l'apparente rivoluzione diurna ad un reale movimento rivolutivo della Terra, ovvero del mondo, fatto girare attorno alla Terra immobile. Ma, quantunque qualche indizio potrebbe farci argomentare a favore della prima ipotesi, mancano prove storiche su cui appoggiare una risposta.

Frattanto però si può constatare che l'ipotesi di un movimento della Terra, per spiegare i fenomeni celesti, s'introduce presso taluni contemporanei, che furono con DEMOCRITO in diversa relazione. Richiamerò queste dottrine cosmologiche, limitandomi a riferire in breve il risultato dell'analisi che di esse ha fatto, magistralmente, G. SCHIAPARELLI (1).

Anzitutto FILOLAO (vivente a Tebe verso il 480 a. C.) è autore di un sistema del mondo in cui tutto si muove attorno ad un fuoco centrale, divino, supposto immobile: attorno a questo fuoco ruotano non soltanto il cielo delle stelle fisse, i 7 astri erranti e la Terra, ma anche un'ipotetica antiterra, che porta alla perfezione del 10 il numero dei corpi celesti. A parte la singolarità di quest'ipotesi — in rapporto colla mistica dei numeri — la dottrina di FILOLAO ci offre la prima spiegazione esplicita dell'apparente rivoluzione diurna del cielo, mercè il movimento della Terra. La facilità con cui ipotesi somiglianti si affacciano da altri pitagorici, e sembrano accolte in codesta cerchia, conferma — a nostro avviso — che l'ambiente era preparato da una precedente critica sulla relatività del concetto del moto, quale abbiamo visto prodursi nella scuola eleatica.

Do il sistema filolaico troviamo i sistemi di ICETA e di

(1) *I precursori di COPERNICO*, Memorie del R. Istituto lombardo di Scienze e Lettere, 1873. Cfr. pure il bel libro di TH. HEATH su « Aristarchus of Samos, the ancient COPERNICUS », Oxford, 1913.

ECFANTO di Siracusa, pitagorici di poco posteriori, l'ultimo dei quali appare direttamente influenzato dalla teoria atomica di DEMOCRITO, e sembra pure in possesso del principio d'inerzia ⁽¹⁾. Secondo questi sistemi la Terra sferica ruota semplicemente intorno ad un suo asse, spiegandosi così l'alternanza dei giorni e delle notti. E lo SCHIAPARELLI ammette che tale ipotesi venga suggerita da quella di FILOLAO, dove s'immagini la Terra saldata all'antiterra, divenuta così l'emisfero inferiore del nostro mondo. Pertanto qui il fuoco centrale rimane chiuso nell'interno della Terra.

Un passo più radicale vien fatto da ERACLIDE PONTICO (scolaro di PLATONE) che sembra prendere il Sole come centro dei movimenti planetari, e intorno ad esso far muovere anche la Terra: così almeno lo SCHIAPARELLI induce da un testo di SIMPLICIO, che richiama l'indiretta testimonianza di POSIDONIO.

Ma se si può conservare qualche dubbio su tale interpretazione, non è dubbio invece che i Greci sieno giunti effettivamente al sistema copernicano; giacchè l'ipotesi che fa muovere la Terra intorno al Sole viene attribuita esplicitamente da ARCHIMEDE ad ARISTARCO di Samo (fiorito intorno al 280 a. C.); il quale ARISTARCO riusciva così a salvare le apparenze dei fenomeni celesti, rilevando l'immensa distanza che bisogna conferire alle stelle, rispetto alle dimensioni dell'orbita terrestre.

Tuttavia queste idee non trionfarono nel mondo antico: e a preferenza del sistema d'ARISTARCO fu adottato dagli astronomi il sistema di TOLOMEO (il TICHO-BRAHE dell'antichità), che si concilia meglio coll'empirismo del senso comune.

Ma non è nostro proposito esporre qui le vicende dell'astronomia greca; abbiamo voluto soltanto riferire quelle notizie che mettono in luce la larga influenza della veduta critica sul movimento, affacciata da PARMENIDE d'Elea. Aggiungeremo soltanto l'indicazione di un passo dell'Ottica d'EUCLIDE ⁽²⁾, in cui il geometra Alessandrino descrive esplicitamente i fenomeni del moto relativo.

Prof. FEDERICO ENRIQUES
della R. Università di Roma.

⁽¹⁾ *Fragm.* in DIELS, II, pag. 265.

⁽²⁾ *Euclides Optica*, ed. Heiberg, pag. 110.