XXXII.

LE IDEE DI ENRIQUES SUI PRINCIPI DELLA MECCANICA

« Rivista di Filosofia e Scienze affini », anno IX (1907), vol. I, n. 5-6, pp. 1-10.

Un bell'articolo del collega SEVERI, inserito in questa *Rivista*, ha richiamato l'attenzione degli studiosi sopra un'opera recente [1] in cui, forse per la prima volta in Italia, un autentico cultore di scienze esatte — l'ENRIQUES — espone il frutto delle sue meditazioni sui principi generali della conoscenza e su quelli, che più particolarmente si riferiscono alla matematica e alle sue applicazioni.

La lucida sintesi del SEVERI si arresta alla soglia della meccanica. Mi si consenta di varcarla e di dar notizia del capitolo, che si riferisce a questa disciplina. Esso contiene, accanto ad una esposizione critica dello sviluppo storico e psicologico, alcune idee originali sulla gerarchia dei postulati e sopra le eventuali estensioni della dinamica classica.

* * *

La meccanica dei solidi (stereomeccanica, dice felicemente il MAGGI) si può a buon diritto considerare come una continuazione immediata della geometria, conseguibile mediante l'aggiunta di alcuni pochi concetti e postulati fondamentali.

I concetti essenzialmente nuovi si possono ridurre a tre: tempo, forza e massa.

Essi si presentano — osserva ENRIQUES — generalmente collegati a certe rappresentazioni. Quando si sia eliminato l'elemento soggettivo, resta un insieme di rapporti, che costituiscono altrettante supposizioni implicite: dal punto di vista logico, un primo gruppo di postulati.

Occorrono poi i veri postulati fisici, o principi, i quali hanno carattere di leggi desunte da esperienze esplicite.

---

[1] F. ENRIQUES: *Problemi della scienza*, Bologna, Zanichelli, 1906.

Il tempo.

L'A. analizza il concetto di tempo sotto i due diversi aspetti di successione e di durata. Mostra come si assurge dal soggettivo (cioè dalle sensazioni, cui si collega l'idea del prima, del poi e del frapposto intervallo) ad una nozione oggettiva.

Sorge poi la questione della misura. I nostri orologi porgono una misura convenzionale, o forniscono una scala delle durate, che ha base naturale?

Per rendersi conto della questione, basta seguire l'A. nel confronto della misura del tempo con quella di due altri elementi: le temperature e le lunghezze.

La graduazione di un termometro (prescindendo dalla temperatura assoluta, che non è accessibile all'intuizione diretta) apparisce eminentemente convenzionale. Non esiste una sensazione specifica di eguali aumenti di temperatura: il divario da 0^0 a 10^0 ha tutt'altri caratteri del divario da 15^0 a 30^0, e non vi sarebbe nulla di ripugnante nell'immaginare un termometro, rispetto alle cui indicazioni uno dei due intervalli di temperatura si presentasse doppio dell'altro.

Ma lo stesso non è per le lunghezze. L'eguaglianza di due lunghezze risponde a sensazioni precise, tattili e visive.

Si riconosce senza difficoltà che il tempo si trova in condizioni analoghe. Vi hanno fenomeni fisiologici e naturali, che destano col loro ritmo la sensazione di isocronismo; in uno stadio più evoluto, le molteplici concordanze degli orologi danno valore obbiettivo alle nostre sensazioni e ne allargano il campo. Così, per approssimazioni successive, si è condotti ad attribuire un valore naturale (in certo senso, si potrebbe dire assoluto, cioè non dipendente da convenzioni arbitrarie) al rapporto di due durate.

La cinematica.

La geometria permette di precisare il significato di cambiamento di posizione di un corpo *C rispetto ad un altro S*. Basta associarvi il concetto del tempo, coordinando un istante ad ogni posizione di *C*, per trarne la cinematica (studio del moto in sè, indipendentemente dai fenomeni concomitanti).

La costruzione della cinematica, tostochè si risguardi acquisito il concetto di tempo, procede per via puramente deduttiva, e non ha dato, nè dà, occasione a discussioni di indirizzo.

Le forze.

Le sensazioni muscolari di sforzo, quali si destano nell'innalzare o nel tener sollevati dei pesi, o nel premere un oggetto contro un altro, hanno dato origine al concetto di forza. Queste sensazioni sono contraddistinte da una maggiore o minore intensità; inoltre esse si presentano quasi sempre associate ad altri dati percettivi. Così al concetto di forza si collega non solo l'idea di una intensità, ma anche quella di una direzione e di un punto di applicazione: geometricamente vien dunque a corrispondere un *vettore*. La determinazione precisa di un tale vettore risulta dai postulati.

Una circostanza merita però di essere in precedenza rilevata. Ed è che l'apprezzamento muscolare diretto consente di graduare soltanto una scala convenzionale (analoga a quella delle temperature). Questo basta tuttavia per procedere ad una accezione più ampia del concetto di forza e ricavarne un criterio intrinseco di misura (scala naturale, analoga a quella del tempo).

Ecco come vi si arriva.

Si constata che in molti casi una determinata circostanza (peso, molla, vento) può benissimo venir sostituita con uno sforzo muscolare senza sensibile variazione di effetti. Si attribuisce allora a quella circostanza carattere di forza, anzi di forza eguale (cioè equivalente nell'ordine dei fenomeni di movimento, ai quali ci si riferisce) allo sforzo muscolare atto a surrogarla.

Per i pesi, si ha una scala naturale, dovuta all'intuizione che i pesi di sostanze omogenee sono proporzionali ai rispettivi volumi, o, se si vuole, dovuta ad una forma primordiale del principio di composizione, che figurerà poi tra i postulati della statica.

La misura dei pesi si trasporta ad una forza di origine qualsiasi.

In definitiva, importa ritenere che al concetto di forza è inerente un vettore rappresentativo, più o meno grossolanamente delimitato dalle nostre sensazioni, ma *suscettibile* di determinazione precisa.

I postulati della meccanica e le loro conseguenze suggeriscono criteri svariati per compiere e per controllare queste determinazioni.

I postulati della statica.

L'A. ha fin qui dato forma positiva all'introduzione dei concetti, secondo la tradizione classica, illustrando le questioni critiche, che vi

sono connesse e mostrando gli inconvenienti della soverchia astrazione matematica, prevalsa presso qualcuno dei moderni.

Ora egli si scosta dall'assetto metodologico abituale, ove interviene l'assoluto (cioè uno speciale sistema di riferimento), e si propone di fissare le leggi della meccanica — quelle della statica in primo luogo — rispetto ad un sistema di riferimento generico. Sia questo S.

Per semplicità ci occuperemo soltanto dei punti materiali, cioè dei corpi di dimensioni tanto piccole da potersi senza errore sensibile assimilare a punti geometrici.

Seguendo il concetto dell'A., se non proprio l'ordine della sua esposizione, cominceremo coll'ammettere il *principio del moto incipiente.* Secondo tale principio, l'esistenza di una forza agente sopra un punto materiale, il quale si trovi in stato di quiete rispetto ad S, ci si rivela per la tendenza del punto ad uscire da questo stato di quiete, e a mettersi in movimento proprio nella direzione della forza.

È così che nell'ordinario campo terrestre controlliamo la sensazione muscolare corrispondente alla forza « peso ».

Supponiamo ora che sopra un punto materiale P agiscano più forze, indipendentemente l'una dall'altra: per es. il peso e le trazioni di due funicelle. Il secondo postulato fondamentale è il *principio di composizione*, inteso in un senso intermedio fra lo statico ed il dinamico.

Esso esprime che le cose vanno, *si tratti di quiete o di moto incipiente*, come se agisse sul punto un'unica forza: la risultante geometrica delle varie forze applicate.

Questi due postulati (moto incipiente e composizione) non contengono, come si vede, alcuna speciale ipotesi sul sistema di riferimento. Essi permettono di costruire una statica (relativa) del punto materiale. Ne segue immediatamente che condizione necessaria e sufficiente per l'equilibrio è l'annullarsi della forza totale (risultante di tutte le forze, che agiscono sul punto). Il passaggio al caso dei sistemi si compie poi coi criteri ordinari.

È importante fissar bene il senso che si deve attribuire ai postulati suddetti. Se non si presta attenzione, è facile prenderli un po' troppo letteralmente, e ravvisarvi magari contraddizione coi precetti della meccanica classica.

Per spiegarmi meglio comincerò con un esempio.

Sopra un piano orizzontale si trovi una pallina in riposo, soggetta a due trazioni orizzontali diametralmente opposte, esercitate per es. con due fili. In tali condizioni agiscono ulteriormente la gravità e la reazione del piano, le quali si fanno equilibrio l'una all'altra. Se uno dei fili si rompe, la pallina comincia a muoversi nella direzione dell'altro, come esige il principio del moto incipiente.

Supponiamo adesso che il piano non vi sia e che la pallina sia sostenuta per aria fra i due fili tesi orizzontalmente (o quasi orizzontalmente). Quando se ne rompe uno, la pallina non si muove nella direzione dell'altro, ma c'è la deviazione dovuta al peso; il moto incomincia secondo la diagonale del parallelogrammo costruito sulle due forze: trazione del filo che non si è rotto, peso della pallina.

Tutto questo ci appare ben chiaro, per l'abitudine a tener sempre conto del peso fra le varie forze applicate, quando si esperimenta in condizioni ordinarie alla superficie terrestre.

Immaginiamo adesso di trasportarci a fare delle esperienze statiche in un campo sconosciuto: voglio dire in un campo S, il quale (rispetto alla terra, per es.) si muove con legge ignota, e su cui si esercitano azioni a priori ignote.

Applico ad un punto materiale, in quiete rispetto ad S, una forza di data direzione (per es. uno sforzo muscolare). In generale il punto non si metterà in movimento nella direzione della forza.

Debbo ritenere infirmato il principio del moto incipiente?

Sarebbe manifestamente un errore, perchè non ho alcun diritto di trascurare a priori l'influenza dell'ambiente, in cui opero (il peso per l'osservatore terrestre).

Un preliminare indispensabile è l'esplorazione del campo, cioè la valutazione della forza φ, che agisce (anche all'infuori da ogni sollecitazione direttamente applicata) sopra un generico punto P, il quale occupi un'assegnata posizione entro S. L'esplorazione va fatta naturalmente con esperienze intrinseche.

All'uopo si prova anzi tutto se, in condizioni normali e senza nostro diretto intervento, P è atto a restare in quiete nelle varie posizioni di S: in tal caso $\varphi = 0$.

In generale ciò non accadrà, ma converrà, per farlo star fermo, applicargli una certa forza (eventualmente variabile col luogo e col tempo). Dovrò inferirne, in base ai postulati, che *la forza del campo* φ è esattamente eguale ed opposta a questa forza, con cui si assicura l'equilibrio.

Trattando φ come una forza autonoma, da aggiungersi caso per caso alle altre direttamente applicate, si può asserire che le leggi della statica non esigono alcun riferimento assoluto.

Nel concetto di Enriques, è l'esplorazione del campo, indagine perfettamente positiva, che deve da sola surrogare quanto, secondo le ordinarie vedute, risulta dalla sovrapposizione di ipotesi trascendenti: che sia $\varphi = 0$ per un particolare sistema di riferimento A, che si conosca il moto di S rispetto ad A, nonchè le forze, che *agirebbero*, qualora S fosse in quiete rispetto allo stesso A.

La massa.

Il principio del moto incipiente, precisato nel senso che, per ogni punto materiale S, sia costante il rapporto m fra la forza e l'accelerazione iniziale, che essa gli imprime, porge una definizione e una misura della massa. Ma questa definizione logica della massa è in perfetta antitesi collo spirito della critica di ENRIQUES. Egli condanna severamente la tendenza a ridurre i concetti fondamentali, schematizzando per via astratta. Ciascun concetto, deve essere, per quanto possibile, separatamente analizzato in rapporto ai dati fisici, così da attribuire ai postulati il massimo contenuto di fatti.

L'A. discute perciò lungamente le intuizioni e i fenomeni fisico-chimici, cui si collega la nozione di massa: principio di LAVOISIER, esistenza di un invariante additivo di un certo gruppo di trasformazioni, immagine atomica, ipotesi dell'unità della materia. Dalla discussione risulta fino a qual punto la massa può essere definita per sè stessa, indipendentemente dalle leggi del moto.

La dinamica newtoniana. Il desiderato della relatività.

Il principio fondamentale della dinamica newtoniana implica uno speciale sistema di riferimento: quello delle stelle fisse. Esso consiste nell'estendere il principio del moto incipiente, *rispetto a questo sistema*, ammettendo che la proporzionalità fra forza e accelerazione valga, non soltanto all'inizio, ma anche in tutto il corso del moto (legge di inerzia *generalizzata*).

Con ciò rimangono subordinate (teorema di CORIOLIS) leggi più complesse per gli altri sistemi di riferimento S, che non sono in quiete (o in moto traslatorio uniforme) rispetto alle stelle fisse.

L'A. nota che il passaggio dal caso del moto incipiente al caso generale involge l'ipotesi che la forza agente sopra un punto in movimento possa valutarsi per via statica come se il punto fosse istantaneamente fermato; rintraccia la genesi del postulato newtoniano nelle idee astronomiche del grande scopritore; rileva come essa sia in istretto rapporto coll'ipotesi delle forze centrali e di una propagazione istantanea delle azioni a distanza; riconosce naturalmente la perfetta attendibilità pratica del postulato per le meravigliose conferme, che le sue conseguenze hanno trovato e trovano in ogni campo; ma non sa persuadersi ad accettarlo come base di un assetto definitivo della teoria. L'intervento di

un sistema privilegiato (quello delle stelle fisse), sebbene non sia l'assoluto metafisico, gli sembra un grave inconveniente, altrettanto poco filosofico quanto potrebbe esserlo una concezione grettamente geocentrica dell'universo.

ENRIQUES si augura che gli sforzi degli studiosi riescano a formulare un principio dinamico generale, valido per qualsiasi sistema di riferimento.

Beninteso, una tale dinamica relativa non dovrebbe perdersi nel vago, ma consentire, nell'ambito già sottoposto all'esperienza, le stesse (o sensibilmente le stesse) previsioni concrete della meccanica newtoniana. In questa imprescindibile condizione risiede la difficoltà essenziale del seducente desiderato. L'A. non se lo nasconde, ma si mostra ottimista.

Egli osserva con ragione che le spiegazioni meccaniche di molti fenomeni d'isteresi, giustificano la presunzione che la legge d'inerzia generalizzata non sia espressione rigorosa della realtà; e che la possibilità di una correzione si affaccia senza alcuna ripugnanza a chi abbia abbandonata la veduta delle azioni a distanza e con essa l'incondizionata validità del principio della reazione eguale ed opposta all'azione.

Su ciò danno luce le nuovissime speculazioni sulla meccanica degli elettroni.

Fin qui l'autore. Per conto mio vorrei aggiungere una riserva. Perfettamente d'accordo sulla possibilità e magari sulla opportunità di rinunciare al postulato newtoniano, come espressione rigorosa della realtà, per aprir l'adito a tener conto, ove occorra, della storia anteriore del mobile. Ma non posso dimenticare che si tratterebbe ad ogni modo di correzioni, le quali dovrebbero rendersi sensibili soltanto per velocità grandissime (rispetto alle terrestri e planetarie). Resta quindi da sciogliere un enigma, per così dire, pregiudiziale: l'interpretazione relativa della forza centrifuga composta, nei casi in cui quelle eventuali correzioni sono indiscutibilmente trascurabili.

Confronto colla trattazione ordinaria.

Di solito si premette la statica assoluta (riferita alle stelle fisse); e poi, come particolare applicazione dei principi dinamici, si danno le leggi dell'equilibrio relativo.

ENRIQUES ripudia questo procedimento, e propone, come abbiamo visto, una costruzione statica puramente relativa. Inoltre scinde in due stadi il passaggio dalla statica alla dinamica, ammettendo prima il principio del moto incipiente, e riservando a future esperienze un'ipotesi complementare, che, nella dinamica astronomica (e terrestre), è espressa convenientemente dal principio di inerzia generalizzato.

Limitandosi al primo stadio, vien fatto di caratterizzare la meccanica dell'equilibrio e degli stati prossimi all'equilibrio col minimo numero di supposizioni, e in modo perfettamente indipendente dal sistema di riferimento.

È appena necessario avvertire che, quanto a contenuto sostanziale, non c'è alcuna contraddizione colla teoria ordinaria. Si viene soltanto ad abbracciare un campo di fenomeni, che comprende, oltre alla statica assoluta, anche una parte della dinamica.

Per metterlo bene in evidenza, mi porrò dal punto di vista classico e ragionerò sulla formula fondamentale della dinamica

$$m \cdot a = F\,, \tag{1}$$

dove a designa l'accelerazione assoluta di un punto materiale P in un istante generico, m la sua massa, F la forza totale (a ed F designano vettori e l'eguaglianza sta in senso vettoriale).

Supponiamo che si voglia studiare il moto di P con referenza ad un sistema di assi mobili: l'ambiente generale S, finora considerato.

Diciamo b l'accelerazione relativa di P rispetto ad S; τ l'accelerazione di trascinamento; c l'accelerazione centrifuga composta.

Sussiste l'identità (teorema di Coriolis)

$$a = b + \tau + 2c\,. \tag{2}$$

Per maggior chiarezza, gioverà distinguere nella forza F due addendi: Ψ ed f.

Raccoglieremo in Ψ l'insieme delle forze, dirò così, volontariamente provocate (sforzi muscolari, trazioni, azioni elastiche ecc.). Il secondo addendo f rappresenterà invece l'azione, che in circostanze ordinarie può ritenersi dovuta al campo (forma tipica: l'attrazione universale).

Ciò premesso, si porti nella (1), per a il suo valore (2), per F la somma $\Psi + f$.

Se ne trae

$$m \cdot b + 2m \cdot c = \Psi + \{f - m \cdot \tau\}\,. \tag{3}$$

Il vettore in parentesi costituisce, secondo Enriques, la forza φ del campo S.

Quando si considera in particolare un punto P, dotato di velocità nulla rispetto ad S, si ha $c = 0$, e la (3) esprime senz'altro il principio del moto incipiente. Il principio di composizione è già implicito nella valutazione del secondo membro.

La statica relativa di ENRIQUES e la sua dinamica, arrestata al primo stadio, sostituiscono, come si vede, quel tanto del postulato newtoniano (1), che si ottiene dalla (3) per una velocità relativa eguale a zero.

Un'ultima osservazione.

La quiete di un punto P, rispetto ad un sistema di riferimento S, in un dato istante, può intendersi in doppio modo: istantaneo od ereditario. Nella prima accezione (che è quella comunemente attribuita dal linguaggio scientifico), quiete significa soltanto velocità nulla, *nell'istante considerato* t. L'altra accezione corrisponde al senso restrittivo del linguaggio comune, secondo cui, parlando di quiete, si presuppone un intervallo *finito* di tempo, anteriore a t, nel quale P abbia occupato posizione invariabile rispetto ad S.

Nel postulato del moto incipiente, si contempla genericamente la quiete istantanea (come si fa sempre nella meccanica classica), o ci si limita al caso particolare della ereditaria?

ENRIQUES non lo dichiara esplicitamente, ma c'è ragione di credere che propenderebbe per l'interpretazione più restrittiva, avendo egli mirato ad abbracciare soltanto le esperienze statiche dirette, e a lasciare al quadro la massima agilità di adattamento ad eventuali future estensioni della dinamica.

L'interesse precipuo della sua critica sta nell'aver fissato — uso le stesse parole dell'A. — la parte più ferma della meccanica, quella cioè che costituisce la parte comune a tutte le meccaniche, relative a sistemi di riferimento qualsiansi.